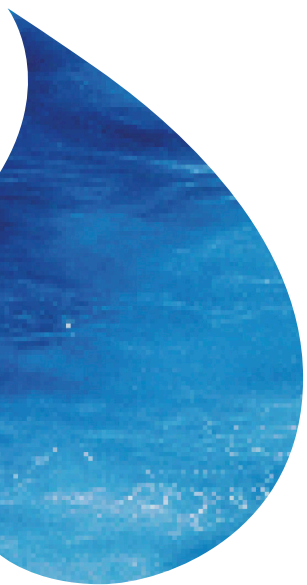




INFORME DEL ESTADO DEL AGUA DE LA REGIÓN METROPOLITANA DE GUATEMALA 2022



EL AGUA NOS UNE



INFORME DEL ESTADO DEL AGUA DE LA REGIÓN METROPOLITANA DE GUATEMALA 2022:

EL AGUA NOS UNE

Guatemala, marzo de 2022

Cita del documento:

Fundación para la Conservación del Agua de la Región Metropolitana de Guatemala. (2022). *Informe del estado del agua de la Región Metropolitana de Guatemala 2022: el agua nos une*. Guatemala.

INFORME DEL ESTADO DEL AGUA DE LA REGIÓN METROPOLITANA DE GUATEMALA 2022: EL AGUA NOS UNE

Edición **2022**

Fundación para la Conservación del Agua de la Región Metropolitana de Guatemala (Funcagua)
Universidad Del Valle de Guatemala (UVG)
Universidad Rafael Landívar (URL)
Fondo Mundial para la Naturaleza (WWF)

Todos los derechos se encuentran reservados de conformidad con la ley. No se permite la reproducción total o parcial de este documento, ni su traducción, incorporación en sistema informático, transmisión por cualquier forma o medio, sin el permiso previo y por escrito del titular del copyright.

© Fundación para la Conservación del Agua de la Región Metropolitana de Guatemala (Funcagua)
<https://funcagua.org.gt>

Los autores son responsables del cumplimiento de las regulaciones establecidas sobre derechos de autor y de la citación correcta de la información que utilizaron como fuente. La Fundación para la Conservación del Agua de la Región Metropolitana de Guatemala no se responsabiliza por posibles infracciones sobre la propiedad intelectual de terceros cometidas por los autores, ni de los errores u omisiones que pudieron haber cometido en la información presentada.

Las delimitaciones utilizadas en los mapas no implican opinión o aceptación alguna por parte de Funcagua en cuanto al estatus jurídico o constitucional del país, ni sobre la delimitación de fronteras.

La responsabilidad de la interpretación y uso final del material recae en el lector. En ningún caso Funcagua se responsabiliza por daños y perjuicios ocasionados por su uso.

CRÉDITOS

COORDINACIÓN GENERAL

Maria José Iturbide - Funcagua

TEXTOS

Introducción

Maria José Iturbide - Funcagua

Capítulo 1. Marco conceptual

Maria José Iturbide - Funcagua

Oscar Manuel Núñez

Jaime Luis Carrera - Departamento Interdisciplinar de Ambiente y Economía,
Instituto de Investigación en Ciencias Naturales y Tecnología (Iarna), URL

Capítulo 2. Marco metodológico

Jaime Luis Carrera - Iarna, URL

Capítulo 3. Fuerzas motrices

Sharon van Tuylen

Elisa Colom de Morán

Lorena Ninel Estrada

Capítulo 4. Presión

Edwin Castellanos - Observatorio Económico Sostenible, UVG

Andrea Nájera - Observatorio Económico Sostenible, UVG

Diego Incer - Centro de Estudios Ambientales y de Biodiversidad, UVG

Angela Méndez - Funcagua

Maria José Iturbide - Funcagua

Lorena Ninel Estrada

Capítulo 5. Estado

Héctor F. Espinoza - Funcagua

Angela Méndez - Funcagua

Luis Barales - Funcagua

Oscar Alejandro Avalos - Fondo Mundial para la Naturaleza (WWF)

Edwin Castellanos - Observatorio Económico Sostenible, UVG

Isabel Herrera - Observatorio Económico Sostenible, UVG

AJ Kondash - RTI International, Estados Unidos

Erica Wood - RTI International, Estados Unidos

Riley E. Mulhern - RTI International, Estados Unidos

Jennifer Hoponick Redmon - RTI International, Estados Unidos

Capítulo 6. Impacto

Ana Isabel Rosal - Observatorio Económico Sostenible, UVG

Brooke M. Ramay - Centro de Estudios en Salud, UVG / Paul G. Allen School for
Global Health, Washington State University Pullman

Lucas Santos - Centro de Estudios en Salud, UVG
Sharon van Tuylen
Lorena Ninel Estrada

Capítulo 7. Respuesta

Sharon van Tuylen
Elisa Colom de Morán
Benjamín Leiva - Observatorio Económico Sostenible, UVG
Lorena Ninel Estrada

Conclusiones y recomendaciones generales

Lorena Ninel Estrada
María José Iturbide - Funcagua

Consideraciones finales

María José Iturbide - Funcagua

Colaboraciones especiales

Sonia Solís - WWF
Juan Carlos Rosito - Tec-Landívar, URL
Edson Toniño Hernández, Nadia Michelle Chang y Daniel Esteban
Manzo - Departamento de Tecnología, Iarna, URL

REVISORES EXTERNOS

Carlos Roberto Cobos
Manuel Basterrechea
Nancy Johana Mollinedo

EDICIÓN

Cecilia Cleaves

Apoyo editorial

Lorena Ninel Estrada

DISEÑO Y DIAGRAMACIÓN

Cecilia Cleaves
Vanessa Paiz - Funcagua
Eilyn Pineda - Funcagua

INFOGRAFÍAS Y MAPAS

Vanessa Paiz - Funcagua
Eilyn Pineda - Funcagua
Diego Incer - Centro de Estudios Ambientales y Biodiversidad, UVG
Luis Barales - Funcagua
Héctor Espinoza - Funcagua
Angela Méndez - Funcagua

ÍCONOS

Freepik

TABLA DE CONTENIDO

ACRÓNIMOS Y SIGLAS	VII
ABREVIATURAS	IX
PRESENTACIÓN	XI
PRÓLOGO	XIII
RESUMEN	1
INTRODUCCIÓN	5
CAPÍTULO 1. MARCO CONCEPTUAL	7
1.1 El agua en el planeta	9
1.2 El ciclo del agua	9
1.3 La relación bosques-suelo-agua	11
Referencias bibliográficas y bibliografía consultada	16
CAPÍTULO 2. MARCO METODOLÓGICO	17
2.1 La Región Metropolitana de Guatemala (RMG)	19
2.2 El marco de ordenamiento y análisis	22
Referencias bibliográficas y bibliografía consultada	25
CAPÍTULO 3. FUERZAS MOTRICES	27
3.1 ¿Gobernanza o gobernabilidad?	29
3.2 Actividades económicas	36
3.3 Urbanización y población	39
3.4 COVID-19	44
Conclusiones	45
Recomendaciones	46
Referencias y bibliografía consultada	47
CAPÍTULO 4. PRESIONES	51
4.1 Disminución del ingreso de agua en el sistema superficial y subterráneo	53
4.2 Aumento en la demanda del agua	62
4.3 Aguas residuales vertidas a las aguas superficiales	66
Conclusiones	68
Recomendaciones	69
Referencias y bibliografía consultada	70
CAPÍTULO 5. ESTADO	73
5.1 Aguas superficiales	75
5.2 Aguas subterráneas	85

5.3 Características del abastecimiento	104
Conclusiones	117
Recomendaciones	118
Referencias y bibliografía consultada	119
CAPÍTULO 6. IMPACTOS	123
6.1 Impactos sociales	125
6.2 Impactos en la economía	129
6.3 Impactos en el ambiente	132
Conclusiones	133
Recomendaciones	134
Referencias bibliográficas y bibliografía	134
CAPÍTULO 7. RESPUESTA	137
7.1 Respuestas ambientales	139
7.2 Respuestas sectoriales	144
Conclusiones	158
Recomendaciones	159
Referencias y bibliografía consultada	159
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES GENERALES	163
CONSIDERACIONES FINALES	165
ANEXOS	167

ACRÓNIMOS Y SIGLAS

Aecid	Agencia Española de Cooperación Internacional
AEMA	Agencia Europea de Medio Ambiente
AMCG	Área metropolitana de la ciudad de Guatemala
AMSA	Autoridad para el Manejo Sustentable de la Cuenca del Lago de Amatitlán
Aricneco	Asociación pro-Recuperación Integral de las Cuencas de los Ríos Negro y Contreras
ARNPG	Asociación de Reservas Naturales Privadas de Guatemala
Asíes	Asociación de Investigación y Estudios Sociales
Avancso	Asociación para el Avance de las Ciencias Sociales
BID	Banco Interamericano de Desarrollo
CBC	The Central American Bottling Corporation
CCAD	Comisión Centroamericana de Ambiente y Desarrollo
CentraRSE	Centro para la Acción de la Responsabilidad Social Empresarial en Guatemala
Cepal	Comisión Económica para América Latina y El Caribe
CGP+L	Centro Guatemalteco de Producción más Limpia
CIV	Ministerio de Comunicaciones, Infraestructura y Vivienda
CMNUCC	Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático
Cocode	Consejo comunitario de desarrollo
Codedur	Consejos Regionales de Desarrollo Urbano y Rural
Coguanor	Comisión Guatemalteca de Normas
Comude	Consejo municipal de desarrollo
Conadur	Consejo Nacional de Desarrollo Urbano y Rural
Conap	Consejo Nacional de Áreas Protegidas
Conred	Coordinadora para la Reducción de Desastres
Empagua	Empresa Municipal de Agua
FAO	Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura
FCAS	Fondo de Cooperación para el Agua y el Saneamiento
FFEM	Fondo Francés para el Medio Ambiente, por sus siglas en francés
FM-PEIR	Marco de fuerzas motrices presión-estado-impacto-respuestas
FMAM-GEF	Fondo para el Medio Ambiente Mundial
Funcagua	Fundación para la Conservación del Agua de la Región Metropolitana de Guatemala
Fundaeco	Fundación para el Ecodesarrollo y la Conservación
Fundesa	Fundación para el Desarrollo de Guatemala
GGBC	Guatemala Green Building Council
GIAU	Gestión integrada de aguas urbanas
Gimbot	Grupo Interinstitucional de Monitoreo de Bosques y Uso de la Tierra

GIRH	Gestión Integrada de Recursos Hídricos
GWP	Global Water Partnership
Iarna	Instituto de Agricultura, Recursos Naturales y Ambiente, Instituto de Investigación y Proyección sobre Ambiente Natural y Sociedad, Instituto de Investigación en Ciencias Naturales y Tecnología (actual)
ICC	Instituto Privado de Investigación sobre Cambio Climático
IDEG	Infraestructura de Datos Espaciales de Guatemala
Igrac	Centro Internacional de Evaluación de los Recursos de Aguas Subterráneas
INAB	Instituto Nacional de Bosques
Incyt	Instituto de Investigación y Proyección sobre Ciencia y Tecnología
INDE	Instituto Nacional de Electrificación
INE	Instituto Nacional de Estadística
Infom	Instituto de Fomento Municipal
Inguat	Instituto Guatemalteco de Turismo
Insivumeh	Instituto de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología
IPCC	Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático, por sus siglas en inglés
IUFRO	International Union of Forest Research Organizations
JICA	Agencia de Cooperación Internacional del Japón
MAGA	Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación
MARN	Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales
MEM	Ministerio de Energía y Minas
MGCS	Mancomunidad Gran Ciudad del Sur
Mineduc	Ministerio de Educación
Minfin	Ministerio de Finanzas Públicas
MSPAS	Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social
OCDE	Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos
OES	Observatorio Económico Sostenible
OMS	Organización Mundial de la Salud
OPS	Organización Panamericana de la Salud
PNUD	Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo
Prosehigua	Programa de Seguridad Hídrica de la Región Metropolitana de Guatemala
RAE	Real Academia Española
RMG	Región Metropolitana de Guatemala
SCAEI	Sistema de Contabilidad Ambiental y Económica Integrada
Segeplán	Secretaría de Planificación y Programación de la Presidencia
SGCCC	Sistema Guatemalteco de Ciencias de Cambio Climático
Siscode	Sistema de Consejos de Desarrollo
Sogreah	Société Grenobloise d'Études et d'Applications Hydrauliques

TNC	The Nature Conservancy
UICN	Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza
UN	United Nations (Naciones Unidas)
UNEP	United Nations Environment Programme
Unesco	Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura, por sus siglas en inglés
Unicef	United Nations Children's Fund (Fondo de las Naciones Unidas para la Infancia)
Unipesca	Unidad para el Manejo de la Pesca y Acuicultura
URL	Universidad Rafael Landívar
USAID	United States Agency for International Development
UVG	Universidad del Valle de Guatemala
WHO	World Health Organization
WWAP	World Water Assessment Programme
WWF	Fondo Mundial para la Naturaleza (por sus siglas en inglés)

ABREVIATURAS

°C	Grados centígrados
AASD	Áreas ambientalmente sensibles a la degradación
As	Arsénico
AVAD	Años de vida ajustados por discapacidad
Cd	Cadmio
CN ⁻	Cianuro
CNB	Currículo nacional base
Cr	Cromo
Cu	Cobre
DAP	Disposición a pagar
DBO	Demanda biológica de oxígeno
DQO	Demanda química de oxígeno
EDOM	Esquema director de ordenamiento metropolitano
EIA	Estudio de impacto ambiental
ELL	Época lluviosa
ES	Época seca
ETA	Enfermedades transmitidas por alimentos
ETP	Evapotranspiración potencial
Fe	Hierro
GEI	Gases de efecto invernadero
ha	Hectárea

Hg	Mercurio
ICA	Índice de calidad del agua
IRA	Infecciones respiratorias agudas
ISQA	Índice simplificado del agua
km	kilómetro
km ²	Kilómetro cuadrado
km ³	Kilómetro cúbico
l	Litro
LMP	Límite máximo permisible
m	Metro
m ²	Metro cuadrado
m ³	Metro cúbico
máx	Máximo
mg	Miligramos
min	Mínimo
ml	Mililitro
mm	Milímetro
m s. n. m.	Metros sobre el nivel del mar
N	Nitrógeno
Ni	Níquel
NMP	Número más probable (técnica)
O	Oxígeno
ODS	Objetivos de desarrollo sostenible
P	Fósforo
Pb	Plomo
PDM	Plan de desarrollo municipal
PDM-OT	plan de desarrollo municipal con enfoque de ordenamiento territorial
PER	Presión-estado-respuesta
PIB	Producto interno bruto
POT	Plan de ordenamiento territorial
pp	Precipitación
Q	Caudal
QBR	Índice de calidad del bosque de ribera
s	Segundo
SAF	Sistema agroforestal
t	Tonelada
WASH	Abastecimiento de agua, saneamiento e higiene, por sus siglas en inglés
Zn	Zinc

PRESENTACIÓN

El *Informe del estado del agua de la Región Metropolitana de Guatemala 2022: el agua nos une*, representa un esfuerzo colaborativo para la generación de información relacionada con el agua. Funcagua, como líder de este proceso de construcción, inició la búsqueda de organizaciones que llevan a cabo estudios relacionados con los recursos hídricos, con el fin de poder integrarlos en un solo documento. A pesar de que muchas puertas fueron tocadas, pocas se abrieron, y dieron paso al producto que hoy se presenta, y que se planifica pueda ser construido y publicado de manera sistemática y colaborativa, cada dos años.

De acuerdo con monitoreos realizados por la Fundación para la Conservación del Agua de la Región Metropolitana de Guatemala (Funcagua), muchos pozos municipales dentro de la RMG están cerca de quedar desabilitados por sobreextracción, ya que la mayoría de las municipalidades de esta región se abastece principalmente del agua subterránea.

El agua en Guatemala debe considerarse como un tema de «seguridad nacional», ya que sin este recurso se pone en peligro la salud y nutrición principalmente, así como la seguridad y el desarrollo económico del país. Este primer esfuerzo pone en evidencia la falta de información ordenada, sistematizada, interpretada, actualizada y disponible sobre un recurso tan importante. Sin embargo, hoy estamos dando el primer paso para cambiar esta situación, ya que se ha logrado sistematizar, interpretar y publicar lo que esperamos sea una fuente de información para la toma de decisiones a todo nivel.

En el proceso de construcción de este informe también se evidenció la falta de indicadores, por lo que se decidió que, en la medida de lo posible, se construirían con la información más reciente y relevante que las organizaciones participantes tuvieran a su alcance. De manera participativa con el equipo de autores, se lograron identificar temas relevantes sobre cada componente de la metodología establecida. Sin embargo, aún existen muchos vacíos de información que esperamos se puedan abordar en las siguientes entregas del informe.

La consigna «el agua nos une» es la respuesta que varias organizaciones nos dieron para construir este informe. Sin embargo, también es una invitación para todos los sectores presentes en Guatemala, ya que es urgente invertir en la generación de información. No se puede administrar un recurso que no se conoce; y conocer el estado, la calidad y la cantidad de agua que tenemos, es impostergable. La información orienta la toma de decisiones y este es el momento de decidir qué futuro queremos para nosotros, nuestra población, nuestros recursos naturales, nuestros negocios y nuestra Guatemala. Alcanzar la seguridad hídrica es trabajo de todos los guatemaltecos.

María José Iturbide-Chang
Directora ejecutiva
Funcagua

PRÓLOGO

El agua resulta imprescindible e indispensable para la salud, el saneamiento y la actividad económica. Sin embargo, el reto de garantizar la disponibilidad del recurso hídrico para toda la población mundial se acrecienta, derivado del cambio climático y la deficiencia de su administración y gestión. Por ello, los países han expresado la importancia de tomar acciones para garantizar el acceso al recurso hídrico que aceleren y permitan a todas las instancias involucradas adoptar prácticas responsables en la gestión del recurso. Esto se ve reflejado en la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible, en la cual 193 Estados miembros de las Naciones Unidas trazan una hoja de ruta hacia un nuevo paradigma de desarrollo en el que las personas, el planeta, la prosperidad, la paz y las alianzas toman un rol central.

La agenda se encuentra conformada por 17 objetivos de desarrollo sostenible (ODS), entre los cuales uno se refiere al recurso hídrico. El ODS 6 «Garantizar la disponibilidad de agua y su ordenación sostenible y saneamiento para todos» establece la importancia para que los países tomen acciones para la protección y mejoramiento del recurso.

Con miras a contribuir con la consecución de los 17 objetivos y sus respectivas metas, diversas instituciones e instancias globales, regionales y locales trabajan para promover urgentes avances en los indicadores de desarrollo. Tal es el caso del Pacto Global de las Naciones Unidas, una iniciativa multi actor de carácter mundial que reúne a empresas, organizaciones y la academia, comprometidos a integrar el concepto de sostenibilidad en su estrategia corporativa mediante la implementación de diez principios universalmente reconocidos, los cuales están centrados en cuatro ámbitos: derechos humanos, normas laborales, medio ambiente y anticorrupción. El Pacto Global ha funcionado desde su conformación como un catalizador de las transformaciones que se llevan a cabo en estos temas, a través del diseño de planes, y poniendo en marcha programas concretos que son responsables con la sociedad y con el planeta.

Es importante resaltar los principios 7, 8 y 9, que derivan de la Declaración de Río Sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo, los cuales marcan la línea mediante la cual el sector empresarial puede contribuir en la protección del medio ambiente, a través de proteger y preservar los recursos, promover una gestión eficiente, procurar la inversión en investigación científica, entre otros. Bajo la esfera de estos principios, los adheridos trabajan de una manera preventiva para evitar daños ambientales, a través de la evaluación, gestión y comunicación de riesgos. Asimismo, trabajan en aumentar la autorregulación, orientados por códigos apropiados, reglamentos e iniciativas integradas en todos los elementos de planificación y toma de decisiones, y fomentando la apertura y el diálogo multisectorial; finalmente, buscan continuamente orientarse hacia una tecnología más limpia, cuya función sea facilitar un beneficio o servicio humano, en lugar de centrarse solo en los productos.

Para contribuir con estos ambiciosos planes y procurar la consecución de los objetivos en materia ambiental, el Pacto Global de Naciones Unidas ha trabajado por más de 20 años en el desarrollo de herramientas e iniciativas que orienten y guíen a los miembros en esta labor tan importante. El desarrollo de iniciativas con miras a mejorar la gestión del recurso hídrico no ha sido la excepción, ya que se reconoce que las empresas juegan un rol clave en este sentido; debiendo gestionar de forma sostenible los recursos hídricos disponibles en el entorno, los cuales son utilizados para la creación, producción y distribución de sus productos y servicios, fomentando y facilitando la mejora de la gestión del agua en su cadena de valor. Paralelamente, se reconoce la importancia de fortalecer esfuerzos con las organizaciones de la sociedad civil e instituciones académicas para promover la educación y la innovación en la temática.

Bajo ese espectro se ha construido el «CEO Water Mandate», creado para movilizar la gestión y la supervisión del agua a nivel global. Es una iniciativa de carácter público-privada lanzada por el secretario general de la Organización de las Naciones Unidas (ONU) en 2007 e implementada en alianza con el Pacific Institute, involucrando a diferentes actores interesados tales como empresas, sociedad civil, la ONU, gobiernos y otros.

Consiste en una plataforma de compromiso para que los líderes empresariales promuevan la gestión del agua, a través de seis compromisos clave que engloban aspectos como medición y reducción del consumo de agua, manejo de aguas residuales, mejoramiento del uso del recurso en la cadena de suministro, acciones colectivas y generación de marcos regulatorios. Esta iniciativa fue creada al reconocer el papel que el agua y el saneamiento juegan en las operaciones de las empresas, así como el papel positivo que estas mismas pueden desempeñar.

En el contexto de Guatemala, Funcagua funge como un actor clave en la generación de información y apoyo técnico para la toma de decisiones estratégicas. Actualmente, la fundación busca crear mecanismos financieros y de gobernanza en las diferentes instancias para contribuir al manejo responsable del recurso hídrico. Derivado de este objetivo, ha generado el primer esfuerzo de recopilación de información, denominado *Informe del estado del agua de la Región Metropolitana de Guatemala 2022: el agua nos une*.

Este documento ha logrado compilar información sobre el estado del recurso hídrico en el área del departamento de Guatemala, las presiones que se ejercen sobre este, así como las debilidades de los sistemas que forman parte de la gestión integral del agua. Es importante resaltar que el documento se limita únicamente al estudio del área metropolitana del país, por lo que analiza la dinámica de las 16 microcuencas de los 12 municipios que lo conforman.

Además, el documento reúne datos relevantes y cuantificables sobre el recurso. Iniciando con datos a nivel mundial, se toma como referencia que únicamente el 2.5% del agua es considerada fresca (no salada) y que de esta únicamente el 3% se encuentra de forma superficial, mientras que el 30.8% de manera subterránea. Con estos datos, se evidencia la importancia que conlleva la protección de las cuencas hidrográficas, las cuales se ven altamente afectadas por la extracción del recurso de manera desmedida. Esto, sumado a la falta de recarga hídrica que se genera en las partes altas de las cuencas hidrográficas debido a la deforestación constante, ha llevado a que el balance hídrico sea negativo; en otras palabras, se extrae más cantidad de agua de la que es captada y depositada naturalmente en los mantos acuíferos.

Otras presiones sobre este recurso son desarrolladas a lo largo del informe, colocando de manera cuantificable el consumo del agua en los principales pilares económicos, como las actividades agropecuarias e industriales. Sumado a estos datos, también es posible conocer cómo el crecimiento demográfico de manera desordenada, y sin un ordenamiento territorial adecuado y planificado, ha aumentado las desigualdades respecto al acceso digno al agua.

Este informe es el resultado de un esfuerzo por generar, publicar y socializar información que permita conocer la presión actual sobre el recurso hídrico por medio de indicadores. Con ello, es posible tomar acciones y decisiones que fomenten y permitan su manejo adecuado. Los hallazgos que se presentan marcan la pauta para establecer una línea base que permita a los actores priorizar sus focos de trabajo e identificar las inversiones que sean necesarias para contribuir al logro de una adecuada gestión del vital recurso.

Rosa María de Frade
Presidenta
Pacto Global Red Guatemala

RESUMEN

El *Informe del estado del agua de la Región Metropolitana de Guatemala 2022: el agua nos une*, representa un primer esfuerzo para caracterizar el estado actual de los recursos hídricos de la región. Para la elaboración del mismo se reunieron diversos actores, incluyendo a centros de investigación de universidades, organizaciones no gubernamentales nacionales e internacionales, así como profesionales independientes. Recordemos que el agua es un elemento fundamental para la vida en el planeta, y es de vital importancia conocer de dónde proviene, en dónde se almacena, su calidad, así como su disponibilidad para distintos usos y particularmente para la conservación de los ecosistemas.

Dentro del marco metodológico del informe se definieron los límites de la RMG que, para fines de este estudio, abarcan 16 microcuencas dentro de 12 de los municipios del departamento de Guatemala: Amatitlán, Chinautla, Fraijanes, Guatemala, Mixco, San Miguel Petapa, San José Pinula, San Juan Sacatepéquez, San Pedro Sacatepéquez, Santa Catarina Pinula, Villa Nueva y Villa Canales. Una vez establecidas las características limítrofes y físicas de la RMG, se utilizó el marco de fuerzas motrices, presión-estado-impacto-respuesta (FM-PEIR) como un medio de ordenamiento y análisis de la información existente sobre los recursos hídricos de la región, y para poder identificar las relaciones de causa y efecto entre las actividades antropogénicas, el sistema socioecológico y el recurso agua.

A continuación, se presentan los principales resultados del informe con base en el marco metodológico. Dentro de las principales **fuerzas motrices** de las presiones sobre los recursos hídricos en la RMG, se observó un escenario débil e incompleto de la gobernanza para la situación del agua en Guatemala. En este sentido, el país cuenta con políticas públicas que abordan algunos aspectos relacionados con el agua, pero no existe una ley específica, por lo que dicho elemento carece de identidad legal propia, lo cual limita el desarrollo de su potencial. Ante la falta de una ley, la gobernanza del agua en el país descansa sobre un conjunto de disposiciones desactualizadas e

incompletas, que denota la falta de claridad en las competencias y actuar de las instituciones públicas.

Por otro lado, la planificación del territorio metropolitano se caracteriza por la distribución desigual de riqueza e inversión pública, por lo que la misma debería orientarse a un enfoque intermunicipal; no obstante, muy pocos municipios del departamento de Guatemala cuentan con un plan de ordenamiento territorial (POT). Además, en la actualidad la formulación de los POT no tiene la misma importancia que hubiera podido tener cuando empezó la expansión urbana, pues los municipios ya crecieron sin tomar en cuenta los requisitos mínimos de urbanización. Al crecimiento de la mancha urbana se le suma el aumento poblacional, que conllevan a una mayor demanda del agua potable, sin que el sistema de aguas y drenajes haya sufrido cambios significativos en infraestructura y mejora del servicio.

Dentro de las principales **presiones** sobre el recurso hídrico en la región se encuentra el cambio climático, el cual es provocado por las actividades humanas y causa eventos extremos cada vez más frecuentes y severos. De hecho, Guatemala es uno de los países más impactados por este fenómeno y uno de los que tiene más riesgo, lo cual se ve agravado por la reducción esperada en la disponibilidad de los recursos hídricos. De igual forma, se espera que el índice de aridez, el cual muestra la relación entre la precipitación y la evapotranspiración potencial, disminuya bajo varios escenarios de cambio climático futuros, siendo la parte norte de la RMG la que experimentará la mayor reducción.

En cuanto a la cobertura forestal, la RMG es un área netamente urbana, pero aún se observa una significativa cantidad de bosques, concentrada principalmente en las áreas de barrancos; sin embargo, la relación entre la pérdida y la ganancia de cobertura dio un balance negativo para el período 2013-2020.

Con respecto a la demanda del agua, se estima que a nivel nacional los usos agrícolas, municipales e industriales generan la mayor demanda del recurso; no obstante, no existen datos sobre consumo para

la RMG. Debido a esto, se buscó generar datos para el sector industrial de la RMG a través de una encuesta, con una baja participación de las empresas invitadas, lo que hizo que los resultados no pudieran generalizarse, pero sí se demostraron algunas tendencias para el sector.

Finalmente, una gran parte de la población de la RMG descarga aguas residuales crudas a las quebradas, ríos y lagos que atraviesan la región, la cual no cuenta con suficientes plantas de tratamiento, públicas o privadas, y que funcionen eficientemente, cumpliendo con las normativas establecidas. Las descargas de la ciudad de Guatemala perjudican en gran medida los cuerpos de agua de las cuencas norte y sur; en esta última las descargas llegan al lago de Amatitlán.

En cuanto al **estado** de los recursos hídricos, hay poca información con respecto a las aguas superficiales dentro de la RMG. En la microcuenca del río Villalobos la recarga hídrica es mínima y hay contacto con aguas residuales; un escenario futuro para el río Las Vacas muestra que habrá disminución de la oferta hídrica y un estudio para el río La Campana mostró que está fuertemente contaminado. Asimismo, en el lago de Amatitlán existe un proceso grave de eutrofización, provocado principalmente por descargas de aguas residuales y domésticas, disposición inadecuada de desechos sólidos, crecimiento urbano y poblacional desordenado, falta de políticas efectivas, deforestación y contaminación industrial, entre otras causas.

En cuanto a las aguas subterráneas, los estudios identificados concuerdan en que las cuencas hidrogeológicas asociadas a la RMG corresponden principalmente a las cuencas hidrográficas de los ríos Las Vacas (cuenca norte) y Villalobos (cuenca sur), y en que el valle de la ciudad es una zona multi acuíferos. Asimismo, se sabe que los pozos dentro de la RMG son cada vez más profundos, y constantemente se buscan sitios con potencial para perforación y extracción, con el fin de satisfacer la demanda.

No existe suficiente información para definir el nivel de calidad del agua subterránea, pero para los acuíferos norte y sur hay indicios de contacto con agua proveniente de desagües urbanos; se encontró contaminación con arsénico en las aguas subterráneas del río Rzaljá, y la cantidad de pozos

contaminados en Chinautla y Mixco ha aumentado. La RMG es altamente dependiente de las fuentes de agua subterránea y del abastecimiento por servicios privados, lo que reduce la posibilidad de que las familias con menos recursos cuenten con agua de buena calidad. Finalmente, se presentan datos específicos sobre el comportamiento del agua subterránea y características de abastecimiento para varios municipios de la RMG.

Por otro lado, se identificaron los **impactos** asociados a los recursos hídricos de la RMG. Para empezar, una gran proporción de enfermedades en el ámbito global, relacionadas con la desnutrición crónica y aguda, se ha atribuido a efectos relacionados con el abastecimiento de agua, saneamiento e higiene (WASH, por sus siglas en inglés). En ese sentido, la educación a todo nivel, pero principalmente en las escuelas, juega un papel primordial en la prevención de la transmisión de dichas enfermedades.

Los vínculos entre el agua y la economía son innegables; dichos vínculos pueden observarse en los costos de producción de exportaciones, el turismo, los eventos naturales extremos, la migración industrial, la disminución de la pesca y la reducción de la productividad familiar.

Además, los ecosistemas acuáticos de la RMG han sufrido una degradación sistemática, debido al cambio de uso del suelo y a la degradación de la cuenca por la deposición de aguas residuales urbanas e industriales sin tratamiento. Por otro lado, los sistemas forestales son los más grandes proveedores de agua de calidad; no obstante, han sido afectados negativamente por las actividades humanas. Es así que los ecosistemas de ribera y los ríos de la RMG están fuertemente degradados y han sido impactados por varias actividades, así como por la falta de implementación de acciones que mitiguen dichos impactos.

También se presenta información sobre las **respuestas** para mitigar los impactos sobre los recursos hídricos de la RMG. Para comenzar, los retos para la gestión de recursos hídricos en distintos sectores deben ubicarse dentro del contexto de los cambios económicos, políticos y sociales que se dan alrededor del mundo. Asimismo, Guatemala cuenta con una puntuación baja en cuanto a la evaluación de la gestión hídrica.

Para el país, se pueden mencionar varias iniciativas para la conservación o recuperación ambiental de la RMG, que incluyen a distintas organizaciones enfocadas en actividades, como el mejoramiento de la seguridad hídrica, la reducción de los efectos del cambio climático, la protección de los bosques, el monitoreo de aguas subterráneas, el establecimiento de reservas privadas, la protección de barrancos y la educación ambiental a varios niveles, entre otras.

No existe información específica sobre el gasto público ambiental relativo a recursos hídricos en la RMG; sin embargo, la descontaminación de suelos y aguas superficiales y subterráneas fue uno de los rubros más marginados a nivel nacional para el 2010. Algunos municipios de la RMG realizan actividades para el abastecimiento de agua o manejo de desechos, como recuperación de pozos, construcción de plantas de tratamiento de aguas residuales, trenes de aseo y mejora del sistema de agua potable.

Por otro lado, la aplicación de la legislación actual es compleja ante la falta de ley e institucionalidad especializada en la gestión y gobierno del agua, aunque existen experiencias positivas de uso eficiente producto de acuerdos adoptados entre distintos sectores. Con respecto a las respuestas del Estado, han existido varias iniciativas de ley de aguas en Guatemala en los últimos años, pero más allá del número de iniciativas, es importante analizar los motivos que subyacen detrás de cada una, porque expresan posiciones y perspectivas no siempre concordantes.

Se concluye que la aplicación del marco FM-PEIR facilitó el poder llevar a cabo una evaluación integral de la gestión de los recursos hídricos para la RMG. No obstante, existe un gran vacío de información confiable y actualizada para la región en todas las áreas de estudio relacionadas directa e indirectamente con el agua, por lo que no es posible establecer una línea base para su medición. Asimismo, el informe identifica los retos y obstáculos a los que los distintos sectores se enfrentan para el buen uso y conservación de los recursos hídricos, y se hace evidente que los procesos de planificación alrededor del recurso aún no se traducen en esfuerzos permanentes y conjuntos.

A partir de este primer esfuerzo para determinar el estado de los recursos hídricos en la RMG, se hace indiscutible la importancia de que todos los sectores involucrados prioricen la generación de información de carácter público, que sirva como base para la medición y monitoreo de los recursos hídricos. La coordinación y participación de los distintos actores es crucial para integrar diferentes visiones e intereses con respecto al uso y conservación del agua, y así evitar la duplicidad de esfuerzos para enfocarse en metas conjuntas.

Por último, se considera que este informe tiene gran relevancia para dimensionar las presiones a las que está sometido el recurso hídrico en la RMG y los recursos naturales en general, por lo que se recomienda llevar a cabo actividades, iniciativas y estrategias para generar conciencia a todo nivel sobre la importancia de la sostenibilidad de dichos recursos a largo plazo.

INTRODUCCIÓN

El agua es un componente vital para el desarrollo económico y social, y cumple el papel elemental de salvaguardar la integridad del medio natural del cual dependemos todos los seres vivos. A pesar de ello, la gestión integral del agua a nivel mundial ha sido deficiente, promoviendo grandes retos en todas las regiones del mundo. De acuerdo con la Organización de las Naciones Unidas (ONU)¹, más de un tercio de la población mundial vive sin saneamiento básico y 748 millones no tienen acceso adecuado a agua potable. Esta situación provoca la muerte de millones de personas cada año.

Guatemala dispone de una satisfactoria oferta superficial de agua, sin embargo, la deficiente gestión integral hace que ciertas regiones del país tengan escasez en medio de la abundancia. Para promover acciones que contribuyan a la seguridad hídrica, es decir, para proteger el acceso sostenible al agua para el sostenimiento de los medios de vida, el bienestar y el desarrollo socioeconómico, es necesario conocer el estado del agua en la región.

Funcagua: Fondo de Agua de la Región Metropolitana de Guatemala

Funcagua nació en el 2017 como un fondo de agua apoyado por la Alianza Latinoamericana de Fondos de Agua, mediante un acuerdo entre el Banco Interamericano de Desarrollo (BID), la Fundación FEMSA, el Fondo para el Medio Ambiente Mundial (FMAM-GEF) y The Nature Conservancy (TNC), con el fin de contribuir a la seguridad hídrica de la Región Metropolitana de Guatemala (RMG).

Posteriormente, se consolidó con la integración de ocho empresas socias fundadoras comprometidas con el cuidado y manejo sostenible de los recursos hídricos, siendo estas: Grupo Cayalá, The Central American Bottling Corporation (CBC), Coca Cola

Femsa, Cervecería Centro Americana, Cementos Progreso, Pantaleón, CMI Corporación Multi Inversiones y TNC.

Como fondo de agua, Funcagua diseña e impulsa mecanismos financieros y de gobernanza, articulando actores públicos, privados y de la sociedad civil, con el fin de contribuir a la seguridad hídrica y al manejo sustentable de las cuencas sobre las que opera, a través de soluciones basadas en la naturaleza.

Como parte de las actividades que desarrolla Funcagua están:

- Aportar evidencia científica que contribuya a mejorar el conocimiento sobre la seguridad hídrica en la región;
- Desarrollar una visión compartida y accionable de seguridad hídrica;
- Convocar a distintos actores que, mediante la acción colectiva, promueven la voluntad política necesaria para lograr impactos significativos, positivos y de magnitud;
- Influir positivamente en la gobernanza del agua y promover procesos de toma de decisiones basados en ciencia;
- Promover e impulsar la implementación de proyectos de infraestructura natural y otros proyectos innovadores en las cuencas;
- Ser un vehículo atractivo para invertir recursos de manera costo-eficiente en las fuentes de agua de las cuencas.

Como parte de su visión estratégica, Funcagua se ve como una organización líder del agua que articula alianzas público-privadas y promueve una buena gestión del agua, aportando a la seguridad hídrica de la RMG. Dentro de su estructura estratégica, la fundación se visualiza como:

- Un **comunicador**, al sistematizar, analizar y difundir información técnica sobre el estado de los recursos hídricos para la toma de decisiones basadas en ciencia. Propone y difunde soluciones para problemas clave del recurso hídrico.

¹ Naciones Unidas. (s. f.). *Agua para un mundo sostenible. Datos y cifras. Informe de las Naciones Unidas sobre los recursos hídricos en el mundo 2015*. <https://funcagua.org.gt/wp-content/uploads/2020/04/2015-Informe-de-las-Naciones-Unidas-sobre-los-recursos-h%C3%ADricos-en-el-mundo.-Naciones-Unidas.pdf>

- 💧 Un **sensibilizador**, al generar opinión y movilizar voluntades para lograr cambios conductuales en pro de la buena gestión del agua;
- 💧 Un **gestor**, que identifica y gestiona recursos económicos para el financiamiento de soluciones basadas en la naturaleza; y
- 💧 Un **articulador** de actores al liderar acciones colectivas de esfuerzos públicos y privados para lograr la seguridad hídrica.

Las acciones de Funcagua se enfocan en la Región Metropolitana de Guatemala (RMG), ubicada en el departamento de mayor crecimiento poblacional del país, Guatemala, en el cual convergen los municipios que conforman el Corredor Económico de Guatemala y que, de acuerdo con la Fundación para el Desarrollo de Guatemala (Fundesa, 2012 citado en Córdova, 2019)², generan el 46.76 % del PIB nacional, siendo esta región el «motor económico» del país.

A la fecha, Funcagua ha generado información científica sobre el estado del agua subterránea por medio del monitoreo de 250 pozos municipales durante cuatro años consecutivos, a través de seis campañas de monitoreo durante la época seca y lluviosa, además de la restauración y conservación de más de 90 hectáreas de bosque dentro de la región.

Adicionalmente, ejecuta proyectos que incluyen sistemas de captación de agua de lluvia, protección de nacimientos, pozos de infiltración para recarga gestionada del acuífero, restauración de áreas en zonas prioritarias para la recarga hídrica, programas de investigación sobre el agua subterránea, programas de educación ambiental, y ha lanzado una plataforma única en su concepción llamada Verde+Agua, la cual contabiliza las acciones de infraestructura verde y socializa los resultados de monitoreos de aguas subterráneas.

Por qué y para qué el informe del estado del agua de la Región Metropolitana de Guatemala

El *Informe del estado del agua de la Región Metropolitana de Guatemala 2022: el agua nos une* es el primer esfuerzo que existe en la región y el cual, bajo el liderazgo de Funcagua, articula diversos actores, entre ellos: centros de investigación de universidades, organizaciones no gubernamentales nacionales e internacionales, así como 21 profesionales independientes que se han unido para construir un documento que provea, en la medida de lo posible, información actualizada sobre un recurso tan valioso como lo es el agua.

Este informe marca la pauta para generar, publicar y socializar información que nos permita conocer, por medio de indicadores, las fuerzas motrices que ocasionan presiones sobre el recurso hídrico, promoviendo un estado del agua cada vez más escaso y contaminado, lo cual genera impactos directos e indirectos sobre las poblaciones, la salud, la economía, el desarrollo del país y el medio ambiente.

Este es un primer ensayo para contribuir a la toma de decisiones a nivel público y privado, y para provocar acciones urgentes para garantizar la seguridad hídrica del presente de manera colectiva. La consigna de este informe: «el agua nos une», pone en evidencia el vínculo innegable que tienen todos los sectores de la sociedad con el agua, y además, invita al cambio de patrones de consumo que existen desde los hogares, la industria y el comercio, hasta las decisiones que se toman en puestos municipales, de gobierno, de la academia, de la industria y de la empresa, ya que todos jugamos un papel importante para la adecuada gestión del recurso hídrico.

El presente informe está estructurado en siete capítulos: (1) marco conceptual, (2) marco metodológico, y los capítulos 3 a 7 que se han construido con base en el marco de fuerzas motrices-presión-estado-impacto-respuestas (FM-PEIR) para la evaluación de los recursos hídricos de la RMG. De allí que sigan el siguiente orden: (3) fuerzas motrices, (4) presiones, (5) estado, (6) impactos y (7) respuestas.

² Córdova, E. (2019). *Diagnóstico. Corredores Económicos (Resúmenes)* para El Proyecto Creando Oportunidades Económicas. Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional. <https://www.pronacom.org/wp-content/uploads/2019/12/Resu%CC%81menes-CE%C2%B4s.pdf>

CAPÍTULO 1

MARCO CONCEPTUAL



En este capítulo se discute el tema del agua como un componente fundamental para la vida en el planeta, así como la disponibilidad de los recursos hídricos para el consumo humano. De igual forma, se brinda información sobre el ciclo del agua, los fenómenos climáticos de El Niño y La Niña, el efecto del cambio climático sobre el mismo, y la relación de la cobertura forestal, las propiedades del suelo y el funcionamiento del ciclo hidrológico.

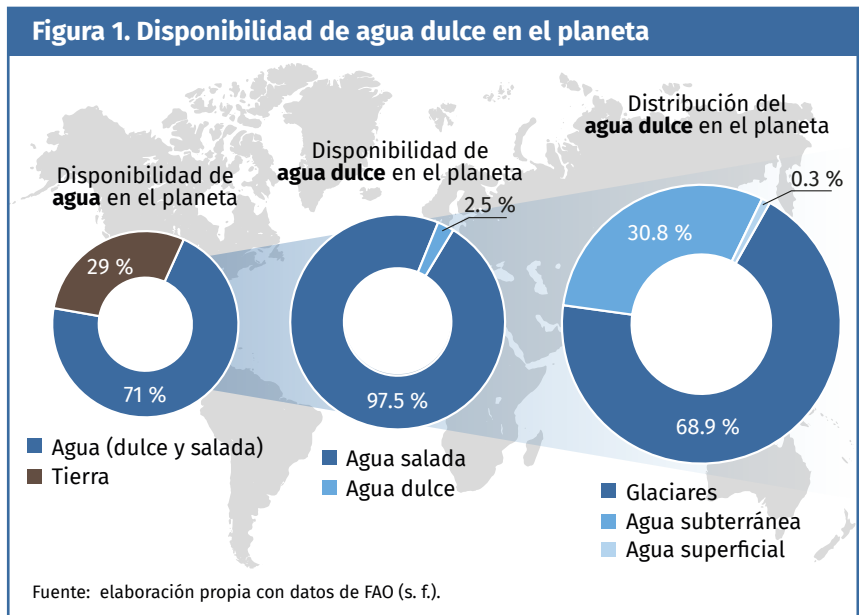
1.1 EL AGUA EN EL PLANETA

El agua es un elemento de la naturaleza, integra todos los ecosistemas naturales y es fundamental para que exista vida en la Tierra.

El 97.5 % del agua del planeta se encuentra en los océanos (lo cual equivale a 1350 millones de kilómetros cúbicos -km³-) y se caracteriza por ser salada, por lo que no es apta para uso humano de manera natural. Las regiones continentales y la atmósfera contienen el 2.5 % del agua restante, que es fresca o dulce. La distribución del agua dulce en el planeta se detalla en la figura 1 (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO], s. f.).

Desde el surgimiento de la Tierra, hace aproximadamente 4.6 miles de millones de años, la cantidad total de agua se ha mantenido constante. Esto significa que el planeta, como un todo, no gana ni pierde agua, sino que el recurso solo se transforma de forma natural o por las actividades humanas.

El agua en el planeta se encuentra distribuida de manera irregular, tanto en tiempo como en el espacio, y se man-



tiene en continuo movimiento entre los océanos, la atmósfera, la litósfera y la biósfera, a lo que se conoce como «ciclo hidrológico o ciclo del agua», que se describe a continuación.

1.2 EL CICLO DEL AGUA

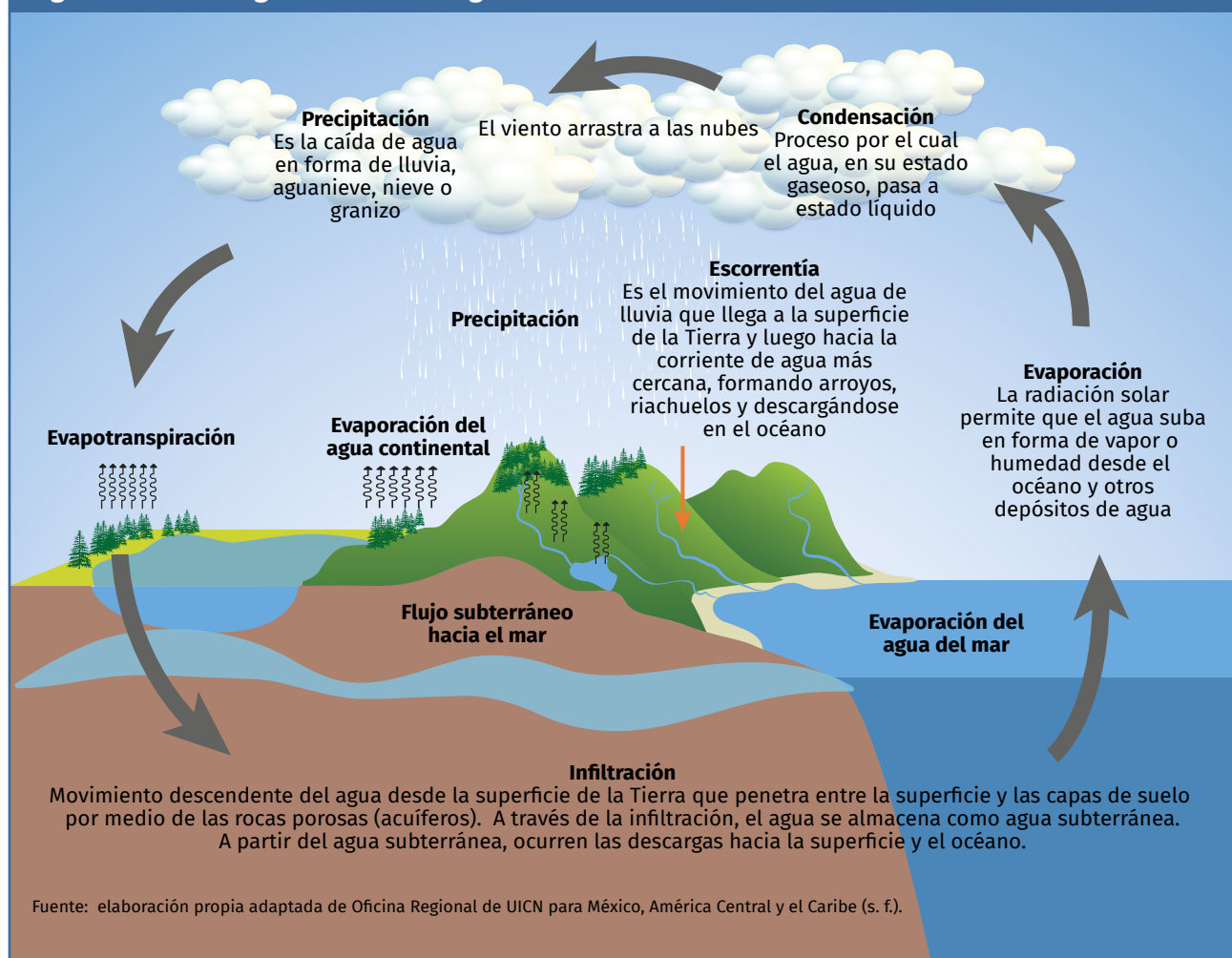
El ciclo del agua, también conocido como ciclo hidrológico, comprende el movimiento continuo de agua en el planeta (figura 2). Incluye las interacciones entre los diferentes estados del agua y con el espa-

cio biofísico: atmósfera, tierra, zona costera, zonas marinas, humedales y agua subterránea.

Este ciclo contempla una serie de procesos interconectados o interdependientes entre ellos, que pueden suceder en cuestión de segundos o millones de años. Los más importantes son la escorrentía, la evaporación y evapotranspiración, la precipitación, la infiltración y la condensación.

De estos procesos, los más versátiles son aquellos que ocurren en la atmósfera. La

Figura 2. Ciclo del agua o ciclo hidrológico



variabilidad atmosférica abarca fenómenos que duran minutos (como los torbellinos de viento), horas (tornados y tormentas eléctricas), días (frentes, huracanes y ciclones) y aun fenómenos de más larga duración (meses o incluso años), que pueden dar lugar a inundaciones y sequías, o a condiciones prolongadas anormalmente cálidas o frías (Vera y Camilloni, s. f.).

En general, los fenómenos atmosféricos de larga duración están asociados con cambios

en la circulación atmosférica que abarcan áreas bastante más extensas que la región particularmente afectada. En algunas ocasiones, ciertos tipos de circulaciones atmosféricas ocurren de forma simultánea en vastas regiones del planeta, aparentemente no relacionadas, provocando condiciones meteorológicas anormales a nivel mundial (Vera y Camilloni, s. f.).

Dentro de las alteraciones regionales y/o mundiales más estudiadas que están relacio-

nadas al ciclo global del agua destacan los fenómenos denominados «El Niño» y «La Niña» (figura 3), que causan efectos regionales en las variables de precipitación, como sequías o inundaciones.

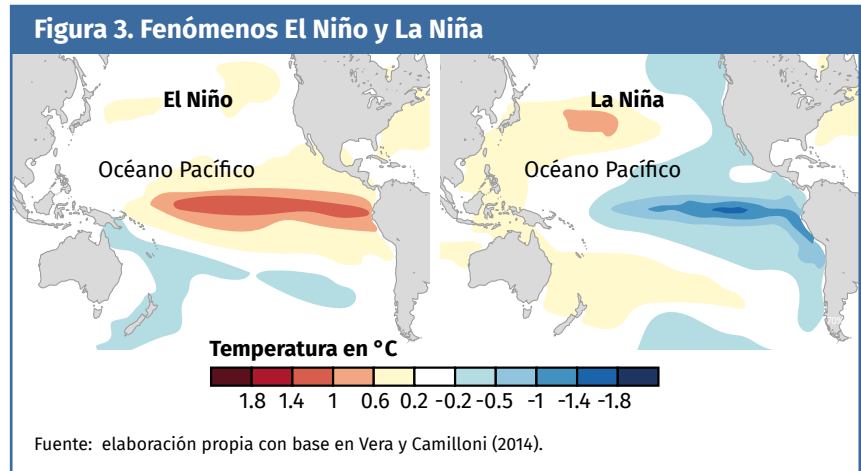
Para Vera y Camilloni (s. f.), el efecto del «El Niño» es causado cuando los vientos alisios se debilitan y, como consecuencia, las masas de agua caliente y las zonas de máxima precipitación se desplazan hacia el centro del Pacífico ecuatorial, lo que provoca que

aguas anormalmente más calientes se extiendan hasta la costa de Sudamérica. Por el contrario, cuando se produce una intensificación de los vientos alisios y, por consiguiente, un enfriamiento anómalo de las aguas del Pacífico ecuatorial, se desarrolla el fenómeno opuesto conocido como «La Niña».

Los cambios en el océano no se circunscriben a su superficie, sino que afectan su capa superficial (termoclina), que se caracteriza por tener una fuerte variación de la temperatura. Los procesos de evaporación y condensación que ocurren en el Pacífico ecuatorial durante un fenómeno de El Niño transfieren enormes cantidades de energía del océano a la atmósfera por medio de la evaporación y la condensación.

Las observaciones atmosféricas indican que existe un calentamiento general de la atmósfera global unos pocos meses después de un fuerte evento de El Niño. Esa energía adicional presente en la atmósfera altera la circulación atmosférica a escala planetaria, y provoca cambios en los patrones de precipitaciones y temperatura en regiones alejadas de la zona en donde se produce El Niño (Vera y Camilloni, s. f.).

Sin embargo, el ciclo del agua posee componentes terrestres y bióticos que también están sujetos a interacciones más directas con los procesos antropogénicos que, en determina-



do momento, son variables en función de condiciones fisiográficas o regiones más definidas. Esta relación puede analizarse desde diferentes puntos de vista; sin embargo, en este capítulo se abordará principalmente en función del flujo del agua, su ciclo y su interacción con los bosques y el suelo.

Asimismo, el cambio climático tiene una gran influencia sobre el ciclo hidrológico mundial, incluyendo a las aguas subterráneas (Green *et al.*, 2011 y Taylor *et al.*, 2012 en Unesco, s. f.) y a desastres como inundaciones y sequías. Los impactos del cambio climático sobre el ciclo hidrológico (descarga, recarga, almacenamiento y calidad de aguas subterráneas) pueden empeorar debido al aumento de la extracción de agua debido a una mayor frecuencia de sequías (Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura [Unesco], s. f.).

En síntesis, los efectos del cambio climático sobre el recurso agua están relacionados

con los objetivos de desarrollo sostenible y a factores como el crecimiento poblacional, cambios en el uso del suelo y el desarrollo urbano (Centro Internacional de Evaluación de los Recursos de Aguas Subterráneas [Igrac], 2014 en Unesco, s. f.).

1.3 LA RELACIÓN BOSQUES-SUELO-AGUA

1.3.1 LOS BOSQUES Y EL CICLO DEL AGUA

El bosque interactúa con la atmósfera, principalmente a través de la evaporación y la evapotranspiración; y con el suelo por medio de la protección de la erosión y la regulación de los procesos de infiltración, flujo superficial y alimentación de los mantos freáticos.

En la figura 4 se muestra una representación gráfica del ciclo del agua adaptado para la RMG, en donde se observa la ubicación de los bosques de

montaña dentro de la región, que cuenta con una cobertura forestal aceptable, principalmente hacia el este y oeste (montañas de Pinula y cerro Alux). Estos bosques, junto con los de los barrancos, contribuyen a regular la infiltración y el flujo superficial y subterráneo del agua.

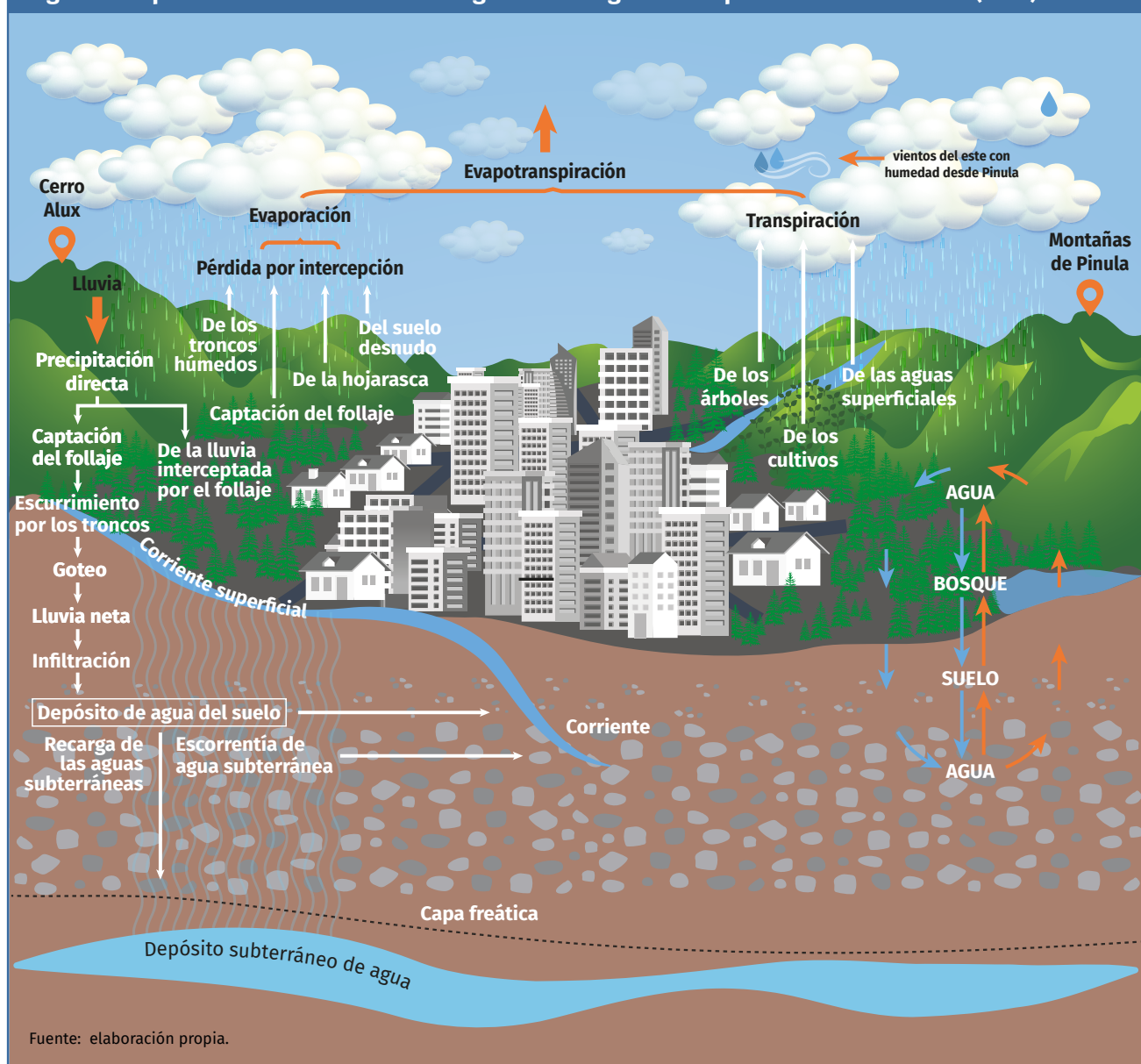
A nivel global, los científicos resaltan acciones y dinámicas más específicas sobre la relación de los bosques con el ciclo del agua. Por ejemplo:

Las plantas son responsables de hasta el 40 % de las precipitaciones mundiales a través de la evapotranspiración (World Water

Assessment Programme [WWAP], 2018 citado en Piñeros, 2020).

La vegetación es capaz de interceptar el agua entre su follaje, sistema radicular o en la hojarasca que cubre el suelo, reduciendo la precipitación neta que llega a la superficie del suelo.

Figura 4. Representación del ciclo hidrológico en la Región Metropolitana de Guatemala (RMG)



Estas propiedades regulan el nivel freático, permiten la recarga de acuíferos alimentadores del flujo base de las corrientes, disminuyen la cantidad de pérdidas por escorrentía directa de la superficie y retrasan la evacuación instantánea de las lluvias (Villegas, 2004; Blanco, 2017; Piñeros, 2020).

Los bosques densos y maduros interceptan más agua de lluvia que los jóvenes y esparcidos (Brüschweiler *et al.*, 2004).

Los cambios en la cobertura forestal influyen en la producción de agua, por ejemplo:

- al reducirse la cobertura forestal, disminuye la transpiración y se incrementa la precipitación neta, con lo cual aumenta la producción neta de agua; sin embargo, el aumento es transitorio y decrece con el tiempo al volver a crecer el bosque (Blanco, 2017).

- cuando bosques con alta interceptación (o alta transpiración anual) sustituyen a bosques con baja interceptación (o baja transpiración), este cambio reduce la producción de agua cuando el nuevo bosque alcanza su madurez (Blanco, 2017).

Para Brüschweiler *et al.* (2004), los ecosistemas forestales permiten la regeneración de los recursos hídricos, ayudando a que el agua del subsuelo se recargue con agua de buena calidad. Desde un punto de vista cuantitativo, generalmente un bosque retorna menos agua al suelo que los pastizales o áreas de cultivo bien manejados, ya que el bosque devuelve mayores cantidades de agua a la atmósfera a través de la evapotranspiración.

Sin embargo, el denso y profundo sistema radicular del suelo forestal y la alta porosidad de sus horizontes -esencialmente orgánicos-, aumentan la capacidad de filtración y retención de agua. La escorrentía superficial es mínima y la recarga del agua del subsuelo es más eficiente para el beneficio de manantiales permanentes.

Según la FAO (2009), la contribución principal de los bosques al equilibrio hidrológico de los ecosistemas y de las cuencas es mantener la buena calidad del agua, debido a que se minimiza la erosión local del suelo, se reducen los sedimentos en las masas de agua (humedales, estanques y lagos, arroyos y ríos), y se detienen o filtran otros contaminantes del agua en la hojarasca y el sotobosque. Esto, además, contribuye a la mantención de otros servicios ambientales, como la protección frente a deslaves, inundaciones, corrimientos de tierra, aludes y sedimentación de

embalses de agua (Balvanera, 2012).

En el recuadro 1 se detalla el papel de los bosques de niebla como proveedores de agua en la RMG.

1.3.2 EL SUELO Y EL CICLO DEL AGUA

El suelo cumple distintas funciones, entre las cuales se pueden mencionar: (a) medio de anclaje para las raíces, (b) se comporta como «depósito» de agua para las plantas (gracias a su capacidad de retener la humedad y dejarla disponible para ser absorbida), (c) fuente de nutrientes principales, (d) suministra oxígeno a las raíces, y (e) proporciona la temperatura adecuada para la germinación de las semillas y el crecimiento de las raíces.

Los procesos del ciclo del agua que ocurren en el suelo dependen de la interacción de ciertas variables como: tipo de superficie, textura, estructura y pendiente de los suelos, geología superficial y flujos naturales de corrientes.

Para Angella *et al.* (2016), las propiedades del suelo pueden mantener, reducir o mejorar la disponibilidad del agua y su relación con la vegetación en función de variados procesos físicos, químicos y biológicos.

Por ejemplo, la infiltración y retención del agua son más eficientes en suelos de porosidad media con presencia de arcilla, alto contenido de ma-

teria orgánica, y un sistema radicular denso y profundo (Brüschweiler *et al.*, 2004).

La cobertura del suelo también influye en la regulación de la temperatura local (y consecuentemente favorece o reduce la evaporación y evapotranspiración local), así como en la erosión del recurso, asociada principalmente a la pendiente y geología superficial de un territorio (figura 5) (Angella *et al.*, 2016).

1.3.3 MÁS ALLÁ DEL BOSQUE Y EL SUELO: LA GEOLOGÍA Y EL CICLO DEL AGUA

Una cuenca hidrográfica debe concebirse como una combinación del área que drena superficialmente y la porción de suelos y formaciones geológicas que la subyacen. Los procesos hidrológicos subsuperficiales son tan importantes como los superficiales. De hecho, se podría argumentar que son más importantes debido a que la naturaleza de los materiales subsuperficiales es la que controla las tasas de infiltración, y estas determinan el tiempo y la distribución espacial de la escorrentía superficial (Freeze y Cherry, 1979).

La naturaleza y distribución de acuíferos y acuitardos en un sistema geológico están controladas por la litología, estratigrafía, y la estructura de los depósitos y formaciones geológicas (Freeze y Cherry, 1979). El hecho de que es un medio

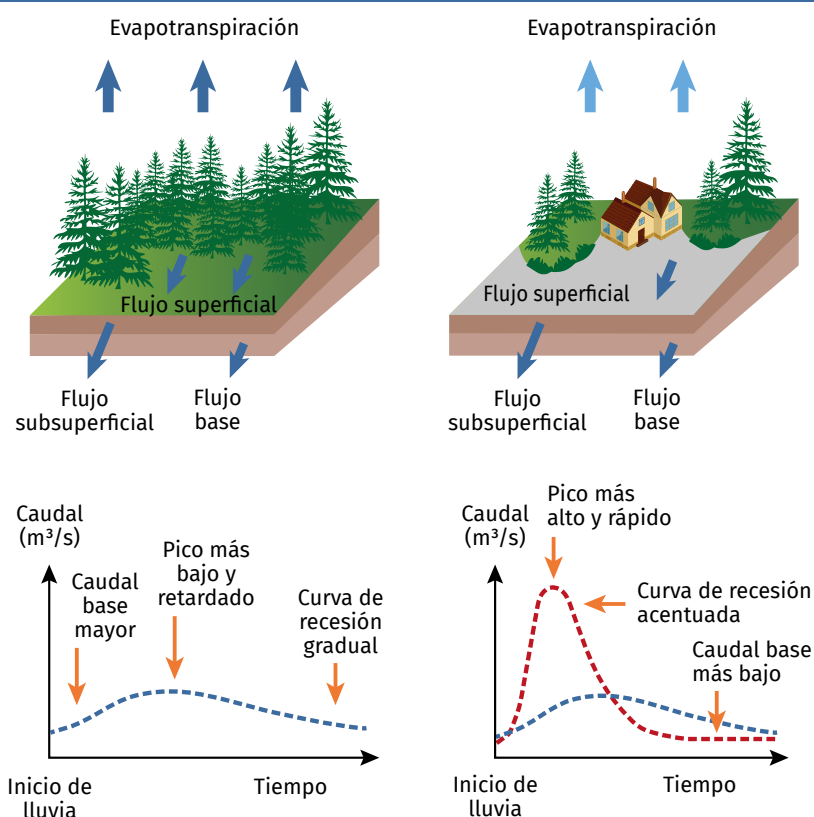
Recuadro 1. Los bosques de niebla y su papel como proveedores de agua

Los bosques de niebla son especialmente importantes y su conservación es prioritaria, no solo desde el punto de vista de conservación de la biodiversidad, sino también desde el del mantenimiento de sus funciones hidrológicas. La conservación de estos bosques y su designación como zonas protegidas debería ser una prioridad nacional (FAO, 2009).

En ese sentido, los bosques del Cerro Alux y del área de Muxbal, ubicados dentro de la RMG, deberían tener una mejor protección con base en su función de mayores proveedores de agua a la región.

Fuente: elaboración propia.

Figura 5. Relación entre la cobertura forestal y los flujos del agua



Fuente: elaboración propia con base en Angella *et al.* (2016).

poco visible, a menudo conduce a ignorar las características del flujo subterráneo; sin embargo, las unidades geológicas que almacenan el agua bajo el suelo son entidades que tienen una capacidad limitada espacialmente y que se retroalimentan de los aportes que reciben desde la superficie o de recargas laterales. Por lo tanto, es imprescindible conocer su estructura y funcionamiento para comprender cómo se almacena y transporta el agua subterránea en su interior.

Ya que una de las fuentes importantes de abastecimiento para la RMG corresponde a

aguas subterráneas, es oportuno estudiar las leyes que rigen su ocurrencia y movimiento para poder comprender su relación con los otros componentes del ciclo hidrológico, tal como lo plantea Doménico & Schwartz (1998).

Además, las aguas subterráneas pueden ser deterioradas o contaminadas por sobre explotación y otras actividades humanas. Una vez contaminado este reservorio, su recuperación puede ser difícil y, en muchos casos, prácticamente imposible por el costo y tiempo que requiere (Losilla *et al.*, 2001).

1.3.4 LO INDISPENSABLE DE LA CONECTIVIDAD HIDROLÓGICA

Dentro de un contexto ecológico, la conectividad hidrológica se refiere a la transferencia de materia, energía y/u organismos que ocurre entre o dentro de los elementos del ciclo hidrológico, y que es mediada por el agua (Pringle, 2003).

Es decir, que esta conectividad contempla una serie de procesos naturales, mediante los cuales el agua interactúa fundamentalmente con los recursos bosque y suelo. Sin embargo, estos procesos pueden verse alterados por la influencia humana, afectándolos positiva o negativamente (Pringle, 2003).

La dimensión y complejidad de la relación bosque-suelo-agua no es sencilla de comprender, y sus componentes no deben analizarse de forma aislada, pues interactúan de manera interdependiente.

En la actualidad, se reconoce que estas interacciones deben ser consideradas dentro del contexto de los procesos de paisaje, donde la conectividad hidrológica es esencial para mantener su integridad ecológica (Pringle, 2003; IUFRO [International Union of Forest Research Organizations], s. f.).

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS Y BIBLIOGRAFÍA CONSULTADA

- Abellán, A. (2016). Los impactos de la urbanización en el ciclo del agua. *Iagua*. <https://www.iagua.es/blogs/ana-abellan/impactos-urbanizacion-ciclo-agua>
- Angella, G, Frías, C. y Salgado, R. (2016). *Conceptos básicos de las relaciones agua-suelo-planta* (Colección Divulgación). INTA Ediciones, Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria.
- Balvanera, P. (2012). Los servicios ecosistémicos que ofrecen los bosques tropicales. *Ecosistemas*, 21 (1-2), 136-147.
- Blanco, J. (2017). Bosques, suelo y agua: explorando sus interacciones. *Ecosistemas*, 26(2),1-9. Doi: 10.7818/ECOS.2017.26-2.01
- Brüschweiler, S., Höggel, U. y Kläy, A. (2004). *Los bosques y el agua: interrelaciones y su manejo* (Informes de Desarrollo y Medio Ambiente Nº 19). Geographica Bernensia, Centre for Development and Environment.
- Doménico, P., & Schwartz, F. (1998). *Physical and chemical hydrogeology*. John Wiley & Sons, Inc.
- Freeze, A. y Cherry, J. (1979). *Agua subterránea*. Prentice-Hall, Inc. http://hydrogeologistswithoutborders.org/wordpress/wp-content/uploads/Freeze_and_Cherry_1979-smaller.pdf
- Gleason, J. (2016). *El deterioro del ciclo hidrológico en las ciudades: el verdadero problema del agua en Jalisco*. Universidad de Guadalajara, Centro Universitario de Arte, Arquitectura y Diseño. <http://iippg.cucea.udg.mx/sites/default/files/Deterioro%20del%20ciclo%20del%20agua%20240216.pdf>
- International Union of Forest Research Organizations. (s.f.). Interconnecting forests, science and people. <https://www.iufro.org/science/task-forces/former-task-forces/traditional-forest-knowledge/description/>
- Losilla, M., Ramírez, H., Schosinsky, G., Stimson, J. y Bethune, D. (2001). *Los acuíferos volcánicos y el desarrollo sostenible en América Central*. Editorial de la Universidad de Costa Rica.
- Oficina Regional de UICN para México, América Central y el Caribe. (s.f.). *Ciclo del agua* [Infografía]. Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza. https://www.iucn.org/sites/dev/files/content/documents/ciclo_del_agua.pdf
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2009). *Los bosques y el agua* (Estudio FAO: Montes 155). <http://www.fao.org/3/i0410s/i0410s.pdf>
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (s. f.). *UN water*. <https://www.unwater.org>
- Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura. (s. f.). *Aguas subterráneas y cambio climático*.
- Piñeiros, L. (2020, 27 de mayo). *Agua, salud y ecosistemas*. Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza. <https://www.iucn.org/news/south-america/202005/agua-salud-y-ecosistemas>
- Pringle, C. (2003). What is hydrologic connectivity and why is it ecologically important? *Hydrological Processes*, 17: 2685-2689. DOI: 10.1002/hyp.5145
- Vera, C. y Camilloni, I. (s.f.) *Ciencias naturales: el ciclo del agua*. Universidad de Buenos Aires y Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas. <http://www.bnm.me.gov.ar/giga1/documentos/EL002315.pdf>
- Villegas, J. (2004). Análisis del conocimiento en la relación agua-suelo-vegetación para el departamento de Antioquia. *Revista EIA*, 1. http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1794-12372004000100008

CAPÍTULO 2

MARCO METODOLÓGICO



En el capítulo 1 de este informe se discutió el tema del agua como un componente vital para la vida en el planeta, algunos eventos climáticos, y la relación del bosque, el suelo y el agua. En este capítulo se definen los límites de la Región Metropolitana de Guatemala (RMG), y sus características poblacionales, hidrogeológicas y forestales. Asimismo, se presenta el marco de fuerzas motrices, presión, estado, impacto, y respuestas (FM-PEIR), que es la base para la investigación y desarrollo de los capítulos 3 a 7 del informe.

2.1 LA REGIÓN METROPOLITANA DE GUATEMALA (RMG)

En términos generales, y a nivel internacional, la dinámica de «metropolización» hace referencia al crecimiento de las ciudades. La delimitación de estos espacios se ha definido a partir de la aplicación de distintos enfoques, y ha variado según países y momentos.

Algunos de los criterios que se han utilizado en las diferentes propuestas de delimitación son la expansión del espacio construido, la concentración y densidad poblacionales, las áreas de influencia económica, los límites administrativos municipales, la conectividad con un núcleo metropolitano, la integración económica y social, los flujos de movilidad poblacional, entre otros (Instituto de Investigación y Proyección sobre Ciencia y Tecnología [Incyt], 2020).

De acuerdo con Incyt (2020), desde mediados del siglo pa-

sado se han desarrollado diferentes propuestas en el país para establecer una delimitación de la región metropolitana de la ciudad de Guatemala, con el propósito de comprender su dinámica particular.

2.1.1 DEFINICIÓN DE LA RMG

En el presente informe se utiliza la delimitación de RMG propuesta por el Instituto de Agricultura, Recursos Naturales y Ambiente y The Nature Conservancy [Iarna y TNC] (2013) que combina una delimitación administrativa a nivel municipal, con criterios hidrológicos a nivel de subcuencas (figura 6)³.

Esta propuesta define, a través de análisis de sistemas de información geográfica, un núcleo urbano de 38 260 hectáreas (ha) que abarca 12 municipios del departamento de Guatemala. Estos constituyen los principales demandantes de agua para la región e incluyen a: Amatitlán, Chinautla, Fraijanes, Mixco, Guatemala, San Miguel Petapa, San José Pi-

nula, San Juan Sacatepéquez, San Pedro Sacatepéquez, Santa Catarina Pinula, Villa Nueva y Villa Canales (Iarna y TNC, 2013).

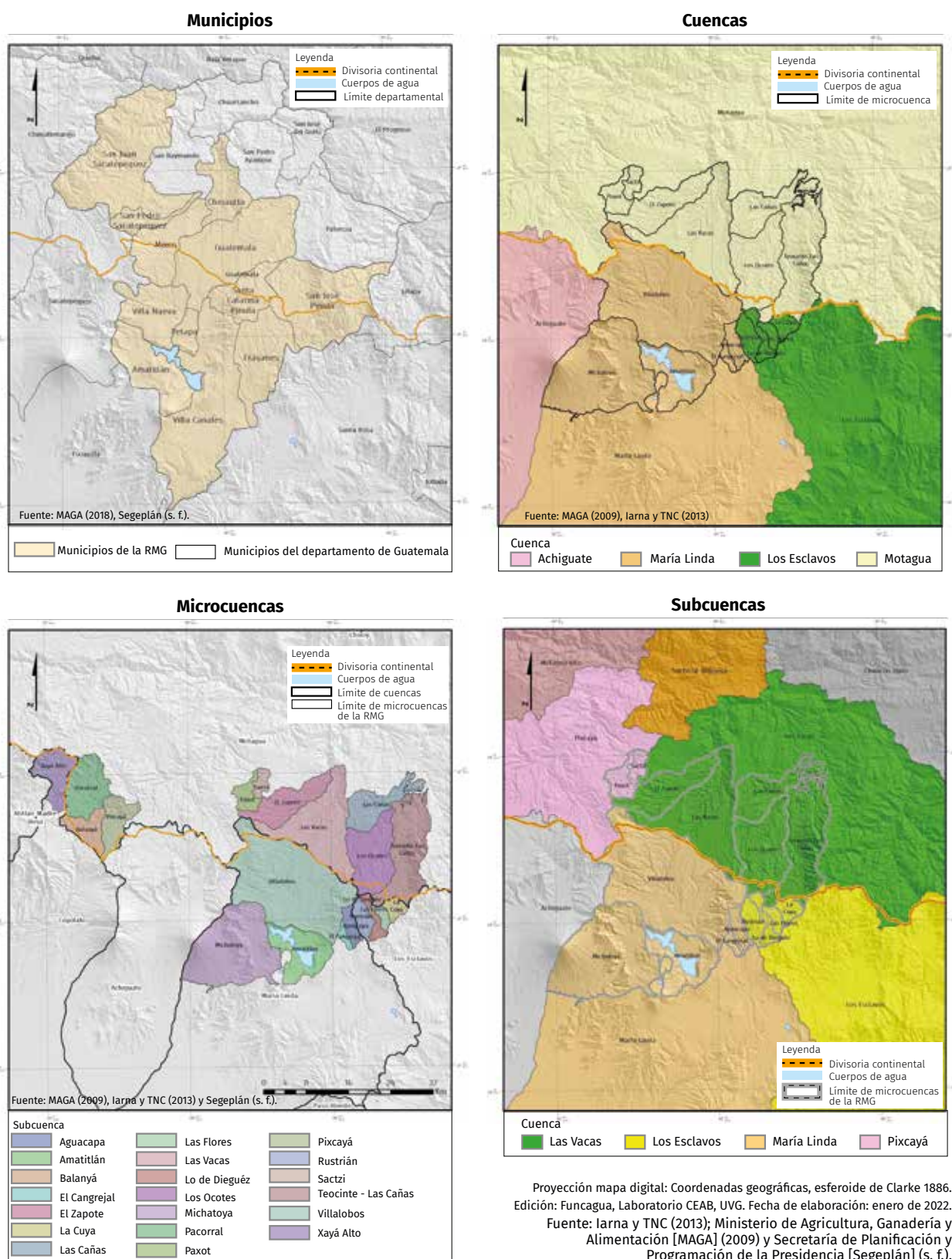
Por otro lado, se consideraron las principales microcuencas de los municipios identificados dentro de la RMG. El resultado fue un conjunto de 16 microcuencas que son: Aguacapa, Amatitlán, El Cangrejal, El Zapote, La Cuya, Las Cañas, Las Flores, Las Vacas, Lo de Diéguez, Los Ocotes, Michatoya, Paxot, Rustrián, Sactzi, Teocinte-Las Cañas y Villalobos.

Además, se agregó el sistema de importación de agua superficial por gravedad que abastece a la ciudad de Guatemala a través del acueducto Xayá-Pixcayá de los ríos de esos mismos nombres.

La delimitación tomada en cuenta para este estudio abarca otras regiones como el Cerro Alux en San Lucas Sacatepéquez y algunas cuencas de Milpas Altas.

³ Como es de esperarse, los límites de las subcuencas no coinciden con los límites administrativos de los 12 municipios considerados en la región metropolitana de la ciudad de Guatemala. En algunos casos, solo una pequeña parte de las cuencas relevantes se asocia con alguno de los municipios considerados, como en el caso de la parte hidrológica estimada para el municipio de Villa Canales. En otros casos, algunas secciones de las cuencas consideradas están ubicadas en municipios que no fueron tomados en cuenta como parte de la región metropolitana, como algunas microcuencas que ocupan pequeñas porciones de Escuintla o Sacatepéquez.

Figura 6. Región Metropolitana de Guatemala



2.1.2 CARACTERÍSTICAS DE LA REGIÓN METROPOLITANA DE GUATEMALA (RMG)

2.1.2.1 Población

Según el *XII Censo de Población y VII de Vivienda* realizado por el Instituto Nacional de Estadística (INE), la población total en dichos municipios era de 2 834 027 personas para 2018, de las cuales 2 645 002 vivían en el área urbana (INE, 2018). El anexo 1 muestra el detalle de la población por municipio y el anexo 2 indica la población urbana por municipio.

2.1.2.2 Hidrología⁴

La cuenca del río Las Vacas (235 kilómetros cuadrados -km²-), que contiene las subcuencas del río Las Vacas, Los Vados y los Ocotes, es conocida como **cuenca norte**; mientras que en la parte suroeste se encuentra la **cuenca sur**, la cual se compone por la subcuenca del río Villalobos, que desemboca en el lago de Amatitlán, y representa un área de la parte alta de la cuenca del río María Linda, que desemboca en el océano Pacífico. Esta región se caracteriza por un aumento constante de las áreas urbanizadas (González, 2018).

El municipio de Guatemala, que forma parte de la RMG, está rodeado por montañas que dividen las dos grandes cuencas que lo delimitan en tres subcuencas: la del río Motagua, la de la vertiente del Caribe y la cuenca del río María Linda que drena hacia el océano Pacífico (Iarna y TNC, 2013).

El municipio se abastece de dos fuentes hídricas principales, las aguas superficiales y las subterráneas. En este sentido, el agua superficial se obtiene en su mayoría de los ríos Xayá, Pixcayá, Pansalic⁵ y Teocinte; mientras que las fuentes subterráneas provienen de acuíferos ubicados en el Valle de la Ermita y su extracción es a través de pozos (González, 2018).

2.1.2.3 Hidrogeología

En Guatemala, las formaciones geológicas están constituidas por rocas volcánicas, metamórficas y sedimentarias, afectadas a lo largo del tiempo por los diferentes períodos geológicos. Dependiendo de la composición y características de los suelos, como su estado estructural. Estas formaciones propician la infiltración del agua hacia los acuíferos, de donde proviene la importancia del conocimiento de la

geología de la región (Iarna y TNC, 2013).

Un acuífero es una formación geológica formada por una capa o capas subterráneas de roca o de otros estratos geológicos que contienen agua subterránea y permiten su flujo o su extracción en cantidades significativas. Poseen cierta permeabilidad y porosidad que determinan sus características hidráulicas, es decir, el movimiento del agua entre las rocas (Real Academia Española [RAE], 2020; Ordóñez, 2011).

Los diferentes tipos de formaciones geológicas, así como la infiltración y la dinámica de la corteza terrestre, originan diferentes tipos de acuíferos: libres, colgados, semiconfinados y confinados. Asimismo, dependiendo de la dinámica de formación y de que recibían agua de la precipitación u otras vías, los acuíferos se definen en tres zonas: alimentación o recarga, circulación o almacenamiento y descarga (Iarna y TNC, 2013).

La hidrogeología de la RMG está representada especialmente por las unidades de almacenamiento descritas por el Instituto de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología [Insivumeh] en 1978, principalmente para la zona

⁴ La información de este y los siguientes incisos corresponde al municipio de Guatemala únicamente, por no existir información integrada sobre la RMG.

⁵ Con respecto al río Pansalic, hace años que la planta La Brigada ya no utiliza el agua superficial de este afluente debido al grado de contaminación del mismo. Asimismo, el río Pinula sirve de fuente para la planta El Cambray (comunicación personal, Carlos Roberto Cobos, febrero de 2022).

delimitada como Valle Central y resumidas en el trabajo de Losilla *et al.* (2001): depósitos volcánicos cuaternarios, sedimentos fluvio lacustres cuaternarios, lavas del Terciario y calizas del Cretácico.

2.1.2.4 Cobertura forestal

Según el mapa de bosques y uso de la tierra para Guatemala del Grupo Interinstitucional de Monitoreo de Bosques y Uso de la Tierra (Gimbot, 2014), el país contaba con 3 674 728 ha de bosques (33.74 % del territorio nacional) para el año 2012, y con otros medios de vegetación arbustiva y/o herbácea, incluyendo sabanas (0.22 %), vegetación arbustiva baja (guamil-matorral) (22.6 %) y árboles dispersos (0.63 %), equivalentes a 2 557 914 ha (23.48 % del territorio nacional).

Para el año 2016, el mapa de cobertura forestal INAB *et al.* (2019), indica que Guatemala contaba con 3 574 244 ha de bosque, equivalentes a 33.0 % del territorio nacional. El país redujo su cobertura forestal de 64 % del territorio en 1950 (6 973 924 ha) (Iarna, 2009), a 33.0 % del territorio en 2016 (3 574 244 ha) (INAB *et al.*, 2019).

El departamento de Guatemala contaba con 53 003 ha en 2010, pero esa cantidad disminuyó a 48 180 para 2016 (INAB *et al.*, 2019).

2.2 EL MARCO DE ORDENAMIENTO Y ANÁLISIS

2.2.1 EL MARCO DE FUERZAS MOTRICES-PRESIÓN-ESTADO-IMPACTO- RESPUESTAS (FM-PEIR)

Los datos estadísticos de índole ambiental se producen de forma aislada por un conjunto amplio de instituciones con propósitos muy diversos. Los marcos de ordenamiento y análisis de la información ambiental que se han desarrollado desde inicios de la década de 1990 buscan organizar dicha información y los datos disponibles, con el objetivo de generar una visión integral de los problemas ambientales e identificar las interrelaciones clave.

En términos prácticos, su importancia reside, tanto en el potencial que presentan para guiar el proceso de recolección de los datos relevantes para evaluaciones concretas, como por la facilidad que ofrecen para identificar los mensajes clave para la comunicación hacia diversos usuarios (Shütz *et al.*, 2008).

Desarrollado a partir del marco PER (presión-estado-respuesta) de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE), el mar-

co de FM-PEIR fue propuesto inicialmente por la Agencia Europea de Medio Ambiente (AEMA) para el monitoreo y la evaluación sistemáticos del aire, el agua y el suelo, y fue utilizado más tarde para otras temáticas ambientales (Lalande *et al.*, 2014; Robele *et al.*, 2014).

Este marco es una herramienta que permite describir las consecuencias del desarrollo socioeconómico en el sistema natural y sus componentes, al identificar las relaciones de causa y efecto que existen entre las actividades humanas y el sistema ambiental, y sus correspondientes efectos sociales y económicos (Kelble *et al.*, 2013; Sun *et al.*, 2015). El marco FM-PEIR divide el análisis de una cuestión ambiental específica en cinco categorías de análisis (figura 7).

Las **fuerzas motrices**, que representan las dinámicas sociales y económicas, es decir, a las actividades humanas asociadas a los modelos de desarrollo, las actividades económicas, las dinámicas demográficas, los estilos de vida y las culturas de las poblaciones.

Las **presiones**, que describen aquellos procesos que pueden significar un cambio cuantitativo o cualitativo en las condiciones y recursos ambientales,

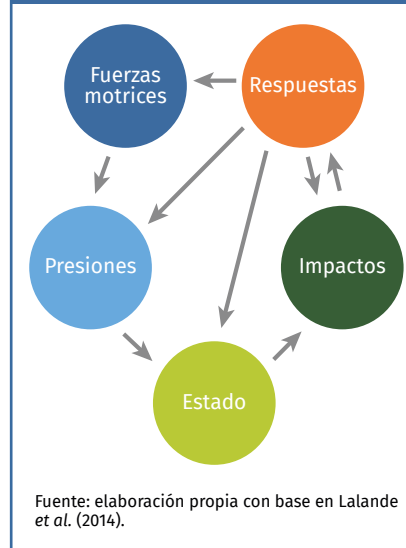
y que pueden agruparse en las demandas y usos de recursos, las dinámicas del uso del suelo y las transformaciones del paisaje, y las descargas de sustancias (emisiones al aire, agua y suelo). Incluye también el cambio climático como determinante de nuevas condiciones para la diversidad biológica.

Los indicadores de **estado**, que describen la cantidad y calidad de los recursos naturales, de las condiciones ambientales y de los ecosistemas.

Los **impactos**, que representan las implicaciones del estado actual (y las tendencias) de los recursos y condiciones ambientales en el sistema natural, las personas, la sociedad y la economía.

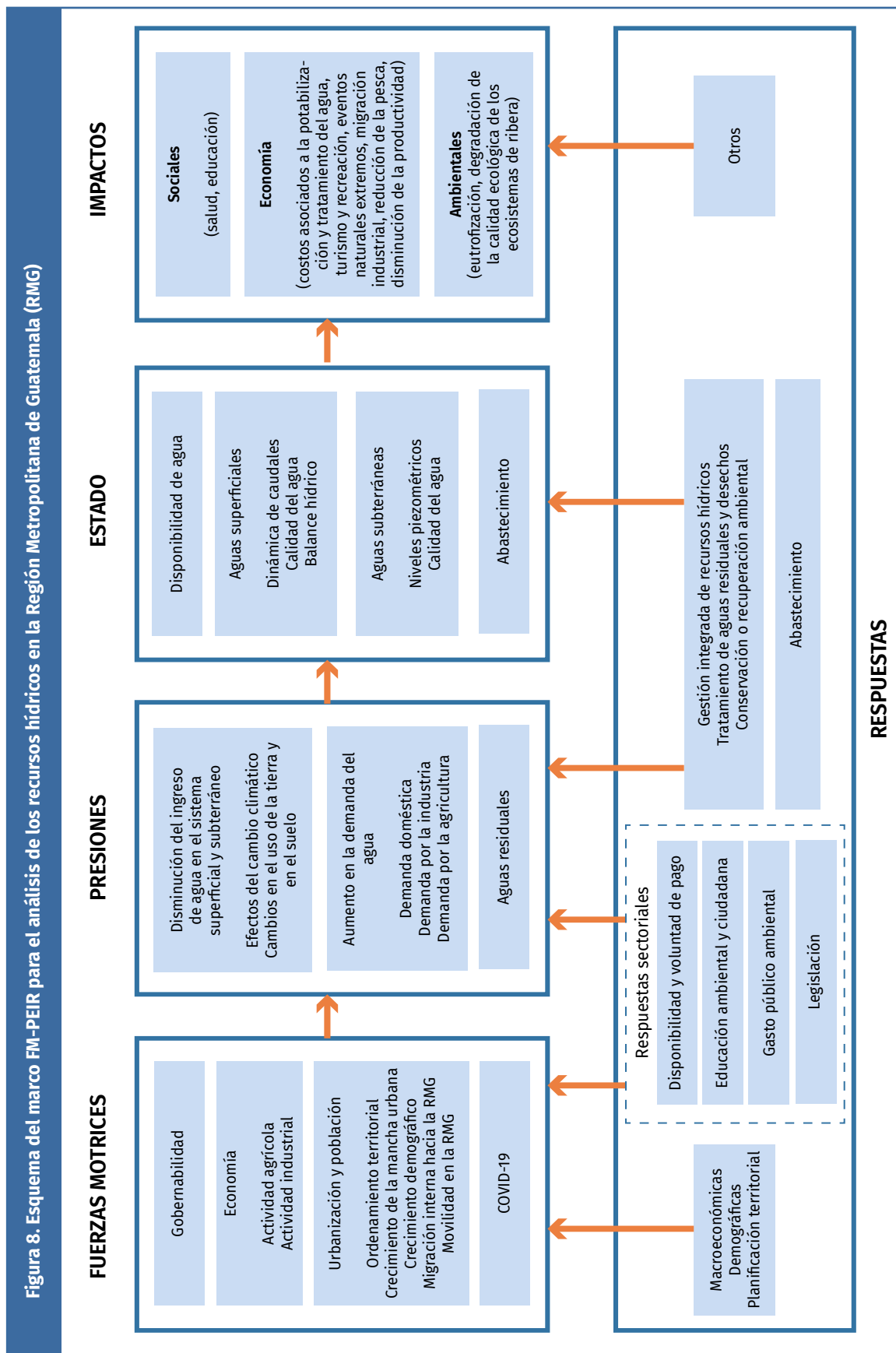
Finalmente, las **respuestas** identifican las acciones de la sociedad en general (gobierno central, municipalidades, sector privado, sociedad civil y organizada y academia, entre otros) frente a puntos específicos de la cadena de causa y efecto de una problemática ambiental (Kelble *et al.*, 2013; Lalande *et al.*, 2014).

Figura 7. Marco FM-PEIR e interrelaciones



2.2.2 EL MARCO FM-PEIR Y LA EVALUACIÓN DE LOS RECURSOS HÍDRICOS DE LA REGIÓN METROPOLITANA DE GUATEMALA (RMG)

El presente informe está estructurado sobre la base del marco FM-PEIR, tal como se muestra en la figura 8 y en los siguientes capítulos se abordará cada categoría de análisis de forma detallada.



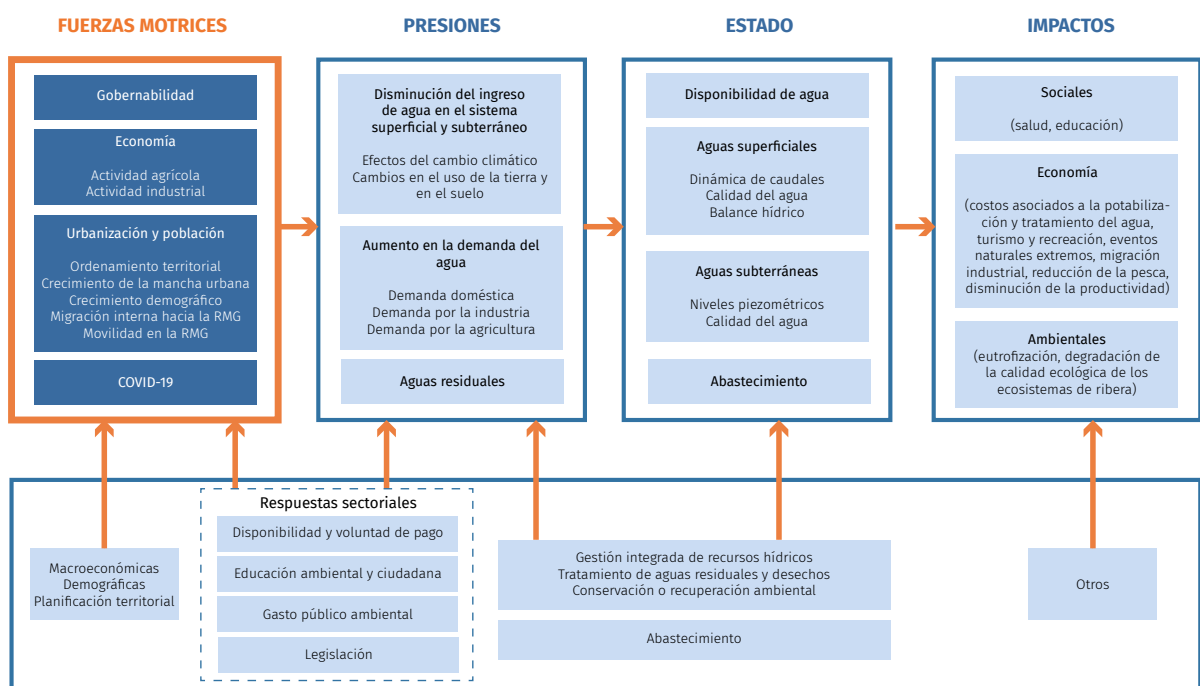
Fuente: elaboración propia con base en Iarna (2020).

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS Y BIBLIOGRAFÍA CONSULTADA

- González, B. (2018). Agua y ciudad: análisis y perspectivas del consumo de agua en el municipio de Guatemala. *Revista Análisis de la Realidad Nacional*, 24: 23. https://www.academia.edu/40988424/Agua_y_ciudad_an%C3%A1lisis_y_perspectivas_del_consumo_de_agua_en_el_municipio_de_Guatemala
- Grupo Interinstitucional de Monitoreo de Bosques y Uso de la Tierra. (2014). *Mapa de bosques y uso de la tierra 2012* [Mapa]. <http://www.infoiarna.org.gt/temas/bosque/>
- Instituto de Agricultura, Recursos Naturales y Ambiente. (2009). *Perfil Ambiental de Guatemala 2008-2009*. <https://www.url.edu.gt/publicacionesurl/pPublicacion.aspx?pb=371>
- Instituto de Agricultura, Recursos Naturales y Ambiente y The Nature Conservancy. (2013). *Bases técnicas para la gestión del agua con visión de largo plazo en la zona metropolitana de Guatemala*. Universidad Rafael Landívar.
- Instituto de Investigación y Proyección sobre Ambiente Natural y Sociedad. (2020). *Agroecosistemas* (Documento de trabajo de la Serie Perfil Ambiental de Guatemala). Manuscrito no publicado.
- Instituto de Investigación y Proyección sobre Ciencia y Tecnología. (2020). *Perfil urbano de Guatemala. Análisis del crecimiento de áreas urbanas*. Editorial Cara Parens, Universidad Rafael Landívar.
- Instituto Nacional de Bosques, Consejo Nacional de Áreas Protegidas y Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación. (2019). *Mapa de la cobertura forestal de la República de Guatemala del año 2016* [Mapa]. <http://www.infoiarna.org.gt/temas/bosque/>
- Instituto Nacional de Estadística. (2018). *XII Censo de Población y VII de Vivienda. Características generales de la población. Población total por grupos de edad. Datos del departamento de Guatemala*. <https://www.censopoblacion.gt/graficas>
- Instituto Nacional de Estadística. (2018a). *XII Censo de Población y VII de Vivienda. Resultados República de Guatemala*. <https://www.censopoblacion.gt/mapas>
- Instituto Nacional de Estadística. (2018b). *XII Censo de Población y VII de Vivienda. Resultados Departamento de Guatemala*. <https://www.censopoblacion.gt/mapas>
- Kelble, C., Loomis, D., Lovelace, S., Nuttle, W., Ortner, P., Fletcher, P., Cook, G., Lorenz, J., & Boyer, J. (2013). The EBM-DPSIR conceptual model: integrating ecosystem services into the DPSIR framework. *PloS ONE*, 8(8): e70766. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0070766>
- Lalande, N., Cernesson, F., Decherf, A., & Tournoud, M. (2014). Implementing the DPSIR framework to link water quality of rivers to land use: methodological issues and preliminary field test. *International Journal of River Basin Management*, Taylor&Francis, 12(3), 201-217.
- Losilla, M., Rodríguez, H., Schosinsky, G., Stimson, J. y Bethune, D. (2001). *Los acuíferos volcánicos y el desarrollo sostenible en América Central*. Universidad de Costa Rica, Centro Internacional de Investigaciones para el Desarrollo, Canadá. Editorial de la Universidad de Costa Rica.
- Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación. (2009). *Mapa de cuencas hidrográficas a 1:50 000 República de Guatemala método de Pfafstetter (primera aproximación)*. Unidad de Planificación Geográfica y Gestión del Riesgo.
- Ordóñez, J. (2011). *Aguas subterráneas-Acuíferos (Cartilla técnica)*. Sociedad Geográfica de Lima y Fondo Peruano para el Agua. https://www.gwp.org/globalassets/global/gwp-sam_files/publicaciones/varios/aguas_subterraneas.pdf
- Real Academia Española. (2020). Acuífero. *Diccionario panhispánico del español jurídico*. <https://dpej.rae.es/lema/acu%C3%Adfero>
- Robele, S.; Newton, A. & Icely, J. (2014). A review of the application and evolution of the DPSIR framework with an emphasis on coastal social-ecological systems. *Ocean and Coastal Management* (103), 63-77.
- Schütz, G., Hacon, S., Silva, H., Moreno, A., & Nagatani, K. (2008). Principales marcos conceptuales aplicados para la evaluación de la salud ambiental mediante indicadores en América Latina y el Caribe. *Rev Panam Salud Pública*, 24(4):276-85.
- Secretaría de Planificación y Programación de la Presidencia. (s. f.). *Infraestructura de datos espaciales de Guatemala*. Consultado en 2018: <http://ideg.segeplan.gob.gt/geoportal/>
- Sun, S., Wanga, Y., Liu, J., Cai, H., Wub, P., Geng, Q., & Xu, L. (2015). Sustainability assessment of regional water resources under the DPSIR framework. *Journal of Hydrology* (532), 140-148.

CAPÍTULO 3

FUERZAS MOTRICES



El presente capítulo describe las principales fuerzas motrices de las presiones sobre el recurso hídrico en la RMG, dentro de las cuales se consideran todas aquellas que influyen en la gestión y el uso adecuado y equitativo del agua, tales como: la gobernanza, las de índole económica (actividad agrícola e industrial), las relacionadas con la urbanización y aspectos poblacionales (ordenamiento territorial, crecimiento urbano y demográfico, migración hacia la RMG y movilización diaria por actividades económicas), así como los impactos de la pandemia COVID-19. A continuación, se describe cada una de ellas.

3.1 ¿GOBERNANZA O GOBERNABILIDAD?

Generalmente, los términos «gobernanza» y «gobernabilidad» suelen utilizarse de manera indistinta. No obstante, mientras que el vocablo inglés *governance* engloba ambos términos, en el idioma español se refieren a conceptos distintos. Conforme al Diccionario de la RAE (2020a), la *gobernabilidad* es la cualidad de gobernable o gobernanza. La *gobernanza*, en cambio, tiene dos significados: el arte o manera de gobernar, cuyo objetivo es el logro de un desarrollo económico, social e institucional duradero, promoviendo un sano equilibrio entre el Estado, la sociedad civil y el mercado de la economía; y la acción y efecto de gobernar o gobernarse (RAE, 2020b).

La Asociación Mundial para el Agua (GWP, por sus siglas en inglés) expresa que la gobernabilidad del agua hace referencia al conjunto de sistemas políticos, sociales, económicos y administrativos implementados para el desarrollo y gestión de los recursos hídricos y la provisión de servicios de saneamiento en los diferentes niveles (Rogers & Hall, 2002). Asimismo, la OCDE entiende la gobernanza como el «abanico de reglas, prácticas y procesos políticos, institucionales y administrativos formales e infor-

males, a través de los cuales se toman e implementan decisiones, los actores pueden articular sus intereses y sus inquietudes pueden ser tomadas en consideración y los tomadores de decisiones rinden cuentas por su gestión del agua» (OCDE, s. f., p. 5).

De las definiciones anteriores se deduce que la **gobernanza** se refiere al papel de las instituciones del Estado y su relación con los individuos y las organizaciones comunitarias o privadas; al ejercicio de autoridad pública a todo nivel (nacional, regional o local) o ámbito (urbano o rural) y a su capacidad de formular políticas públicas (Solanes y Peña, 2002; Jouravlev et al., 2021).

Como Guatemala se organiza en un Estado de derecho, el rol de sus instituciones se funda en el principio de juridicidad, que significa que todas sus facultades están expresamente normadas por la ley, principio fundamental para evitar que el ejercicio de la función pública sea discrecional (Colom, 2014).

Para poder saber si existe gobernanza del recurso hídrico, la OCDE estableció un marco de indicadores que incluye los principios de gobernanza del agua para poder evaluar

que esta sea eficiente, eficaz y participativa, producto del análisis de las políticas, legislación, institucionalidad y buenas prácticas de los Estados miembro de OCDE⁶ (OCDE, 2015). Los principios representan 12 elementos/indicadores esenciales, centrados en la efectividad, eficiencia y confianza, así como participación del público (anexo 3). Los indicadores de gobernanza son, entonces, aquellos que ayudan a evaluar la buena gestión y gobierno del recurso hídrico.

Al observar la situación del agua en Guatemala, se encuentra un escenario débil e incompleto de gobernanza, considerándolo desde la perspectiva general y nacional, en función de la seguridad hídrica y la gestión integrada del agua (figura 9).

3.1.1 MARCO LEGAL DE LOS RECURSOS HÍDRICOS EN GUATEMALA

El país cuenta con políticas públicas gubernamentales globales, transversales, sectoriales e institucionales que abordan ciertos aspectos relacionados con los recursos hídricos; pero no cuenta con una ley e institucionalidad específica (recuadro 2).

⁶ Treinta y ocho países miembros de norte y sur América, Europa y Asia-Pacífico, con las economías más grandes, fuertes y/o sanas del mundo, de los cuales Guatemala no es parte (OECD, s.f.).

Figura 9. Aplicación de los principios OCDE a Guatemala



Nota: los espacios rellenos con color se refieren a la administración pública. La escala significa lo siguiente: rojo = se realizan actividades que no están contempladas por la ley, verde = entidades que cumplen con la ley, amarillo = entidades que relativamente cumplen con los mandatos legales, anaranjado = cumplimiento de los mandatos de manera limitada, gris = sin datos.

Fuente: elaboración propia de la co-autora Elisa Colom de Morán.

Recuadro 2. Ley de Aguas en Guatemala

En el caso de Guatemala, en la figura 10 se muestra de manera clara la falta de una ley específica de agua. Esto significa que este elemento ambiental carece de identidad legal propia, lo cual limita el desarrollo del potencial hídrico, la protección de los derechos de agua, la capacidad pública de proteger la vida de las personas y sus bienes ante eventos hidrológicos extraordinarios, así como la de conservar la integridad del patrimonio hídrico y de valorar sus aportes, sea como bien vital, recurso útil para la economía o elemento fundamental de procesos ecológicos. Esta ilustración también hace visible las relaciones de interferencia e interdependencia entre los regímenes ambientales, representadas por las intersecciones que destacan la necesidad de asegurar coherencia y complementariedad entre estos.

La complementariedad se manifiesta, por ejemplo:

- (a) con la atmósfera, pues la legislación del agua se vincula a través de las medidas de mitigación y adaptación;
- (b) con el régimen del bosque, con las disposiciones que favorecen la reproducción del ciclo del agua, como la protección de zonas de recarga hídrica;
- (c) respecto a la diversidad biológica, la legislación del agua se ve complementada con las medidas de protección de ecosistemas acuáticos considerados hábitat de especies;
- (d) con la legislación de energía, minas, hidrocarburos, acuicultura y pesca se vincula por la forma como estas prevén el aprovechamiento del agua;
- (e) con el régimen legal del suelo, se relaciona para asegurar el escurrimiento e infiltración de la lluvia y evitar la erosión;
- (f) con la legislación ambiental, principalmente con las medidas para la conservación, protección y recuperación de las fuentes y ecosistemas de agua y
- (g) con los glaciares, mares y océanos, porque estos elementos forman parte del mismo ciclo natural, regido por el clima de la Tierra y tienen la capacidad de impactarse entre sí.

Fuente: elaboración propia de la co-autora Elisa Colom de Morán.

Ante la falta de una ley, la gobernanza del agua en Guatemala descansa en un conjunto de disposiciones legales, no solo dispersas, inarmónicas y desactualizadas, sino incompletas, que se refleja en la falta de claridad de las competencias y actuaciones de las instituciones públicas (cuadro 1).

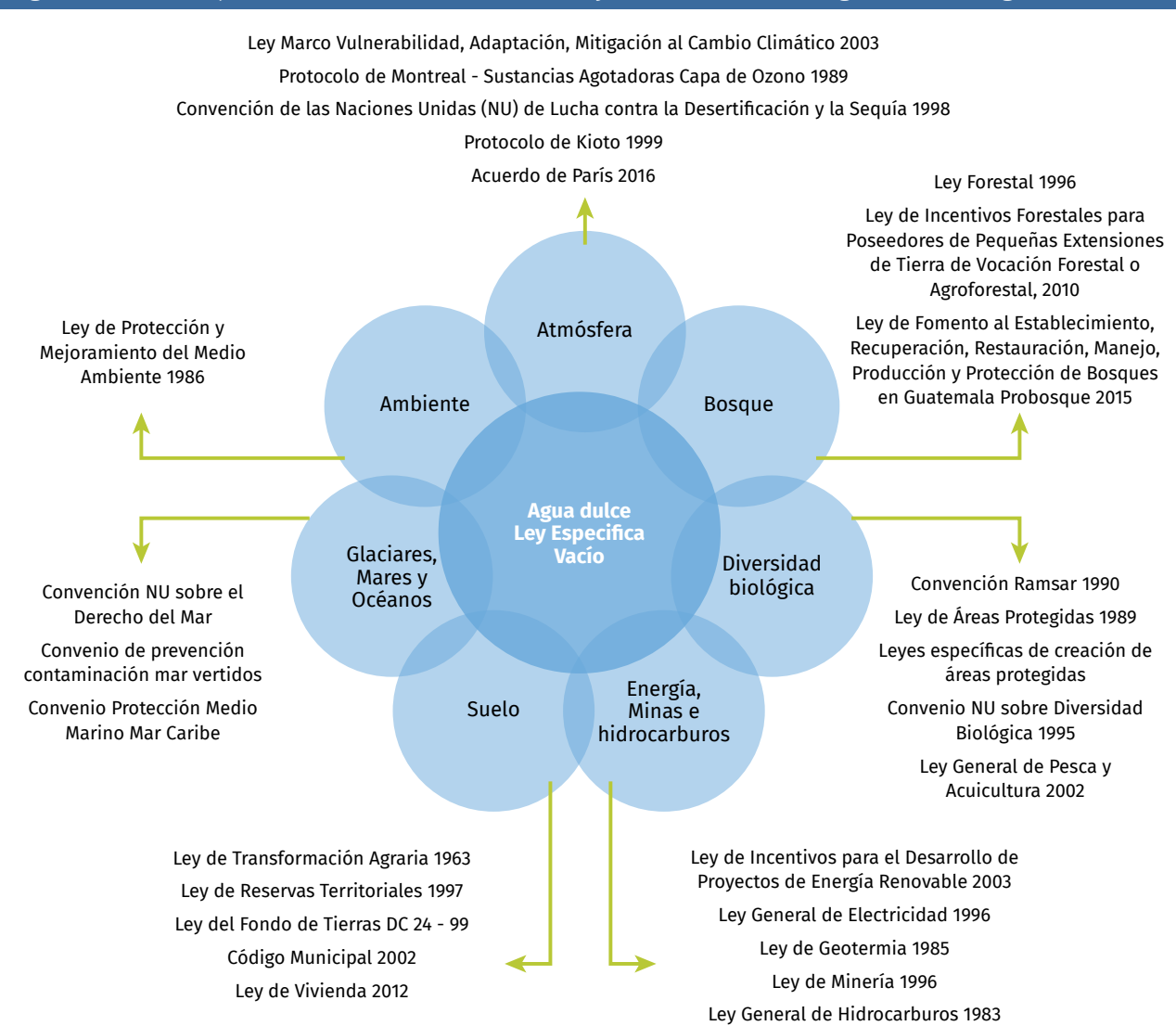
Esta situación genera problemas como los siguientes:

- 💧 Uso ineficiente e ineficaz del recurso hídrico, que se traduce en su sobreexplotación y subutilización.
- 💧 Ausencia de un sistema general para otorgar derechos de agua, salvo para fines mineros y energéticos, hecho que excluye y discrimina el acceso al agua para fines domésticos, agrícolas, industriales y demás, provocando conflictos.
- 💧 Contaminación sin control de las aguas, y deterioro de las condiciones naturales de las fuentes y ecosistemas de agua en las cuencas.
- 💧 Ausencia de un sistema nacional de información del agua para la toma de decisiones a todo nivel.
- 💧 Limitados recursos humanos del sector, tanto en número como en capacidades.

- Desorden en el uso del recurso hídrico sin capacidad de fiscalización.
- Visión sectorial de la gestión y del gobierno del agua, como se refleja en los regímenes legales de los servicios públicos de agua y saneamiento, y en los de minería, energía, pesca y acuicultura.

El régimen legal del agua como recurso se refiere al bien vital, y al mismo tiempo al recurso útil para la economía y elemento fundamental del ambiente. Está presente en numerosas actividades sociales, como se refleja en las atribuciones asignadas por la ley a las entidades públicas señaladas en el cuadro 1.

Figura 10. Sistema jurídico ambiental en Guatemala y su relación con la legislación del agua



Cuadro 1. Instancias gubernamentales con competencias en el sector hídrico en Guatemala

Institución pública, comunitaria o privada	Políticas, planificación y presupuesto ⁷	Información	Estudios hidráulicos e hidrogeológicos	Rectoría	Regulaciones	Adaptación al cambio climático	Manejo integral de cuencas	Manejo de diversidad biológica y bosque	Manejo del suelo	GIRH	Conservación y protección ⁸	Otorgamiento de derechos de agua	Coordinación interinstitucional ⁹	Participación ¹⁰	Capacitación y asistencia técnica
MAGA															
MARN															
AMSA															
CIV, obra pública															
CIV, Insivumeh															
MEM															
Minfin															
MSPAS															
Segeplán															
INDE															
INAB															
Conap															
Municipalidades															
Siscode															

Nota. Los nombres completos de las instituciones se encuentran en la sección de siglas y acrónimos. Leyenda: rojo = se realizan actividades no contempladas por la ley, verde = se cumple con la ley, amarillo = se cumple medianamente con los mandatos legales, anaranjado = se cumplen los mandatos de manera limitada.

Fuente: elaboración propia de la coautora Elisa Colom de Morán.

⁷ Conforme a la Constitución Política de la República de Guatemala, artículo 134, todas las entidades del Estado centralizadas, descentralizadas y autónomas están obligadas a coordinar la planificación y el presupuesto, como luego lo regulan la Ley del Organismo Ejecutivo y la Ley Orgánica del Presupuesto.

⁸ Las aguas residuales son parte de las medidas de conservación y protección, así como del control de la contaminación.

⁹ Conforme a la Ley del Organismo Ejecutivo, todos los ministerios coordinan, en primera instancia, a través del consejo de ministros, que es presidido por el presidente, o a través de los gabinetes específicos.

¹⁰ Conforme al convenio 169, todas las entidades del Estado están obligadas a la consulta previa e informada a los pueblos indígenas, cuando vayan a adoptar una medida administrativa que los afecte. El Código Municipal contempla la figura de la consulta comunitaria. El Sistema de Consejos de Desarrollo (Siscode) es el sistema existente para articular la participación del público en la toma de decisiones locales de planificación y presupuesto del desarrollo en general.

Las disposiciones de estas leyes pertenecen a diversos sub sistemas jurídicos (agrícola, ambiental, áreas protegidas, bosque, cuencas, energía, finanzas, planificación, obras públicas, salud, entre otros), las cuales no han sido emitidas para administrar las aguas, sino para responder a usos sectoriales y medidas de conservación ambiental. La ausencia de una ley que disponga sobre la gestión integrada de los recursos hídricos y armonice las diversas necesidades sectoriales provoca confusión, traslapes y vacíos legales que no favorecen la gobernanza del agua (como se verá a detalle en el capítulo sobre respuestas).

3.1.2 RÉGIMEN LEGAL DE LOS SERVICIOS PÚBLICOS DE AGUA Y SANEAMIENTO

El agua como recurso es, a la vez, el principal insumo y residuo de los servicios públicos y saneamiento (cuadro 2). Sin embargo, la prestación de estos servicios está sujeta a un régimen legal distinto que aún refleja modelos sobre obras públicas imperantes en el mundo de las décadas de 1940 y 1950, que ya no responden a los retos actuales, según sugiere la evidencia empírica.

A pesar de que el régimen legal actual pretende garantizar los principios constitucionales relativos al derecho a la salud, a un ambiente sano y a la autonomía municipal, el mismo establece un sistema legal que, al estar contenido

principalmente en el Código Municipal y en el Código de Salud, omite aspectos muy importantes como la protección al consumidor, la valoración económica y la regulación de la industria que abastece agua (la cual funciona principalmente en la región metropolitana) (Société Grenoble's d'Études e' d'Applications Hydrauliques [Sogreah], 2002).

Aun cuando se han emitido regulaciones sanitarias para abastecer de agua segura, así como para la gestión ambiental de las aguas residuales de-

rivadas del Código de Salud y de la Ley de Protección y Mejoramiento del Medio Ambiente, los hechos evidencian su precaria observancia por parte de las municipalidades, y debilidad en cuanto a su aplicación por parte de los ministerios de salud y ambiente.

Finalmente, cabe destacar que el Instituto de Fomento Municipal (Infom) debe brindar asistencia técnica y administrativa a las municipalidades por mandato legal, pero actualmente no cuenta con ningún programa de fortalecimiento,

Cuadro 2. Instancias con competencias en el sector de agua potable y saneamiento en la Región Metropolitana de Guatemala (RMG)

Instituciones públicas, comunitarias y privadas	Regulación	Rectoría	Prestación	Operación	Protección al consumidor	Capacitación y asistencia técnica
Municipalidad (reguladores del servicio público)						
Empresas municipales						
Oficinas municipales de agua y saneamiento						
Operadores privados						
Operadores comunitarios						
Usuarios, consumidores						
MARN (disponibilidad de agua para los sistemas y control de aguas residuales)						
MSPAS (calidad agua / por operador)						
Ministerio de Economía						
Instituto de Fomento Municipal						

Fuente: elaboración propia de la coautora Elisa Colom de Morán.

aun cuando conforme a los resultados del ranking municipal 2018, relativo al índice de gestión municipal, tres de 340 municipios calificaron dentro del rango medio-alto, diez en el rango medio, y el resto se ubicó en los rangos medio-bajo y bajo (United States Agency for International Development [Usaid] y Secretaría de Planificación y Programación de la Presidencia [Segeplán], 2019).

Derivado de lo anterior, en el régimen legal de los servicios públicos de agua y saneamiento se observan las siguientes fallas:

- Políticas y regulación municipal a cargo de 340 autoridades municipales, lo

cual amenaza el principio constitucional de igualdad ante la ley.

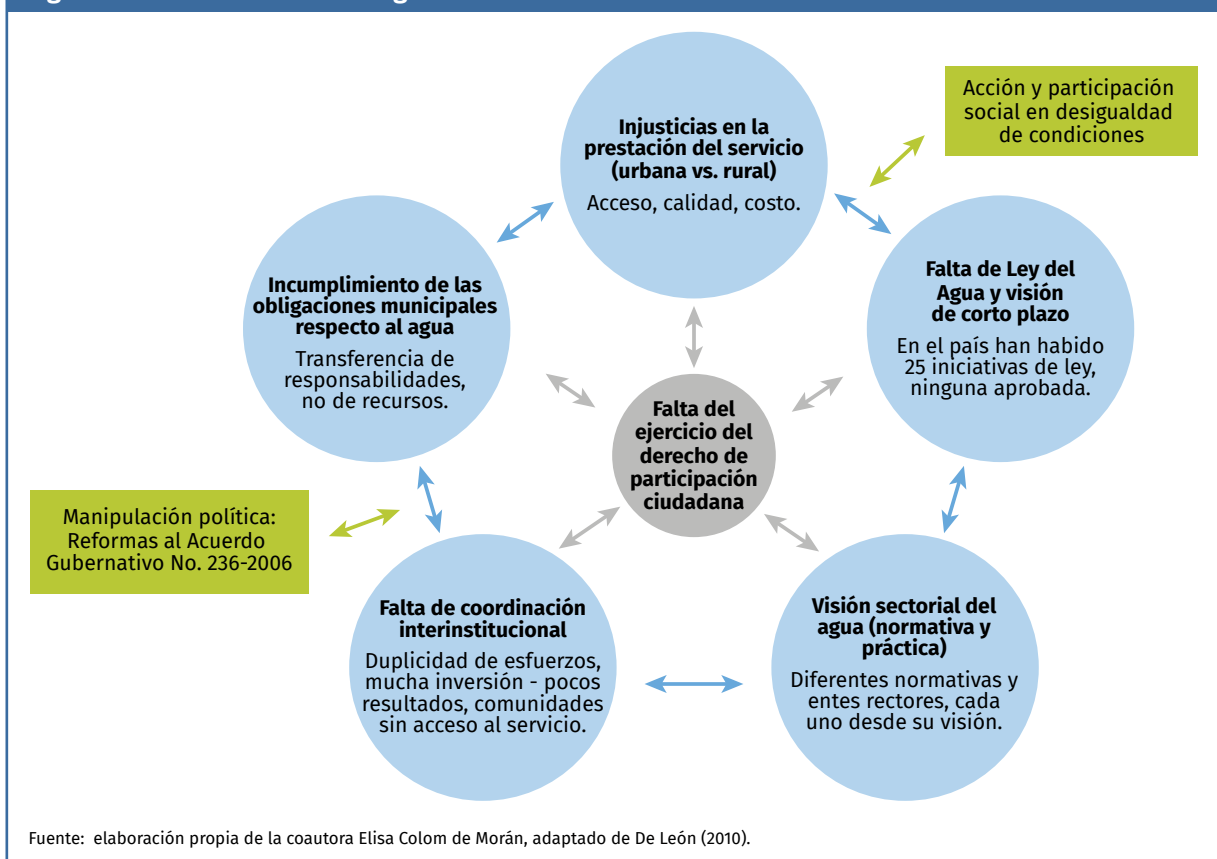
- Ausencia de un ente regulador de los servicios públicos de agua potable y saneamiento a nivel nacional.
- Rectoría distribuida en dos ministerios.
- Falta de programas nacionales para reducir el déficit actual de cobertura y mejorar la calidad de los servicios.
- Sustitución de los servicios públicos por privados con sobre costos cargados al consumidor, sin regulación ni control.
- Servicios de saneamiento deficientes o inexistentes,

y objeto de un control precario por parte de las autoridades sanitarias y ambientales (Sogreah, 2002; Lentini, 2010).

3.1.3 LA INGOBERNABILIDAD DEL RECURSO HÍDRICO EN GUATEMALA

Como se mencionó en el inciso anterior, en el país existen varias problemáticas relacionadas con la gestión del recurso hídrico, las cuales se encuentran interconectadas y envueltas en una especie de círculo vicioso con reacciones en cadena que derivan en ingobernabilidad, ejemplificadas en la figura 11.

Figura 11. Manifestaciones de ingobernabilidad del recurso hídrico en Guatemala



Esto es consecuencia de la falta de un ambiente político, legal e institucional propicio que genera falta de liderazgo y compromiso por parte de los tomadores de decisiones para avanzar en la observancia de los principios de gobernanza, lo que requiere favorecer la modernización del régimen jurídico del agua, y reformar el régimen de los servicios públicos de agua y saneamiento.

Aunque a nivel local el Código Municipal designa claramente competencias para el municipio como responsable de la prestación de los servicios públicos de agua potable y saneamiento, mejora ambiental, y formulación e institucionalización de políticas públicas, normativas, y planes de desarrollo urbano y rural, los gobiernos locales generalmente carecen de recursos suficientes para cumplir con dichas competencias. El gobierno central les traslada responsabilidades, pero no define políticas específicas de descentralización, ni herramientas de planificación, presupuesto o asesoría técnica.

Otra manifestación de la *gobernabilidad* tiene que ver con el rol que juega la población en la gestión del recurso que, siendo un bien público, debe regirse bajo principios del bien común. Sin embargo, existen malas prácticas del uso del recurso, como las que se ilustran en la figura 12, que incluso pueden transformarse en conflictos sociales.

Figura 12. Malas prácticas del uso del agua



Finalmente, bajo la Ley de Consejos de Desarrollo, existe poco involucramiento y participación de la sociedad civil para exigir que se inviertan fondos para lograr cobertura universal con servicios públicos de calidad, y para la mejora y conservación de las fuentes de agua. Tampoco se exige a las autoridades locales la pertinente rendición de cuentas, lo cual no contribuye al fortalecimiento de la gobernabilidad y la gobernanza.

3.2 ACTIVIDADES ECONÓMICAS

El análisis realizado en el presente informe sobre las actividades económicas como fuerza motriz en la RMG se enfoca en la agricultura e industria, las cuales se describen a continuación.

3.2.1 ACTIVIDAD AGRÍCOLA

En varias regiones del mundo se ha identificado a la actividad agrícola como una fuerza motriz impulsora de la deforestación -e incluso como la más significativa a nivel global-, aunque su influencia puede variar de región a región (González-González *et al.*, 2021; Franco-Solís y Montaña, 2021; Yameogo, 2021; Ribeiro *et al.*, 2021).

Aunque el territorio circundante a la ciudad aún conserva elementos naturales y agrícolas, el área metropolitana ha ido sufriendo un proceso continuo de «consolidación urbana», mediante el cual el uso del suelo se ha ido transformando en uso urbano (Segeplán y Banco Mundial, 2015).

Sin embargo, la actividad agrícola y pecuaria no es nada despreciable en el departamento de Guatemala si se consideran las siguientes cifras porcentuales, con respecto de la producción nacional (figura 13).

De acuerdo con el mapa de uso del suelo (Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación [MAGA], 2016), en la RMG existe un total de 78 799 hectáreas bajo uso agrícola, siendo los cultivos más relevantes el de caña de azúcar, café, aguacate y hortalizas (figura 14).

Según el Ministerio de Economía (Córdova, 2019), existe una participación relativamente muy baja de este sector como actividad económica en la RMG. Sin embargo, en los municipios de San Juan Sacatepéquez, San Pedro Sacatepéquez, Mixco, San José Pinula y Fraijanes, representa la principal actividad económica, lo cual supone una presión sobre el agua debido a la cantidad que se utiliza para el riego, que se estima en aproximadamente 5 850 millones de m³, que corresponde al 39 % del volumen total de agua que se usa en el país con fines agrícolas (Gálvez, 2021).

3.2.2 ACTIVIDAD INDUSTRIAL

El crecimiento del área metropolitana de Guatemala es cada vez más acelerado, debido a que es el punto con mayor crecimiento poblacional y un lugar de gran actividad económica. No obstante, dicho cre-

Figura 13. Porcentajes de producción agrícola y pecuaria en el departamento de Guatemala, con relación a la producción nacional



Fuente: elaboración propia con base en MAGA (2016).

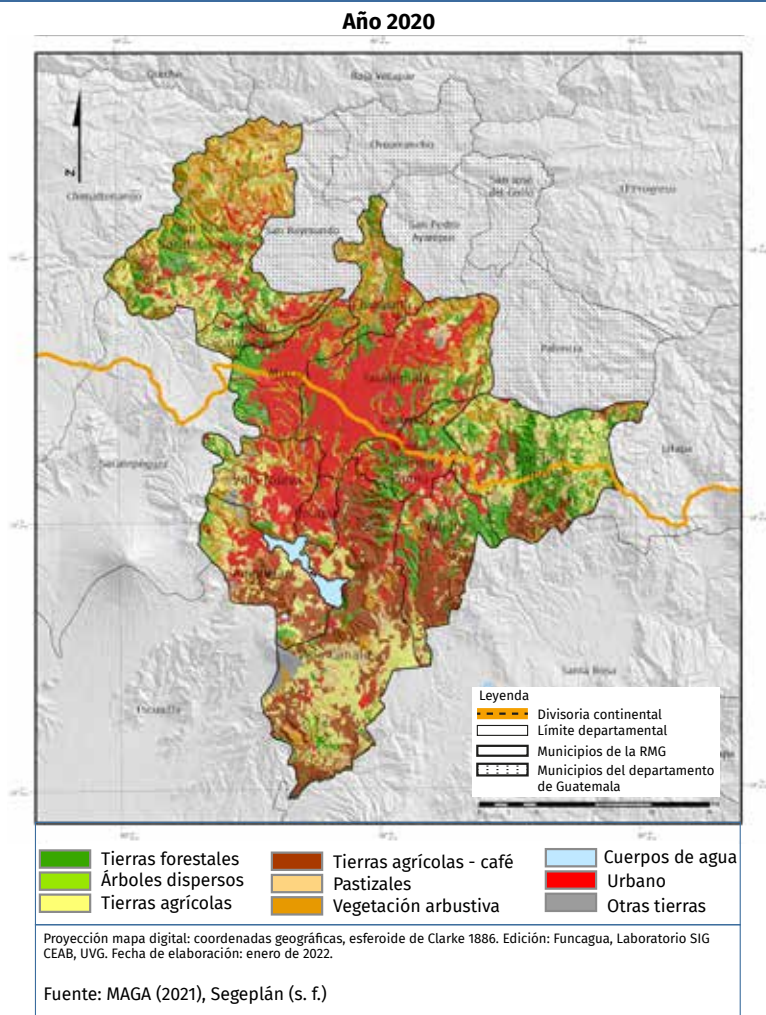
cimiento ha sido desordenado y carente de control, principalmente hacia el sur y nororiente, en donde se ha dado un proceso de instalación industrial, especialmente en los municipios de Villa Nueva, San Miguel Petapa y parte de Mixco. Con respecto a la cuenca del lago de Amatitlán, predomina un proceso de urbanización e industrialización de 228.78 km² (60 % del área de la cuenca) (Manzo, 2021).

Se estima que el 64 % de las empresas a nivel nacional está

concentrado en la RMG (Córdova, 2019), y es de conocimiento general que la mayoría de las industrias se abastecen de agua subterránea proveniente de pozos propios o manantiales ubicados dentro de sus propiedades (Lentini, 2010).

Lamentablemente, en ausencia de una instancia reguladora, no hay manera de obtener los registros de la cantidad de pozos o del consumo de agua para fines industriales, ya que los datos son manejados con discrecionalidad por las em-

Figura 14. Uso del suelo en la Región Metropolitana de Guatemala



Territorios agrícolas y pastizales en el departamento de Guatemala (ha)

#	Uso	Hectáreas
1	Granos básicos (maíz y frijol)	23 121
2	Hortalizas	8223
3	Cultivos permanentes herbáceos	4468
4	Cultivos permanentes arbustivos	20 205
5	Cultivos permanentes arbóreos	935
6	Caña de azúcar	621
7	Pasto cultivado	4743
8	Pasto natural	16 483
Total		78 799

Fuente: elaboración propia con base en MAGA (2016).

presas, y no son publicados para el acceso general de la población, por lo que únicamente se pueden realizar estimaciones indirectas.

Según Gálvez (2021), la industria primaria consume alrededor del 50 % del agua utilizada en el país^{11, 12}. Castañón (2000) estimó que el consumo anual de agua en la industria es de 332.6 millones de m³, concentrado en buena parte en la RMG, donde se ubica alrededor del 80 % del valor agregado industrial, especialmente en los municipios de Guatemala, Mixco, Villa Nueva, San Miguel Petapa y Amatitlán.

La concentración de la industria en la RMG presiona la demanda del recurso hídrico. El mapa de estimación hídrica municipal¹³, muestra que en los municipios donde se asienta la mayor proporción de la industria el estrés hídrico es extremo, pues existe una disponibilidad de menos de 500 m³ de agua por persona al año (Instituto de Investigación en Ciencias Naturales y Tecnología [Iarna], s. f.).

¹¹ De un poco más de 15 000 millones de m³ del volumen total de agua que se usa en el país, el 39 % es para agricultura, el 50 % para la industria (84 % de este total es para el beneficiado de café), el 0.5 % es para servicios, el 3 % es para los hogares y el resto es para otras actividades (Gálvez, 2021).

¹² No se tienen datos del porcentaje o cantidad de agua utilizada que proviene de pozos, ni de la que proviene de fuentes de agua superficiales.

¹³ Puede consultarse en: <https://incyt.maps.arcgis.com/apps/opsdashboard/index.html#/13d8a88c46884acebc29117ceb-ca5441>

3.3 URBANIZACIÓN Y POBLACIÓN

3.3.1 ORDENAMIENTO TERRITORIAL

La planificación y el ordenamiento territorial son procesos técnicos para planear y organizar el territorio en el ámbito municipal mediante la integración de la planificación física, socioeconómica, político-institucional y ambiental, con mecanismos de gestión y financiación, de manera que las acciones se vean concretadas en el territorio. Los planes de ordenamiento territorial (POT) parten del conocimiento del territorio y del comportamiento de sus dinámicas, con el fin de identificar la problemática y potencialidades del municipio, que permitan plantear alternativas a través de la planificación estratégica y operativa y del reglamento de ordenamiento territorial, así como la asignación de recursos que permitan incidir en el desarrollo del territorio (Segeplán, s. f.).

La gestión del territorio metropolitano juega un papel vital como práctica capaz de institucionalizar la gobernabilidad urbana e impulsar la edificación de una nueva sociedad basada en hábitos adecuados de consumo, la construcción de ciudadanía con participación social y democrática, el desarrollo de una cultura de diálogo y paz, y la creación de bases económicas incluyentes

y sustentables en los medios urbanos (Aragón, 2018).

El territorio metropolitano guatemalteco se caracteriza por ser heterogéneo, en términos de distribución desigual de riqueza e inversión pública, por lo que la planificación debería orientarse a través de un enfoque intermunicipal. A la fecha, han existido varios intentos por ordenar el territorio guatemalteco e impulsar una delimitación administrativa metropolitana (anexo 4), sin embargo, no se han obtenido mayores avances.

Según la Asociación para el Avance de las Ciencias Sociales (Avancso, 2003), a pesar de las recomendaciones técnicas emitidas en el esquema director de ordenamiento metropolitano (EDOM) 1972-2000, los planes para crear y ordenar el área metropolitana de la ciudad de Guatemala, y esfuerzos como el plan de ordenamiento territorial para el municipio de Guatemala, el *Plan Nacional de Desarrollo K'atun: Nuestra Guatemala 2032* y la *Agenda Urbana GT (2016-2020)*, son propuestas efectuadas que no logran ser llevadas a la práctica debido a tres razones: (1) la problemática urbana no ha sido tema prioritario para los gobiernos en sus distintos niveles, (2) la falta de consenso en cuanto a las modalidades de financiamiento del espacio metropolitano, y (3) el irrestricto respeto a la autonomía municipal en detrimento de la aplicación de políticas su-

pramunicipales. Por otro lado, también hace falta asesoría y acompañamiento a los municipios para el ordenamiento territorial, y la elaboración e implementación de planes de desarrollo municipales, con su debido seguimiento.

Al 2020, únicamente los municipios de Guatemala y Villa Nueva contaban con un POT aprobado, mientras que los de las municipalidades de Santa Catarina Pinula y Mixco aún se encuentran en fase de elaboración (anexo 5). Sin embargo, los POT no necesariamente están articulados entre los municipios aledaños y no contemplan una visión metropolitana.

La planificación y ordenamiento territorial bajo un escenario de rápida expansión urbana conllevan un reto para los gobiernos locales, puesto que deben garantizar a la población el goce de sus derechos mediante el aprovisionamiento de servicios básicos (como mínimo, agua segura y saneamiento), salud, vivienda digna y educación. La falta de capacidad de respuesta institucional a la creciente demanda de vivienda, suelo y cobertura de servicios básicos de calidad se debe, en parte, a la ausencia de un POT, o a que su redacción e implementación sean adecuadas, así como a la interrelación supramunicipal.

La falta de un POT adecuado trae consecuencias negativas, no solo en términos de

la capacidad de los gobiernos municipales para atender a la población, sino que además tiene impactos como la degradación ambiental, el agotamiento de recursos naturales y los beneficios que brindan los ecosistemas urbanos (clima, agua, biodiversidad, recarga hídrica), situación que deriva en el incremento de la vulnerabilidad de la población y las ciudades a fenómenos naturales extremos (ver recuadro 3).

Las áreas urbanas dependen de diversos ecosistemas, cuyas funciones podrían ser interrumpidas a largo plazo, si continúan estas tendencias (Zurita y Tercero, 2020).

En la actualidad, la formulación de POT en el área metropolitana no tiene la relevancia y peso que pudiera haber tenido cuando comenzó la expansión urbana, pues los municipios ya crecieron sin tomar en cuenta los requisitos mínimos de urbanización (construcción de vivienda, ancho de calles, zonas de riesgo, entre otros)¹⁴.

3.3.2 CRECIMIENTO DE LA MANCHA URBANA

A partir de 1975, la mancha urbana de la ciudad de Guatemala tuvo un proceso de expansión y crecimiento físico tendiente a una fusión con otros municipios (conurbación), que se consolidó en 1995, conectando a municipios

Recuadro 3. Efectos de la segregación socioespacial de la población, distribución de los distintos usos del suelo, y el crecimiento desordenado y de baja densidad en el área metropolitana

- Aumento del costo de los servicios públicos (agua, alcantarillado, recolección de basura y transporte colectivo) por la ampliación del área de cobertura.
- Dependencia creciente de la provisión de servicios básicos por parte del sector privado (pozos, plantas de tratamiento, pipas de agua, recolección de basura, seguridad), que son económicamente menos favorables y eficientes de proveer.
- Utilización ineficiente de infraestructuras y servicios públicos existentes, particularmente en el municipio central.
- Ocupación de áreas de alto riesgo por sismo, deslizamiento e inundación para la vivienda, tanto en el sector formal como informal.
- Fuerte presión sobre el medio ambiente por sobreexplotación del manto acuífero, contaminación de cuencas, disposición y tratamiento inadecuado de desechos sólidos y líquidos, cambio de uso del suelo, tala de árboles e incremento de la erosión del suelo, producto de la expansión y ocupación desordenada del territorio.
- Aumento del tiempo perdido, de la contaminación auditiva y del aire, del estrés y del consumo de energía por las necesidades de movilidad diarias requeridas.
- Deterioro de la calidad de vida, aumento del costo de vida, y segregación social y familiar de los habitantes del área metropolitana.
- Incremento de la inseguridad ciudadana.

Fuente: Municipalidad de Guatemala (2014).

como Santa Catarina Pinula y Villa Nueva, ampliándose de esta forma hacia todas direcciones por medio de un incremento acelerado durante 20 años. Para el 2014, el aumento ya no fue tan notorio, y este se intensificó al noreste y suroeste (Vargas-Bolaños et al., 2020).

Según Martínez (2011), la región metropolitana alcanzó un grado de urbanización equivalente a 85.87 % entre 1950 y el 2002 en términos cuantita-

tivos. De acuerdo con el POT del municipio de Guatemala (Municipalidad de Guatemala, 2014), en los últimos doce años se ha producido más suelo urbano que en los 218 años de ocupación urbana desde la fundación de la ciudad.

El *Atlas Mundial de Expansión Urbana* (Atlas of Urban Expansion, s. f.) registra que en 1990 la extensión urbana de la ciudad de Guatemala era de 21 588 ha, y para el año 2001

¹⁴ Según criterio del arquitecto urbanista Alfonso Yurrita Cuesta (Felipec, 2017).

ya tenía una extensión de 29 472 ha, incrementando a una tasa promedio anual del 2.8 %. La extensión urbana de la ciudad de Guatemala abarcaba 37 566 ha en 2013 e incrementó a una tasa promedio anual de 1.9 % desde el 2001 (figura 15).

Tomando como base la tasa promedio de incremento anual

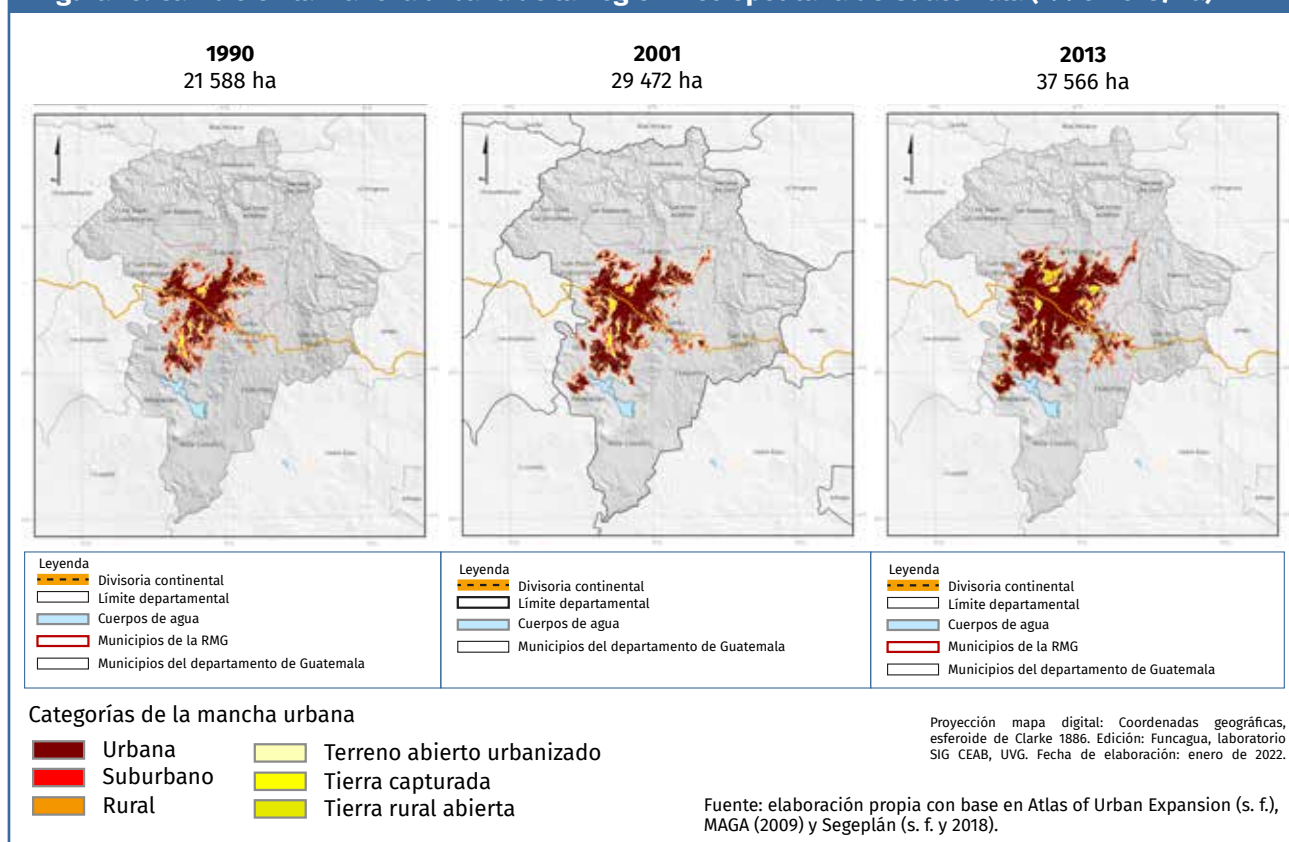
del 1.9 %, se estimó que para el 2020 la mancha urbana ocuparía al menos 42 562 hectáreas.

Según González (2018), de 1970 al 2002, el crecimiento urbano elevó la demanda de agua potable en más de un 300 %. Sin embargo, desde la década de los 70 e inicios de los 80, el sistema de aguas y drenajes no ha sufrido mayores cambios

en cuanto a infraestructura y mejoras de servicio en el municipio de Guatemala.

El desarrollo histórico del abastecimiento de agua potable es uno de los temas pendientes de ser investigados, y permite tener una visión amplia del proceso histórico de este servicio en la ciudad de Guatemala.

Figura 15. Cambio en la mancha urbana de la Región Metropolitana de Guatemala (1990-2013/ha)



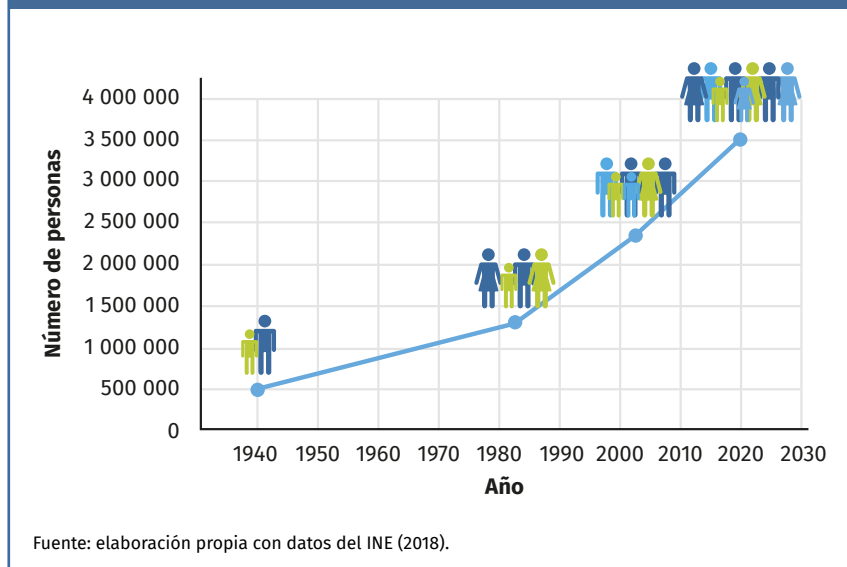
3.3.3 CRECIMIENTO DEMOGRÁFICO

El XII Censo de Población y VII de Vivienda realizado en el 2018 estimó la población de la región metropolitana en 3 356 108 de habitantes, estableciendo que en ella reside

el 20.23 % de la población total del país, y estimando que de ellos el 91 % de habitantes vive en el área urbana (INE, 2018) (ver figura 16).

Esto significa que en la RMG se concentra el 34 % de toda la población urbana del país

(Zurita y Tercero, 2020). Estos datos no incluyen a la población flotante, es decir, a la población que se mueve diariamente al área metropolitana para desarrollar distintas actividades. Esta creciente redensificación de la ciudad exige mayor demanda de agua.

Figura 16. Crecimiento demográfico de la Región Metropolitana de Guatemala (1950-2020)

3.3.4 MIGRACIÓN INTERNA HACIA LA REGIÓN METROPOLITANA

Los eventos históricos más importantes que se pueden considerar como fuerzas motrices de la migración interna a la ciudad de Guatemala son: las políticas de modernización económica puestas en práctica desde la segunda mitad del siglo XX, la persecución a cientos de campesinos beneficiados por la reforma agraria de Arbenz tras la contrarrevolución de 1954, el conflicto armado interno y el terremoto ocurrido en 1976. Durante este último, se estima que más de veinte mil familias se asentaron en áreas públicas y terrenos baldíos de la ciudad. Esta situación obligó a establecer estrategias para el reasentamiento de quienes migraron, siendo reubicados en colonias nuevas dotadas de servicios

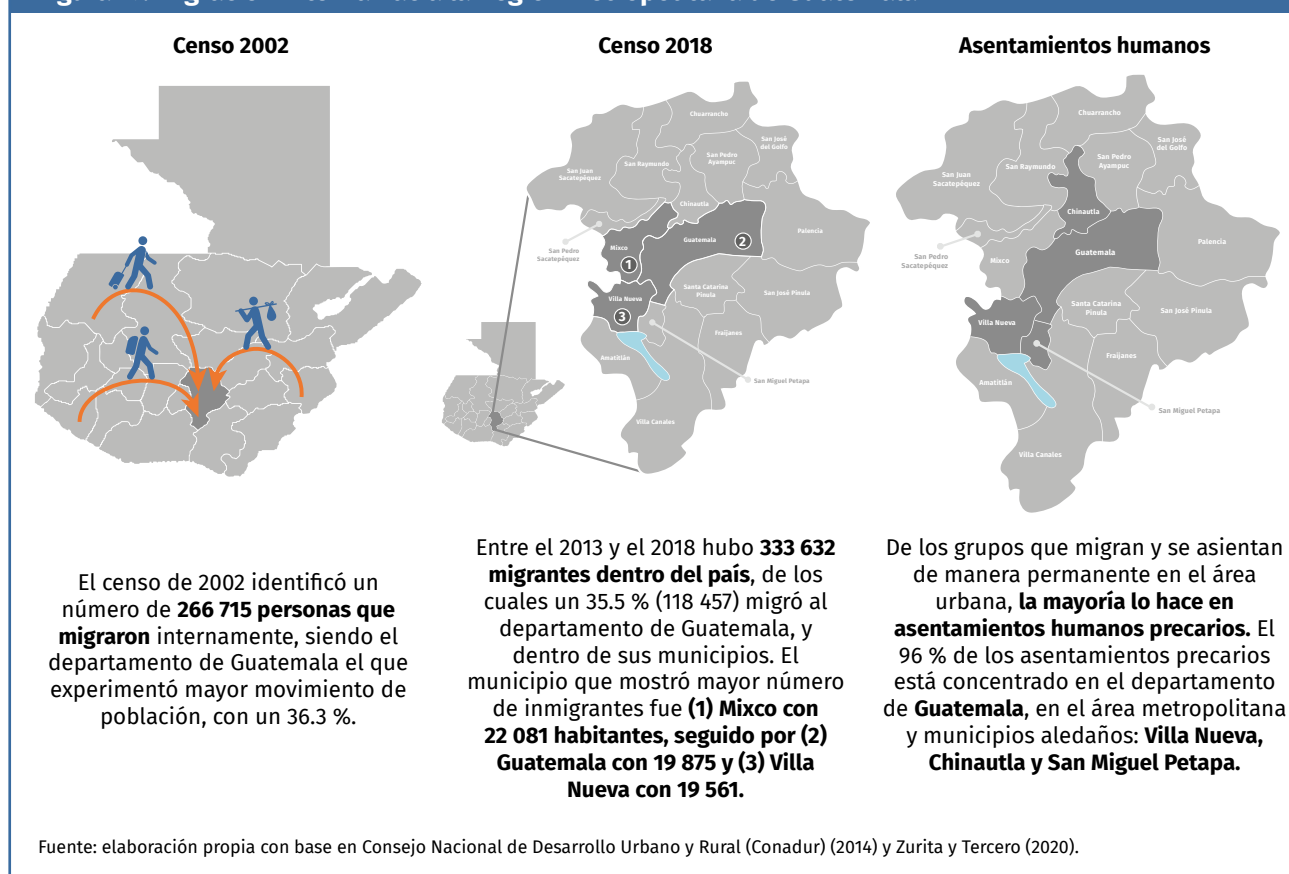
básicos (Asociación de Investigación y Estudios Sociales [Asies], 2003).

Por otro lado, el crecimiento demográfico de la ciudad y de la RMG también ha estado influido por los niveles de precariedad en el área rural. Los migrantes mantienen la esperanza de que al movilizarse a los sitios donde se concentran las actividades económicas, puedan obtener un empleo estable y seguro, y así mejorar sus condiciones de vida y las de sus familias.

A pesar de lo mencionado en el párrafo anterior, los datos de los censos 2002 y 2018 muestran que el ritmo de migración interna en Guatemala se ha desacelerado, entre otras razones, por el deterioro de las condiciones laborales o por la migración hacia Estados Unidos. Los datos específicos para la Región Metropolitana

de Guatemala se presentan en la figura 17 y muestran que el departamento de Guatemala aún tiene un atractivo alto para la migración interna, y que el área metropolitana sigue creciendo principalmente hacia los municipios aledaños a la ciudad capital.

Aunque el municipio de Guatemala es uno de los principales destinos en cuanto a los fenómenos de migración interna en el país debido a la centralización de recursos y servicios, se observa una replicación de las condiciones de vida precarias de las personas que migran desde los departamentos más pobres del país. Por lo tanto, es necesario realizar más estudios que resalten el tema de acceso, calidad, uso adecuado y tratamiento del agua para desarrollar políticas públicas adecuadas que velen por la salud humana de la población.

Figura 17. Migración interna hacia la Región Metropolitana de Guatemala

3.3.5 MOVILIDAD EN LA REGIÓN METROPOLITANA DE GUATEMALA (RMG)

La movilidad humana es el problema con mayor notoriedad que se genera en sitios con grandes concentraciones de población.

Datos del *Atlas Mundial de Expansión Urbana* (Atlas of Urban Expansion, s. f.) señalan que el incremento de densidad de arterias viales antes de 1990 era a razón de 2.03 km/km², y que esta disminuyó a razón de 1.53 km/km² entre 1990 y 2014. Asimismo, la proporción de área construida

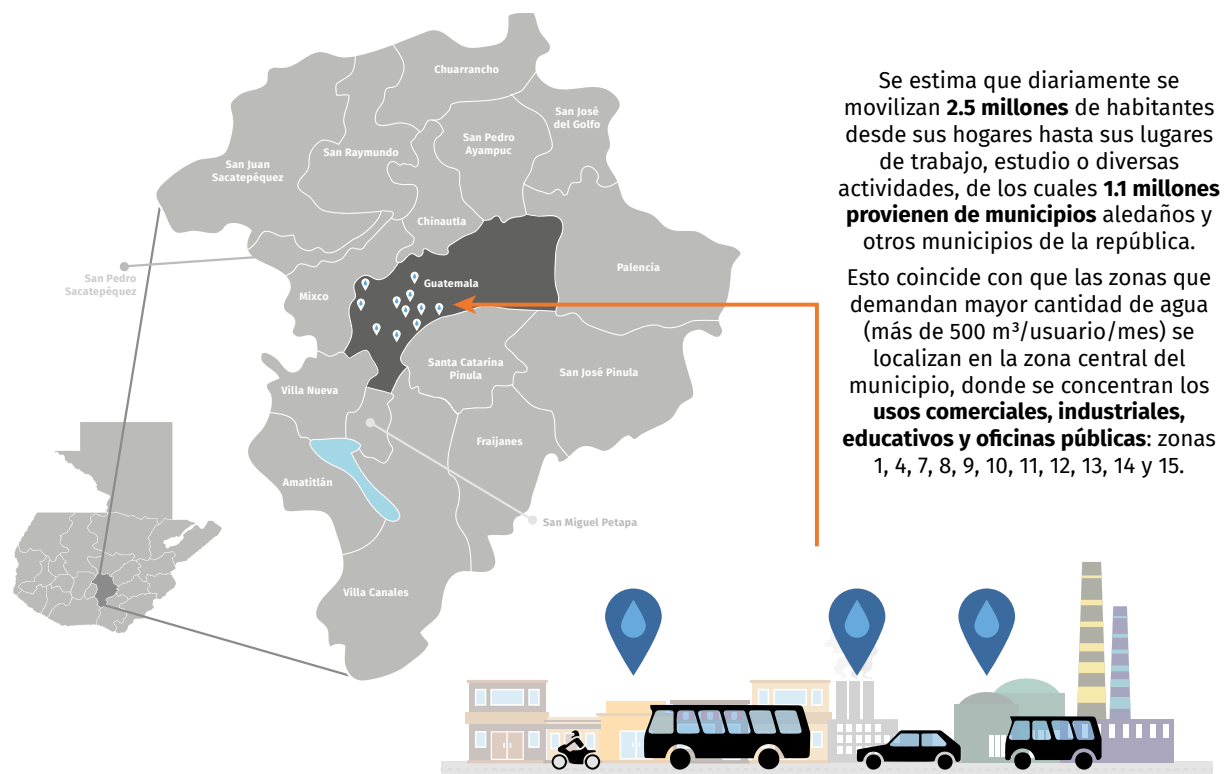
a poca distancia de una vía arterial en el área de expansión de la ciudad de Guatemala anterior a 1990 era del 95 %, la cual disminuyó al 90 % entre 1990 y 2014.

Esto da una idea de que la expansión urbana a nivel del crecimiento de infraestructura vial puede alcanzar una fase de estancamiento y, además, que cada vez la población se encuentra más alejada de una vía principal, lo que implica el aumento en las distancias para la movilidad.

Cabe recordar que la distribución donde vive la población

no es homogénea a lo largo de la RMG, lo cual depende de la distribución territorial de los lugares de empleo (Ayala, 2006). Mientras que los lugares de trabajo se encuentran concentrados en el municipio de Guatemala, los de las residencias (particularmente de la población con menores ingresos) se aglutinan en la periferia de la ciudad. De acuerdo con los últimos datos de movilidad, el 38 % de todos los viajes sigue teniendo como destino el distrito central de comercio de la ciudad de Guatemala (Municipalidad de Guatemala, 2014), cuyo detalle se muestra en la figura 18.

Figura 18. Movilidad en la Región Metropolitana de Guatemala



Fuente: elaboración propia con base en Peláez (2017) y González (2018).

3.4 COVID-19

Un tema de importancia actual es el impacto a corto y largo plazo de la pandemia de COVID-19 en el acceso a agua segura y en los recursos hídricos.

La pandemia se constituye en una emergencia sanitaria donde el acceso al agua segura y el saneamiento resultan ser de vital importancia. Desde que inició, se ha hecho aún más evidente la debilidad y desigualdad existentes con respecto al abastecimiento y la escasez del agua en la región metropolitana, siendo las zonas más pobres las que más

han sufrido las consecuencias sanitarias. De hecho, el Fondo de Cooperación para el Agua y el Saneamiento (FCAS) de la Cooperación Española, realizó una campaña para el suministro de agua potable en zonas vulnerables de la RMG (Agencia Española de Cooperación Internacional para el Desarrollo [Aecid], 14 de mayo de 2020).

Por otro lado, el consumo de agua se ha modificado, tanto en cantidad como en puntos de consumo. Esto, como resultado de los cambios en los patrones de movilidad, el teletrabajo, la suspensión

de actividades presenciales en instituciones educativas, restricciones en los aforos en centros comerciales, restaurantes y demás alteraciones de la «normalidad».

Considerando que el consumo de agua es directamente proporcional al tiempo que se está en un lugar específico, al estar más tiempo en los hogares se utiliza mucha más agua en las áreas residenciales, y menos en las oficinas y espacios comerciales. Según datos de la Empresa Municipal de Agua (Empagua), en abril de 2020 hubo un aumento promedio del 5 % del consumo

de agua en los hogares. Todas las zonas facturadas aumentaron su consumo (Foncea, 2020) (figura 19).

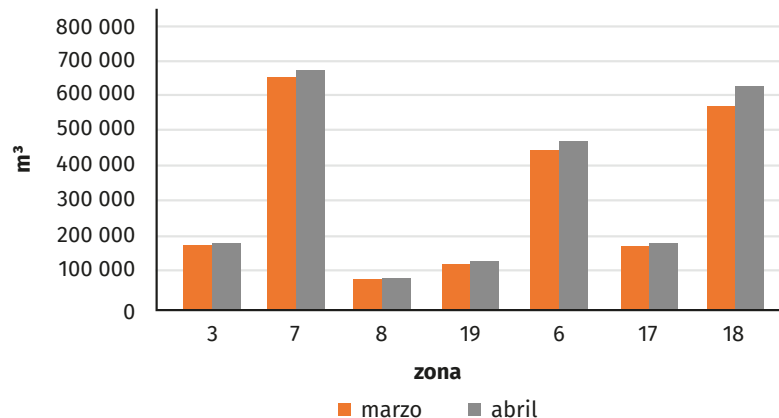
En la actualidad, ha aumentado el consumo general de agua derivado del cambio en las prácticas higiénicas, como menciona Toche (2021, p. 1):

«...antes la gente se lavaba las manos tres veces al día, y lo hacía en un lapso de cinco segundos, hoy la gente se lava durante 20 segundos, y además lo hace aproximadamente 10 veces al día. Solamente el lavado de manos ha aumentado 12 veces la demanda de líquido».

Por otro lado, la demanda de equipo y material médico de un solo uso en tiempos de COVID-19 ha aumentado en el ámbito mundial desde el inicio de la pandemia (Hu *et al.*, 2022), y la eliminación inadecuada de dicho equipo (como mascarillas, paños con alcohol, guantes y pruebas de COVID-19, entre otros), está causando impactos sobre el ambiente, y particularmente sobre el recurso hídrico.

Tal es el caso de la contaminación del agua por micro plásticos provenientes de mascarillas, durante y más allá de la pandemia, que representan una amenaza para los ecosistemas acuáticos en donde terminan, y pueden ser incluso ingeridos por organismos que forman parte de la red alimentaria acuática (Morgana *et al.*, 2021).

Figura 19. Aumento en el consumo de agua en los hogares de la Región Metropolitana de Guatemala de marzo a abril de 2020 (m³)



Fuente: elaboración propia con base en Foncea (2020).

CONCLUSIONES

Se considera que Guatemala no enfrenta una crisis de escasez de agua, sino una crisis de gobernanza; es decir que sus reglamentos, normas y procesos políticos, institucionales y administrativos para tomar e implementar decisiones son de carácter débil o incompleto en función de la seguridad hídrica y la gestión integrada del agua.

La planificación y el ordenamiento territorial son procesos que facilitan la organización del territorio en el ámbito municipal, así como la identificación de las problemáticas y potencialidades de cada municipio; mientras que la gestión del territorio metropolitano es crucial para institucionalizar la gobernabilidad e impulsar una sociedad participativa e inclusiva. A pesar de esto, Guatemala aún se encuentra en una etapa incipiente en cuanto al desarrollo de planes de ordenamiento territorial (POT) y su implementación, lo que incide en la degradación ambiental y el aumento de la vulnerabilidad de la población.

El crecimiento de la mancha urbana y el grado de urbanización, así como el crecimiento poblacional y la migración interna hacia la región metropolitana, han

elevado la demanda de los recursos hídricos, incluyendo el agua potable. A pesar de que la industria primaria del país utiliza el 50 % de los recursos hídricos disponibles, no existen registros actualizados de carácter público sobre el uso y proveniencia del agua por parte de este sector económico en Guatemala.

Con respecto a la pandemia del COVID-19, la misma ha evidenciado las desigualdades existentes con respecto al abastecimiento y escasez de agua en la región metropolitana y ha propiciado cambios en el uso del agua, tanto en cantidad como en puntos de consumo. El uso excesivo de equipo de protección de un solo uso representa una amenaza de contaminación para el recurso hídrico a corto y largo plazo. Finalmente, el acceso al agua para higiene y saneamiento son indispensables, no solo para prevenir enfermedades ya existentes, si no para contener la expansión del COVID-19.

RECOMENDACIONES

Se hace necesario fortalecer la gobernanza y la transparencia en torno a la gestión de los recursos hídricos en Guatemala, mediante plataformas de participación pública adecuadas, que faciliten la cooperación entre los actores públicos y privados involucrados, con el fin de que puedan rendir cuentas sobre su gestión y uso del recurso agua, articular sus intereses e inquietudes, y dar a conocer sus roles y responsabilidades, para así evitar la duplicidad de funciones. Asimismo, el monitoreo del uso y gestión del recurso hídrico, con base en datos actuales y confiables, es crucial para lograr políticas acordes al estado actual del recurso agua en el país.

En cuanto a la planificación y ordenamiento territorial, se recomienda que los gobiernos locales hagan de la problemática urbana una prioridad, al desarrollar e implementar sus respectivos POT, los cuales ayuden a la asignación de recursos que permitan incidir en el desarrollo del territorio. Asimismo, debe enfatizarse en la aplicación de políticas que coadyuven a alcanzar una visión intermunicipal y metropolitana de la gestión del territorio, por sobre la autonomía municipal de cada uno de los municipios que forman parte de la RMG.

Debido a la presión sobre los recursos hídricos en la RMG, que se ha generado por el incremento poblacional y el aumento en el grado de urbanización por factores como la migración interna, se hace necesario contar con información sobre el acceso, calidad y uso adecuado del tratamiento del agua. Para llenar este vacío de información, se recomienda que las organizaciones relacionadas con la gestión del recurso hídrico, así como las universidades del país, incluyan el tema en sus agendas de investigación, con el fin de generar información actual y confiable disponible para su análisis. Asimismo, se recomienda que el sector industrial del país genere y publique datos sobre el uso y proveniencia de los recursos hídricos.

Finalmente, se recomienda la elaboración de políticas que regulen el empleo de material de protección de un solo uso contra el COVID-19, con el fin de prevenir la contaminación de los ecosistemas, especialmente acuáticos, y las amenazas para la salud humana.

REFERENCIAS Y BIBLIOGRAFÍA CONSULTADA

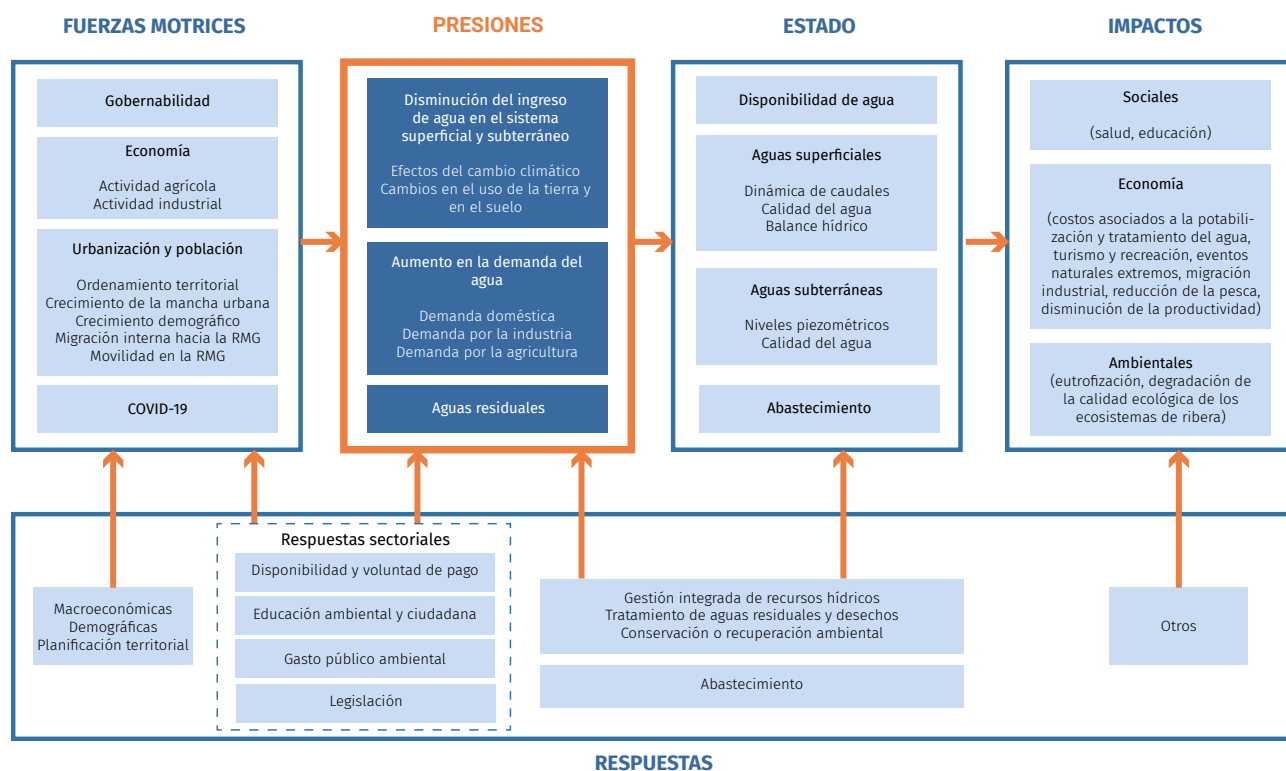
- Agencia Española de Cooperación Internacional para el Desarrollo. (14 de mayo de 2020). *Comienza campaña para el suministro de agua potable en zonas vulnerables del Municipio de Guatemala*. <https://reliefweb.int/report/guatemala/comienza-campa-para-el-suministro-de-agua-potable-en-zonas-vulnerables-del>
- Aragón, J. (2018). El territorio metropolitano en Guatemala: expansión, planificación, gestión. *Revista Análisis de la Realidad Nacional*, 24(il), año 7. Instituto de Problemas Nacionales, Universidad de San Carlos de Guatemala.
- Asociación de Investigación y Estudios Sociales. (2003). La situación de los asentamientos en el municipio de Guatemala. *Revista ASIES* 2.
- Asociación para el Avance de las Ciencias Sociales. (2003). *El proceso de crecimiento metropolitano de la ciudad de Guatemala. Perfiles del fenómeno y ópticas de gestión* (Cuaderno de investigación No. 18). Editores Siglo XXI.
- Atlas of Urban Expansion. (s. f.). *Guatemala city*. UN Habitat, NYU, Lincoln Institute of Land Policy. http://atlasofurbanexpansion.org/cities/view/Guatemala_City
- Ayala, C. (2006). La polarización laboral segrega territorialmente al área metropolitana. *Territorio Urbanos*, 2 (enero-marzo 2006). Programa de Estudios Urbano Territoriales, Centro de Investigaciones de la Facultad de Arquitectura, Universidad de San Carlos de Guatemala.
- Castañón, D. (2000). *Perspectivas de valoración económica del agua en Guatemala. Plan de manejo integrado de los recursos hídricos (PMIRH)*. Unidad de Políticas e Información Estratégica, Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación.
- Celis, J., Espejo, W., Paredes-Osses, E., Contreras, S., Chiang, G. y Bahamonde, P. (2021). Plastic residues produced with confirmatory testing for COVID-19: Classification, quantification, fate, and impacts on human health. *Science of The Total Environment*, 760 (March): 144167. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.144167>
- Colom, E. (2014). *Gobernabilidad del agua y gestión integral de los recursos hídricos*. Colectivo Poder y Desarrollo Local, Agencia Española de Cooperación Internacional para el Desarrollo, Alianza para la Solidaridad.
- Consejo Nacional de Desarrollo Urbano y Rural. (2014). *Plan Nacional de Desarrollo K'atun: nuestra Guatemala 2032*. Secretaría de Planificación y Programación de la Presidencia.
- Córdova, E. (2019). *Diagnóstico corredores económicos (Resúmenes)*. Proyecto Creando Oportunidades Económicas, Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional.
- De León, V. (2010). *Diagnóstico de necesidades de capacitación de profesionales que laboran en el sector recursos hídricos en el occidente de Guatemala*. Universidad de San Carlos de Guatemala
- Felipe, O. (2017, 27 de septiembre). Planes de ordenamiento territorial ya no son una solución para el área metropolitana. *Prensa Libre*. <https://www.prensalibre.com/ciudades/el-urbanista-alfonso-yurrita-cuesta-seala-que-los-planes-de-ordenamiento-territorial-pot-no-resolveran-los-problemas-urbanos-actualmente-solo-la-ciudad-de-guatemala-del-area-metropolitana-cuenta-con-e/>
- Foncea, C. (2020). *COVID-19 y su incidencia en la prestación del servicio de agua potable: Reflexiones de 3 países latinoamericanos* [Webinar]. Fundación para la Conservación del Agua en la Región Metropolitana de Guatemala. <https://youtu.be/lCgQhNf-SFY>
- Franco-Solís, A., & Montaña, C. (2021). Dynamics of Deforestation Worldwide: A Structural Decomposition Analysis of Agricultural Land Use in South America. *Land Use Policy*, 109 (October): 105619. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2021.105619>
- Fundación para la Conservación del Agua en la Región Metropolitana de Guatemala. (2021). *Informe del estado de los recursos de bosque, suelo y agua de la Región Metropolitana de Guatemala*.
- Gálvez J, (2021). Crisis del agua, riesgo vital y ley de aguas. *Boletín Socioambiental, Día Mundial del Agua*. Instituto de Investigación y Proyección sobre Ambiente Natural y Sociedad.
- González, B. (2018). Agua y ciudad: análisis y perspectivas del consumo de agua en el municipio de Guatemala. *Revista Análisis de la Realidad Nacional*, 24 (il), año 7, abril/junio. Instituto de Problemas Nacionales, Universidad de San Carlos de Guatemala. <https://www.redalyc.org/jatsRepo/4517/451762295004/html/index.html>
- González, E. (30 de mayo de 2020). El estrés hídrico ya nos alcanzó. *La Hora*. <https://lahora.gt/el-estres-hidrico-ya-nos-alcanzo/>

- González-González, A., Villegas, J., Clerici, N., & Salazar, J. (2021). Spatial-temporal dynamics of deforestation and its drivers indicate need for locally-adapted environmental governance in Colombia. *Ecological Indicators*, 126 (July): 107695. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2021.107695>
- Hu, T., Shen, M., & Tang, W. (2022). Wet wipes and disposable surgical masks are becoming new sources of fiber microplastic pollution during global COVID-19. *Environ Sci Pollut Res*, 29, 284–292 (2022). <https://doi.org/10.1007/s11356-021-17408-3>
- Instituto de Investigación en Ciencias Naturales y Tecnología. (s. f.). *Mapa de disponibilidad hídrica per cápita*. Universidad Rafael Landívar. <https://incyt.maps.arcgis.com/apps/opsdashboard/index.html#/13d8a88c46884acebc29117cebc5441>
- Instituto Nacional de Estadística. (2018). *XII Censo de Población y VII de Vivienda. Características generales de la población. Población total por grupos de edad. Datos del departamento de Guatemala*. <https://www.censopoblacion.gt/graficas>
- Instituto Nacional de Estadística. (2018a). *XII Censo de Población y VII de Vivienda. Resultados República de Guatemala*. <https://www.censopoblacion.gt/mapas>
- Instituto Nacional de Estadística. (2018b). *XII Censo de Población y VII de Vivienda. Resultados Departamento de Guatemala*. <https://www.censopoblacion.gt/mapas>
- Instituto Nacional de Estadística. (2018c). *XII Censo de Población y VII de Vivienda. Resultados República de Guatemala*. <https://www.censopoblacion.gt/mapas>
- Jouravlev, A., Saravia, S. y Gil, M. (2021). *Reflexiones sobre la gestión del agua en América Latina y el Caribe. Textos seleccionados 2002-2020*. Comisión Económica para América Latina y el Caribe.
- Lentini, E. (2010). *Servicios de agua potable y saneamiento en Guatemala: beneficios potenciales y determinantes de éxito*. Comisión Económica para América Latina y el Caribe, Ministerio de Cooperación Económica y Desarrollo y Cooperación Técnica Alemana.
- Manzo, E. (2021). *Balance hídrico natural para determinar la oferta y demanda de agua en la subcuenca del Río Villalobos*. Centro del Agua del Trópico Húmedo para América Latina y El Caribe, Escuela de Postgrados de la Facultad de Agronomía, Universidad de San Carlos de Guatemala, Secretaría General del Consejo Superior Universitario Centroamericano y Secretaría General del Centro de Coordinación para la Prevención de los Desastres en América Central y República Dominicana.
- Martínez, B. (1 de febrero de 2021). Disponibilidad de agua potable se reduce en la región metropolitana. *Prensa Libre*. <https://www.prensalibre.com/pl-plus/guatemala/comunitario/disponibilidad-de-agua-potable-se-reduce-en-la-region-metropolitana/>
- Martínez, J. (2011). *Transformaciones urbanas en Guatemala 1950-2002*. Reunión de expertos sobre: “Población, territorio y desarrollo sostenible”, Santiago, 16-17 de agosto de 2011. Comisión Económica para América Latina y el Caribe.
- Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación. (2009). *Mapa de cuencas hidrográficas a escala 1:50 000 República de Guatemala método de Pfafstetter (primera aproximación)*. Unidad de Planificación Geográfica y Gestión del Riesgo.
- Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación. (2016). *Mapa de cobertura vegetal y uso del suelo*.
- Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación. (2021). *Determinación de la cobertura vegetal y uso de la tierra a escala 1:50,000 de la República de Guatemala, año 2020*. Dirección de Información Geográfica, Estratégica y Gestión de Riesgos.
- Ministerio de Salud de El Salvador. (2017). *Modelo de salud urbana y plan de implementación*.
- Morgana, S., Casentini, B. & Amalfitano, S. (2021). Uncovering the release of micro/nanoplastics from disposable face masks at times of COVID-19. *Journal of Hazardous Materials*, 419 (October): 126507. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2021.126507>
- Municipalidad de Guatemala. (2014). *Plan de Ordenamiento Territorial del Municipio de Guatemala*.
- Organisation for Economic Co-operation and Development. (s. f.). *Países miembros*. <https://www.oecd.org/countries/>
- Organisation for Economic Co-operation and Development. (2011). *Water governance in OECD countries: a multi-level approach*. <http://dx.doi.org/10.1787/9789264119284-en>
- Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo. (2020). *Hoja de datos sobre el estado de la gestión hídrica en Guatemala 2020*. www.unepdhi.org
- Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos. (s. f.). *Principios de gobernanza del agua de la OCDE*. <https://www.oecd.org/cfe/regionaldevelopment/OECD-Principles-Water-spanish.pdf>

- Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos. (2015). *Principios de gobernanza del agua de la OCDE*. <https://www.oecd.org/cfe/regionaldevelopment/OECD-Principles-Water-spanish>
- Peláez, R. (2017). Infraestructura vial en ciudad de Guatemala. *Congestionamiento y movilidad*. Universidad de San Carlos de Guatemala, Centro de Estudios Urbanos y Regionales. <http://investigacionparatodos.usac.edu.gt/art%C3%ADculos-principales/item/20-movilidad-urbana-en-la-ciudad-de-guatemala>
- Real Academia Española. (2020a). *Gobernabilidad*.
- Real Academia Española. (2020b). *Gobernanza*.
- Ribeiro, M., Piontekowski, V., Buscardo, E., Pedlowski, M., Sano, E., & Trondoli, E. (2021). Effects of settlement designs on deforestation and fragmentation in the Brazilian Amazon. *Land Use Policy*, 109 (October): 105710. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2021.105710>
- Rogers, P. & Hall, A. (2002). *Gobernabilidad efectiva del agua*. Global Water Partnership.
- Secretaría de Planificación y Programación de la Presidencia. (s. f.). *Infraestructura de datos espaciales de Guatemala*. Consultado en 2018: <http://ideg.segeplan.gob.gt/geoportal/>
- Secretaría de Planificación y Programación de la Presidencia. (2018). *¿Cómo elaborar un plan de desarrollo municipal y ordenamiento territorial en Guatemala? Orientaciones generales*. Subsecretaría de Planificación y Ordenamiento Territorial. <https://www.segeplan.gob.gt/nportal/index.php/biblioteca-documental/tematica/publicaciones-planificacion-ordenamiento-territorial/file/1082-como-elaborar-un-plan-de-desarrollo-municipal-y-ordenamiento-territorial-en-guatemala-orientaciones-generales?tmpl=component>
- Secretaría de Planificación y Programación de la Presidencia y Banco Mundial. (2015). *Proyecto de cartografía metropolitana*. http://www.fopavi.gob.gt/Documentos_en_Index/PROYECTO%20DE%20CARTOGRAFA%20METROPOLITANA%20FINAL.compressed.pdf
- Société Gren'blois' d'Ét'des e' d'Applications Hydrauliques. (2002). *Estudio de reforma y modernización del sector agua potable y alcantarillado en la República de Guatemala*. Gobierno de Guatemala y Banco Interamericano de Desarrollo.
- Solanes, M, y Peña, H. (2002). *Gobernabilidad efectiva del agua: acción a través de asociaciones en Sudamérica*. Comisión Económica para América Latina y el Caribe, Global Water Partnership. <http://hdl.handle.net/11362/21420>
- Toche, N. (2021, 15 de febrero). La pandemia cambió los hábitos de consumo de agua: el grave problema que viene. *El Economista*. <https://www.eleconomista.com.mx/arteseideas/La-pandemia-cambio-los-habitos-de-consumo-de-agua-el-grave-problema-que-viene-20210215-0144.html>
- United States Agency for International Development y Secretaría de Planificación y Programación de la Presidencia. (2019). *Ranking de Gestión Municipal 2018*.
- Vargas-Bolaños, C., Orozco-Montoya, R., Vargas-Hernández, A., y Aguilar-Arias, J. (2020). Metodología para la determinación del crecimiento de la mancha urbana en las capitales de la región centroamericana (1975-1995-2014). *Rev. Geog. Amer. Central*, 64: 41-74. <http://dx.doi.org/10.15359/rgac.64-1.3>
- Yameogo, C. (2021). Globalization, urbanization, and deforestation linkage in Burkina Faso. *Environmental Science and Pollution Research*, 28 (17): 22011–21. <https://doi.org/10.1007/s11356-020-12071-6>
- Zurita, C y Tercero, M. (2020). *La investigación urbana en Guatemala, conceptos y contextualización*. Perfil urbano de Guatemala. Análisis del crecimiento de áreas urbanas. Editorial Cara Parens, Universidad Rafael Landívar.

CAPÍTULO 4

PRESIONES



En el capítulo 3 se describieron las principales fuerzas motrices que ocasionan las presiones sobre el recurso hídrico de la RMG, es decir, las que influyen en la gestión y el uso adecuado y equitativo del agua. En el presente capítulo se discuten las presiones con mayor influencia dentro de la región: (I) disminución del ingreso de agua en el sistema superficial y subterráneo (efectos del cambio climático y del cambio en el uso de la tierra y en el suelo), (II) aumento de la demanda de agua (doméstica, industrial y agrícola) y (III) aguas residuales vertidas a las aguas superficiales.

4.1 DISMINUCIÓN DEL INGRESO DE AGUA EN EL SISTEMA SUPERFICIAL Y SUBTERRÁNEO

En esta sección se discuten las presiones sobre la disminución del ingreso del agua en el sistema superficial y subterráneo, las cuales incluyen los efectos del cambio climático y las transformaciones en el uso de la tierra y en el suelo.

4.1.1 EFECTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO

El Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC, por sus siglas en inglés), en su último informe publicado en agosto de 2021, fue categórico al indicar que el mundo se ha estado calentando durante décadas, y que los cambios recientes ya son perceptibles, son rápidos y se están intensificando (IPCC, 2021).

Asimismo, afirmó que ya no queda duda de que las actividades humanas están causando el cambio climático, lo cual está ocasionando que los eventos extremos (incluyendo las olas de calor, las lluvias torrenciales y las sequías) sean más frecuentes y severos (IPCC, 2021).

El cambio climático ya está afectando cada región habitada del planeta de múltiples maneras, y sus efectos no son ajenos para Guatemala (IPCC, 2022), que es uno de los países más vulnerables ante este

fenómeno a nivel mundial, y donde se prevén significativas variaciones de temperatura y lluvia, lo cual se constituye en un riesgo adicional importante para el país debido a la reducción proyectada de la disponibilidad y calidad del recurso hídrico, que puede afectar el acceso de cantidades adecuadas de agua para la población y sus medios de subsistencia (Aleksandrova *et al.*, 2021; Basterrechea y Guerra, 2019).

Específicamente para Centroamérica, el informe del IPCC indica, con un nivel alto de confianza, que las temperaturas de la región han aumentado más que el promedio global, el cual se encuentra por encima de un grado centígrado. También indica, con un nivel medio de confianza debido en parte a la falta de datos meteorológicos, que la aridez y las sequías agrícolas y ecológicas están aumentando en la región (IPCC, 2021).

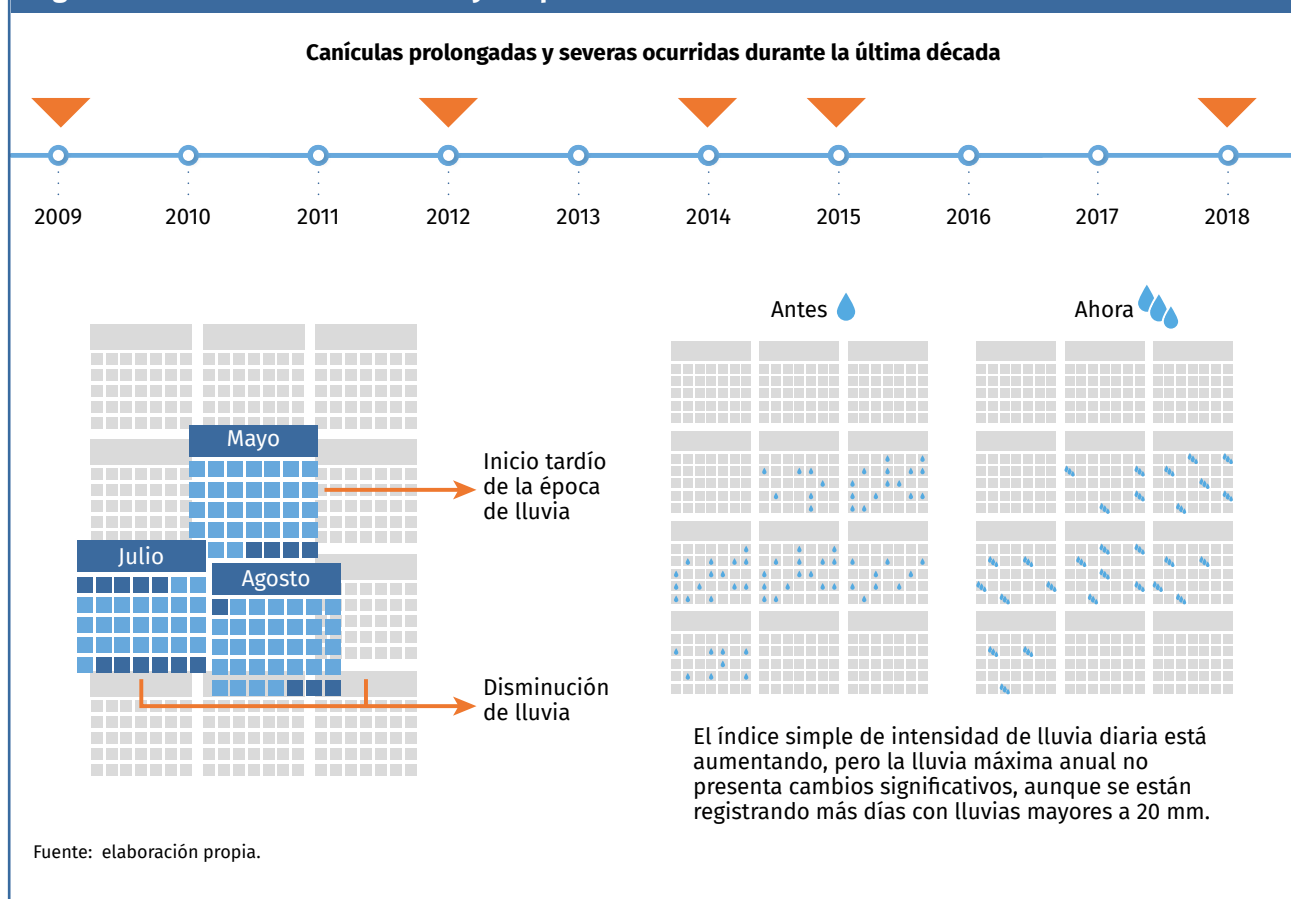
Todo esto, por supuesto, trae consecuencias para la disponibilidad de agua en la RMG, las cuales serán examinadas en el primer apartado de este capítulo. Los cambios en la disponibilidad de agua derivados del cambio climático se suman a otras presiones que serán discutidas en el resto de apartados del mismo.

4.1.1.1 Cambios en la intensidad y temporalidad de la lluvia

Según el Sistema Guatemalteco de Ciencias de Cambio Climático (SGCCC, 2019), durante los últimos años Guatemala se ha visto afectada más intensamente por eventos extremos, incluyendo canículas severas y prolongadas, retraso en el establecimiento de la temporada de lluvias y aumento de precipitaciones intensas (Bardales *et al.*, 2019)¹⁵.

En la figura 20 se observan las principales canículas prolongadas y severas ocurridas durante la última década, que dieron como resultado la disminución de lluvia en los meses de julio y agosto, o también un inicio tardío de la época de lluvia, que usualmente ocurre en mayo (Bardales *et al.*, 2019). Estas situaciones afectan los niveles freáticos y reducen la disponibilidad de agua.

¹⁵ El índice simple de intensidad de lluvia diaria está aumentando, pero la lluvia máxima anual no presenta cambios significativos, aunque se están registrando más días con lluvias mayores a 20 mm. En otras palabras, la lluvia total anual no ha variado, pero los eventos de lluvia vienen más espaciados por días secos y, cuando llueve, es de manera intensa (Bardales *et al.*, 2019).

Figura 20. Cambios en la intensidad y temporalidad de la lluvia en Guatemala

El suministro de agua en la RMG ha sido afectado de dos formas: primero, una lluvia muy intensa hace que más agua se drene superficialmente, reduciendo la cantidad de agua que tiene tiempo para infiltrarse al subsuelo; y segundo, las lluvias muy intensas resultan en breves inundaciones locales que incluso pueden colapsar o destruir la red de drenajes de la ciudad, situación que ha causado la aparición de agujeros de tamaño significativo en varios puntos de la ciudad como se verá en el capítulo 6 sobre impactos.

La situación que se ha observado en la última década en

cuanto a lluvias y precipitación se hace más preocupante cuando se estudia la posible situación futura con base en modelos de cambio climático. Esto será discutido en la siguiente sección.

4.1.1.2 Disminución de la lluvia y aumento de la temperatura

Se espera que en Guatemala la temperatura aumente entre 3 y 6 grados centígrados a finales de siglo, y que la precipitación se reduzca hasta en 30 % (Rivera *et al.*, 2019). La intensidad de estas condiciones dependerá de las decisiones políticas que se tomen a nivel

mundial para lograr reducir efectivamente las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), que hasta la fecha han aumentado continuamente a pesar de esfuerzos internacionales como el Acuerdo de París (Naciones Unidas [UN], 2015), el cual insta a todos los países a disminuir el uso de petróleo en las siguientes décadas.

Pero aun cuando se logren bajar las emisiones de estos gases contaminantes, la lluvia todavía puede disminuir hasta en un 12 % (Rivera *et al.*, 2019), afectando la disponibilidad de agua en el país. A esto se debe adicionar el efecto que tendrán las variaciones en las

lluvias a lo largo del año de acuerdo a lo discutido en la sección anterior. De esa cuenta, las limitaciones de lluvia para la ciudad capital en ciertos meses del año pueden ser aún más altas que el porcentaje indicado.

Según la Comisión Económica para América Latina y El Caribe (Cepal), estos fenómenos de lluvia extrema y variaciones en canículas y temperatura afectan la cantidad y calidad del agua superficial y subterránea, y tienen impactos en la infraestructura para la provisión de agua (Cepal *et al.*, 2018).

Los efectos combinados de temperatura y cantidad de lluvia en la disponibilidad de agua son medidos a través del **índice de aridez**¹⁶, que muestra la relación entre la precipitación y la evapotranspiración potencial, variables que pueden ser calculadas mensual o anualmente.

Para la RMG se utilizó como base la información generada por Pons *et al.* (2018), en donde se calculó una línea base de aridez nacional para el periodo 1960-1990 y para tres escenarios de cambio climático para los años 2030, 2050 y 2070 empleando el escenario más optimista RCP 2.6¹⁷ (cuadro 3 y figura 21).

Cuadro 3. Índice de aridez para las microcuencas de la Región Metropolitana de Guatemala (RMG) para el período base de 1960-1990 y tres años futuros, usando el escenario optimista de cambio climático moderado, denominado RCP 2.6

Microcuenca	Base	2030	2050	2070	2030 % red	2050 % red	2070 % red
Aguacapa	1.93	1.85	1.60	1.42	-4.5%	-17.4%	-26.6%
Amatitlán	1.42	1.33	1.13	0.98	-6.0%	-20.5%	-31.1%
El Cangrejal	1.87	1.77	1.53	1.35	-5.0%	-18.1%	-27.5%
El Zapote	1.45	1.39	1.19	1.04	-4.1%	-18.0%	-28.3%
La Cuya	2.10	1.99	1.72	1.52	-5.4%	-18.2%	-27.7%
Las Cañas	1.26	1.18	0.98	0.83	-6.3%	-22.0%	-34.2%
Las Flores	2.07	1.97	1.70	1.51	-5.0%	-18.0%	-27.3%
Las Vacas	1.39	1.32	1.11	0.96	-5.2%	-19.7%	-30.9%
Lo de Diéguez	2.02	1.93	1.67	1.48	-4.7%	-17.5%	-26.7%
Los Ocotes	1.63	1.55	1.32	1.15	-5.4%	-19.4%	-29.9%
Michatoya	1.76	1.68	1.45	1.30	-4.7%	-17.6%	-26.5%
Paxot	1.66	1.61	1.40	1.25	-3.2%	-15.8%	-25.1%
Rustrián	2.01	1.92	1.67	1.48	-4.4%	-17.1%	-26.2%
Sactzi	1.44	1.39	1.19	1.04	-3.6%	-17.3%	-27.5%
Teocinte-Las Cañas	1.68	1.58	1.35	1.18	-5.5%	-19.3%	-29.8%
Villalobos	1.52	1.45	1.25	1.09	-4.5%	-18.1%	-28.1%

Nota: Las últimas tres columnas muestran el porcentaje de reducción del índice observado en cada uno de los años futuros con respecto al período base.

Fuente: elaboración propia con base en Pons *et al.* (2018).

El promedio de índice de aridez de la RMG para la línea base categoriza a toda la región como húmeda, lo que muestra que la disponibilidad de agua en la región es alta en términos de precipitación y evapotranspiración. Al año 2030, el índice de aridez disminuiría entre 1 % y 6 %, siendo la microcuenca de Las Cañas

en el norte de la RMG la que tendría la mayor reducción. Esa misma microcuenca muestra una reducción en la aridez de 22 % y 34 % para los años 2050 y 2070, respectivamente. En general, la parte norte de la RMG, que colinda con el llamado Corredor Seco (que se extiende a lo largo de la cuenca del Motagua), es la región que

¹⁶ Las categorías en las que se puede dividir el índice de aridez, y que se encuentran en el territorio nacional, son: regiones semiáridas (0.20 a 0.50), como las regiones más secas de Zacapa y El Progreso; regiones subhúmedas secas (0.5 a 0.65), como el caso de algunas regiones secas del altiplano y la parte norte de Petén; y regiones húmedas (>0.65), en sitios de bocacosta (MAGA, 2002).

¹⁷ Este escenario muestra emisiones bajas de gases de efecto invernadero a futuro, lo cual se lograría si se implementa de lleno el Acuerdo de París antes de 2050. El escenario medio se denomina RCP 4.5 y al escenario pesimista se le denomina RCP 8.5, el cual ocurriría si no se implementa ninguna reducción de GEI.

experimentará la mayor reducción en su índice de aridez.

Para el escenario del año 2030, se identificó que la microcuenca del río Las Cañas tendrá una parte clasificada como subhúmeda seca. Para el escenario del año 2050, las microcuencas de los ríos Las Cañas (1524 ha), Teocinte-Las Cañas (1270 ha), Las Vacas (1016 ha) y El Zapote (339 ha) mostrarán áreas significativas clasificadas en la categoría subhúmeda seca.

En el año 2070, 169 ha de la microcuenca de Las Cañas llegarán a clasificarse como semiáridas. Se observa que, incluso en el escenario más optimista¹⁸, la parte norte de la RMG tenderá a futuro a parecerse a lo que actualmente se observa en las regiones de Zacapa y El Progreso.

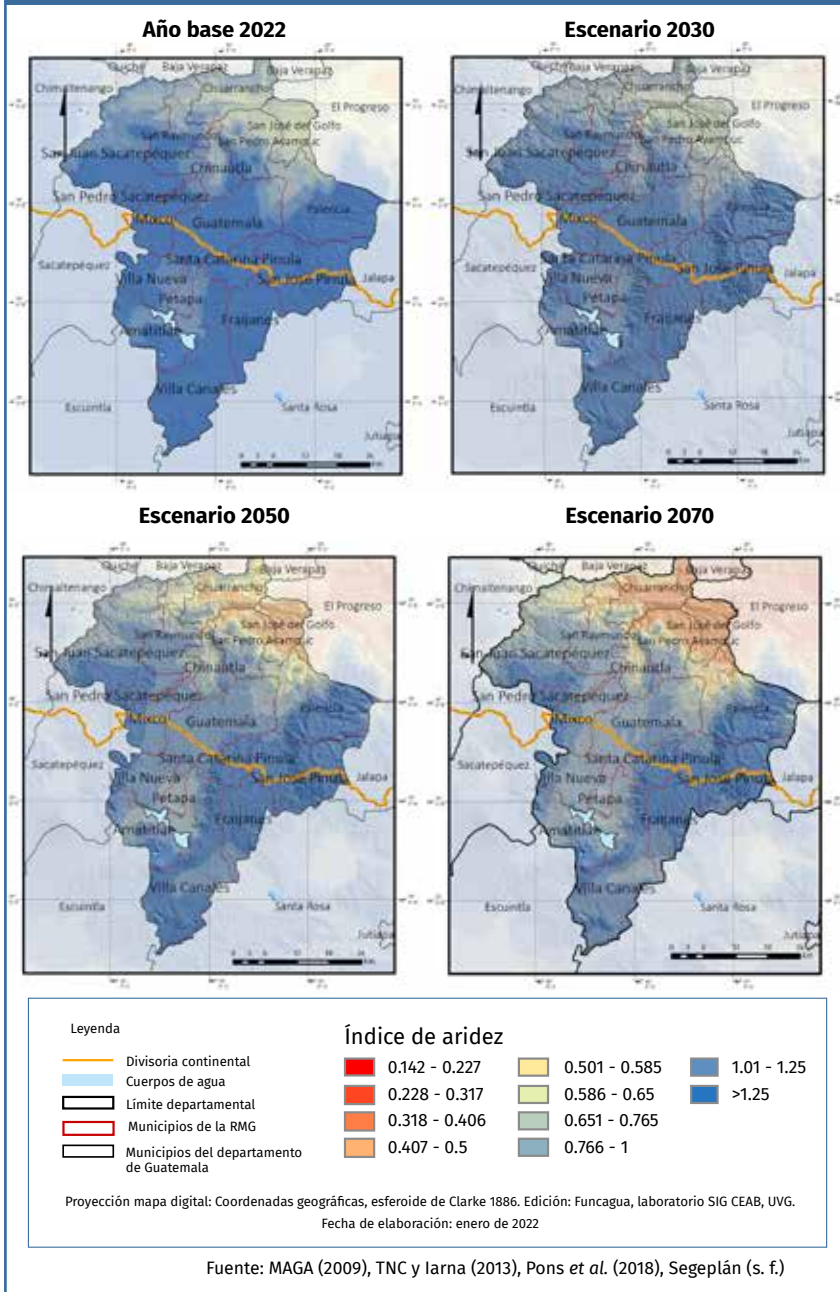
El índice de aridez puede ser una herramienta útil para la gestión del recurso hídrico y del territorio dentro de la RMG, pues muestra las zonas en la cuales habrá un déficit en la disponibilidad de agua con impactos para las personas, industrias y ecosistemas.

4.1.2 CAMBIOS EN EL USO DE LA TIERRA Y EN EL SUELO

4.1.2.1 Deforestación en la Región Metropolitana de Guatemala (RMG)

Tal como fue descrito en el capítulo 1, la cobertura forestal es crucial para lograr una bue-

Figura 21. Índice de aridez en las microcuencas de la Región Metropolitana de Guatemala (línea base y escenarios 2030, 2050 y 2070)



na absorción del agua de lluvia para recargar los acuíferos de donde se extrae gran parte de la cantidad del agua para consumo humano. Desafortunadamente, en el caso de la RMG, mucha de su cobertura forestal ha quedado únicamente en

los barrancos que dividen las diferentes zonas de la ciudad, que en algunos casos también han sido construidos con concreto, reduciendo su capacidad de regular el ciclo hídrico.

¹⁸ El Acuerdo de París sobre reducción de emisiones se implementa efectivamente.

Cuadro 4. Dinámica de la cobertura forestal dentro de la Región Metropolitana de Guatemala (RMG) (período 2013-2020) (hectáreas)

Microcuenca	área (ha)	Bosque (ha)	% bosque	Pérdida (ha)	Ganancia (ha)	Diferencia (ha)	% dif / Área	% dif / bosque
El Cangrejal	660	8	1.2 %	0	3	3	0.45 %	38.3 %
Las Flores	884	613	69.4 %	0	0	0	0.00 %	0.00 %
Sactzi	1251	533	42.6 %	0	0	0	0.00 %	0.00 %
La Cuya	1341	609	45.4 %	1	6	5	0.37 %	0.82 %
Lo de Dieguéz	1522	904	59.4 %	5	2	-3	-0.20 %	-0.33 %
Aguacapa	1622	360	22.2 %	5	1	-4	-0.25 %	-1.11 %
Rustrián	2015	871	43.2 %	1	1	0	0.00 %	0.00 %
Paxot	2218	794	35.8 %	2	3	1	0.05 %	0.13 %
Las Cañas	6330	2277	36.0 %	13	3	-10	-0.16 %	-0.44 %
El Zapote	7255	1854	25.6 %	38	2	-36	-0.50 %	-1.94 %
Amatitlan	8451	498	5.9 %	1	16	15	0.18 %	3.01 %
Los Ocotes	10 332	5870	56.8 %	10	26	16	0.15 %	0.27 %
Teocinte-Las Cañas	12 781	6361	49.8 %	4	31	27	0.21 %	0.42 %
Las Vacas	15 870	3642	22.9 %	33	7	-26	-0.16 %	-0.71 %
Michatoya	20 673	4701	22.7 %	70	36	-34	-0.16 %	-0.72 %
Villalobos	31 013	5818	18.8 %	47	9	-38	-0.12 %	-0.65 %
Total	124 219	35 714	28.8 %	230	146	-84	-0.07 %	-0.24 %

Nota: Los valores en rojo muestran las diferencias negativas, que corresponden a deforestación.

Fuente: elaboración propia con base en MAGA (2014) e imágenes Landsat 8 ETM de 2013 y 2020

El cuadro 4 y la figura 22 muestran la dinámica de la cobertura forestal en las 16 microcuencas que componen la RMG. Se observa que hay 8 microcuencas muy pequeñas (menores de 2300 ha de extensión) y 8 más grandes (arriba de 6000 ha). Una diferencia negativa (en rojo) indica una pérdida neta de cobertura forestal en esa microcuenca.

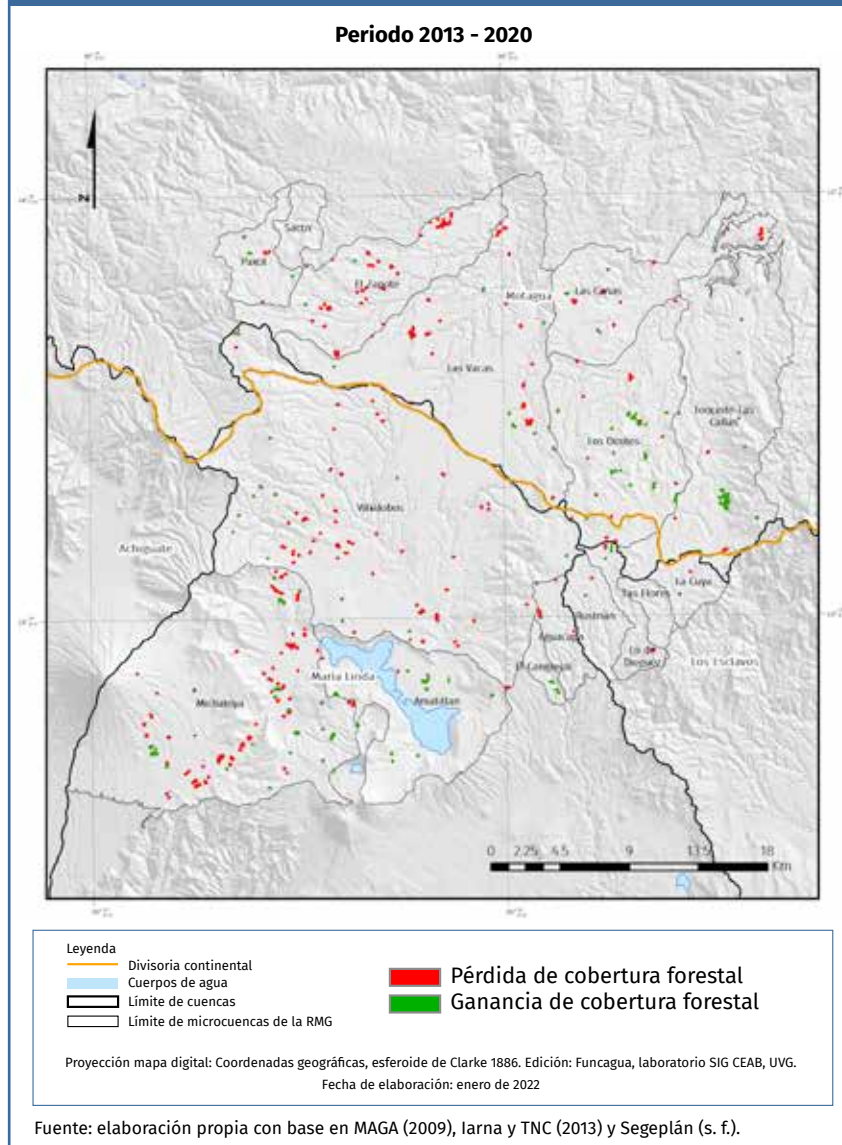
Las 8 microcuencas más pequeñas tienen, en promedio, mayor cobertura forestal (40.8 % en 2012), y solo El

Cangrejal muestra una cobertura forestal casi nula. Las ocho microcuencas más grandes contaban con una cobertura forestal promedio de 27.5 % en 2012; donde resaltan la microcuenca de Amatitlán con apenas 5.9 % de cobertura y Los Ocotes, con una cobertura de más de la mitad de la cuenca (56.8 %). En promedio, todas las microcuencas de la RMG tenían una cobertura del 28.8 % en 2012, que estaba por debajo del promedio nacional para ese año, de 33.7 % (Gimbot, 2014).

La pérdida de cobertura forestal en la RMG para el periodo 2013-2020 se muestra en la figura 23¹⁹. El 85 % de la pérdida se concentra en las microcuencas de los ríos Michatoya, Villalobos, El Zapote y Las Vacas (ver cuadro 4), y la cuenca con mayor pérdida boscosa por área total fue El Zapote, en la parte noroeste de la RMG, que perdió 0.5 % neto de su área total en cobertura forestal. Esto equivale a una tasa de deforestación de 1.94 % para el

¹⁹ Dato preliminar.

Figura 22. Dinámica de la cobertura forestal dentro de la Región Metropolitana de Guatemala



ganó un total de 146 ha²⁰, de lo cual el 75 % se concentraba en las microcuencas de los ríos Michatoya, Teocinte-Las Cañas, Los Ocotes y Amatitlán.

4.1.2.2 Erosión y sensibilidad a la degradación y desertificación del suelo

La degradación se entiende como el cambio o pérdida de la salud del suelo, dando como resultado la disminución de la capacidad del ecosistema para producir bienes o prestar servicios para el beneficio del ecosistema y para los humanos (FAO, 2019).

Para identificar las áreas ambientalmente sensibles a la degradación (AASD)²¹, se han definido cuatro categorías que se describen en el cuadro 5.

Para la RMG se estimó un total de 98 411 ha de AASD, siendo la categoría «frágil» la que mayor representatividad posee, con un total de 79 479 ha (81 %); seguida por la categoría «potencial», con un total de 13 175 ha (13 %) y, por último, la categoría «crítica», con 5757 ha (6 %).

En la figura 24 se presenta el mapa de las AASD para la RMG. Como se observa, la categoría «frágil» predomina en toda la RMG, mientras que las áreas críticas se concentran en las microcuencas del norte y sur.

período de 7 años de estudio, es decir, 0.28 % de deforestación anual.

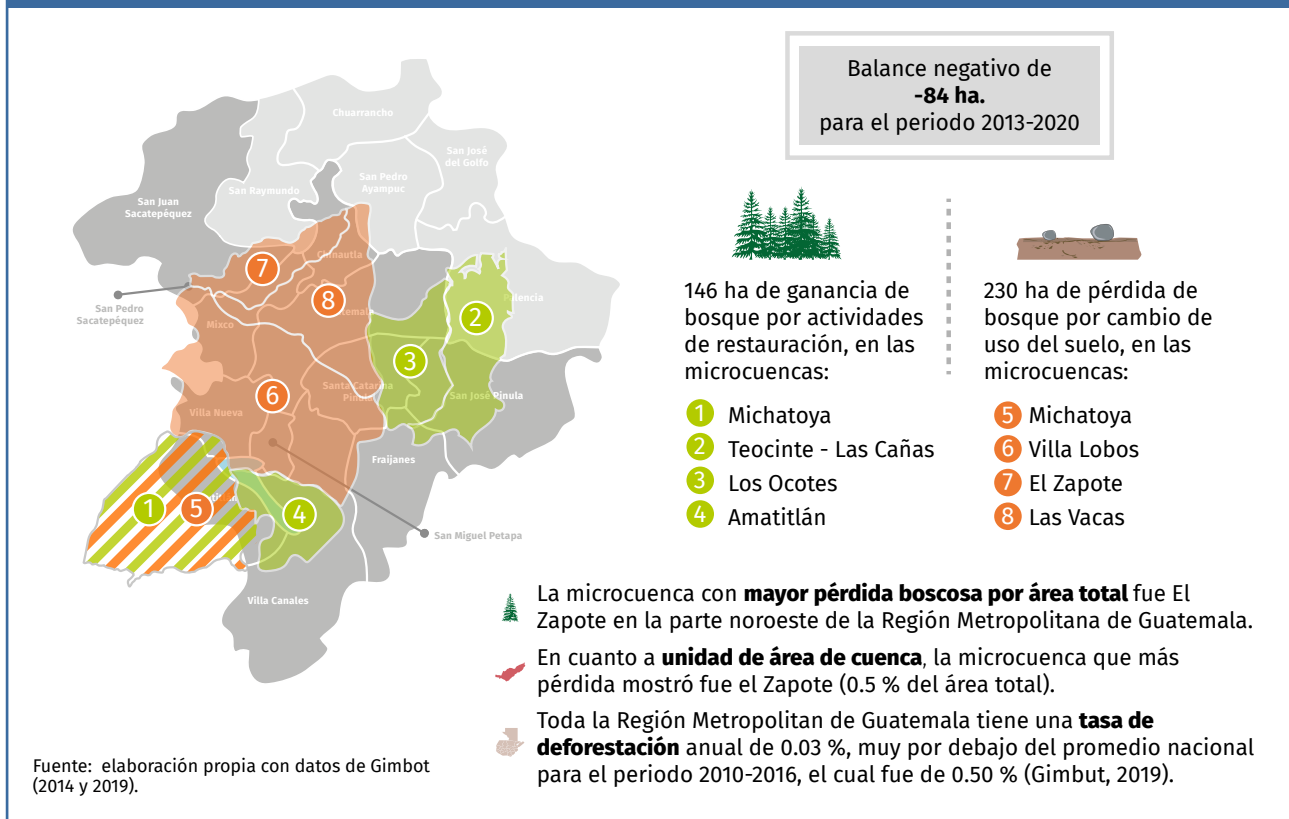
Toda la RMG tiene una tasa de deforestación anual de 0.03 %, muy por debajo del promedio nacional para el período 2010-2016, el cual fue de

0.50 % (Gimbot, 2019). A pesar de que las cuencas de la RMG han experimentado deforestación, no se compara con las tasas de deforestación nacional observadas.

En cuanto a la ganancia de cobertura forestal, la RMG

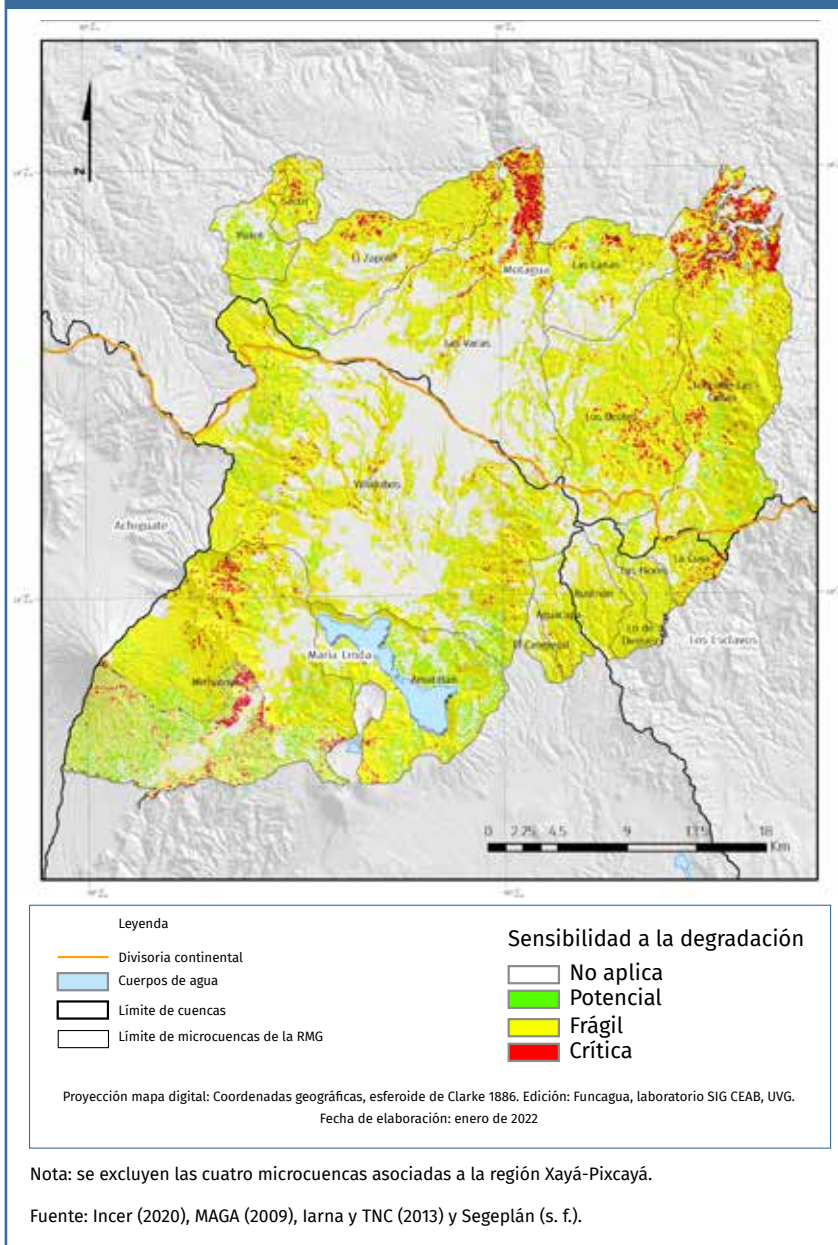
20 Dato preliminar.

²¹ Se utilizó el enfoque desarrollado por Kosmas *et al.*, (1999), en donde se define que las áreas ambientalmente sensibles a la degradación (AASD) se entienden como aquellas que poseen una relación de diferentes factores biofísicos (topográficos, edáficos y climáticos) y antropogénicos que contribuyen a que evolucione este proceso (Incer, 2020).

Figura 23. Relación pérdida-ganancia de cobertura forestal en la Región Metropolitana de Guatemala (periodo 2013-2020)**Cuadro 5.** Descripción de las categorías para áreas ambientalmente sensibles a la degradación

No afectadas	Áreas en las cuales no hay sensibilidad a la degradación
Potenciales	Áreas en donde la sensibilidad a la degradación es baja. Cambiaría de categoría si ocurre una serie de eventos climáticos significativos, y a su vez se da un uso incorrecto del suelo, lo cual provocaría impactos y resultaría en un cambio de categoría.
Frágiles	Áreas en donde la sensibilidad a la degradación se encuentra en un frágil equilibrio entre la naturaleza y las actividades humanas. Si estas áreas estuvieran propensas a un evento climático extremo debido al uso incorrecto del suelo, esto favorecería a que, por ejemplo, ocurra erosión con el aumento de la escorrentía. Estos factores llevarían a estas áreas hacia la categoría crítica.
Críticas	Áreas que poseen una alta sensibilidad a la degradación, las cuales ya se pueden encontrar degradadas por su mal uso en el pasado. Estas tierras se caracterizan por haber perdido y/o disminuido su productividad, así como su valor ecológico.

Fuente: elaboración propia con base en Salvati & Bajocco (2011) y Právālie et al. (2017).

Figura 24. Mapa de las áreas ambientalmente sensibles a la degradación del suelo (AASD) en la RMG

Las microcuencas en la categoría «potencial» que tienen la mayor área son las de los ríos Villalobos (19 %), Amatitlán (13 %), Teocinte-Las Cañas (11 %), Michatoya (10 %) y Los Ocotes (8 %), concentrando el 60 % de las

áreas potenciales dentro de la RMG (cuadro 6). Estas áreas son importantes, ya que aún es posible realizar actividades de mitigación y adaptación a los potenciales efectos de los eventos climáticos o de cambios de uso del suelo.

Para la categoría «frágil», las microcuencas que concentran las mayores áreas se encuentran en los ríos Villalobos (18 %), Teocinte-Las Cañas (11 %), Michatoya (10 %), los Ocotes (9 %) y Pacorral (8 %). Es importante mencionar que esta categoría es sensible a los eventos hidrometeorológicos extremos, por lo que, si se presenta una sequía prolongada o una depresión tropical, estas áreas son propensas a pasar a la categoría crítica.

En cuanto a la categoría «crítica», las microcuencas que mayor área poseen son las de los ríos Teocinte-Las Cañas (18 %), Las Vacas (17 %), Pacorral (16 %), Las Cañas (12 %) y Michatoya (7 %). Las áreas identificadas con esta sensibilidad dentro de dicha categoría, indican que el proceso de degradación está ocurriendo o que ya se encuentran degradadas.

4.1.2.3 Áreas sensibles a la desertificación

La desertificación se entiende como el proceso de degradación en regiones áridas, semi-secas, subhúmedas secas y en ecosistemas secos, como el bosque seco o muy seco.

Iarna (2018) identificó la existencia de bosque seco pre montano bajo al norte de la RMG. Esta información se cruzó con el mapa de degradación (Incer, 2020), dando como

Cuadro 6. Áreas ambientalmente sensibles a la degradación del suelo (AASD) para la Región Metropolitana de Guatemala (RMG)

Categoría «potencial»			Categoría «frágil»			Categoría «crítica»		
Microcuenca	Área	(%)	Microcuenca	Área	(%)	Microcuenca	Área	(%)
Villalobos	2502	22	Villalobos	14414	30	Teocinte-Las Cañas	1040	24
Amatitlán	1654	14	Teocinte-Las Cañas	8906	19	Las Vacas	960	22
Teocinte-Las Cañas	1491	13	Michatoya	8314	17	Las Cañas	716	16
Michatoya	1258	11	Los Ocotes	7036	15	Michatoya	424	10
Los Ocotes	1049	9	Las Vacas	5642	12	Los Ocotes	364	8
Las Vacas	788	7	El Zapote	4318	9	El Zapote	290	7
El Zapote	765	7	Amatitlán	3556	7	Villalobos	255	6
Paxot	596	5	Las Cañas	3235	7	La Cuya	88	2
Las Cañas	387	3	Rustrián	1306	3	Sactzi	78	2
Lo de Dieguéz	185	2	Aguacapa	1102	2	Amatitlán	74	2
Aguacapa	167	1	Lo de Dieguéz	997	2	Aguacapa	19	0
La Cuya	155	1	Paxot	924	2	Paxot	17	0
Rustrián	154	1	La Cuya	897	2	El Cangrejal	7	0
Sactzi	122	1	Sactzi	867	2	Las Flores	5	0
Las Flores	121	1	Las Flores	601	1	Rustrián	4	0
El Cangrejal	53	0	El Cangrejal	337	1	Lo de Dieguéz	1	0
Total	11 447	100	Total	48038	100	Total	4342	100

Fuente: elaboración propia.

resultado un total de 6029 ha de áreas sensibles a la desertificación.

Dentro de este total, las áreas con categoría crítica tienen la mayor representatividad, con un total de 4894 ha, siendo las microcuencas de los ríos Las Cañas, Teocinte-Las Cañas, Las Vacas, El Zapote y Los Ocotes las que poseen una mayor sensibilidad a la desertificación (figura 25).

4.1.2.4 Impermeabilización

Las áreas que se han impermeabilizado dentro de la RMG son aquellas que cambiaron a un uso urbano. Las áreas consideradas urbanas en el año 1990 sumaban 139 km², mientras que para el año 2020 correspondían a 309 km². En ellas ocurrió una transición de cobertura vegetal a uso urbano, lo cual reduce las oportunidades de infiltración para la recarga del acuífero de la RMG.

Otra de las problemáticas que se observan dentro de la RMG es el aumento del crecimiento de la mancha urbana, derivado de los incrementos de edificaciones verticales y horizontales para uso residencial y comercial.

Esto aumenta la escorrentía cuando ocurren eventos de precipitación, ya que el agua se pierde en los ríos, al no existir infraestructuras para controlarla y retenerla.

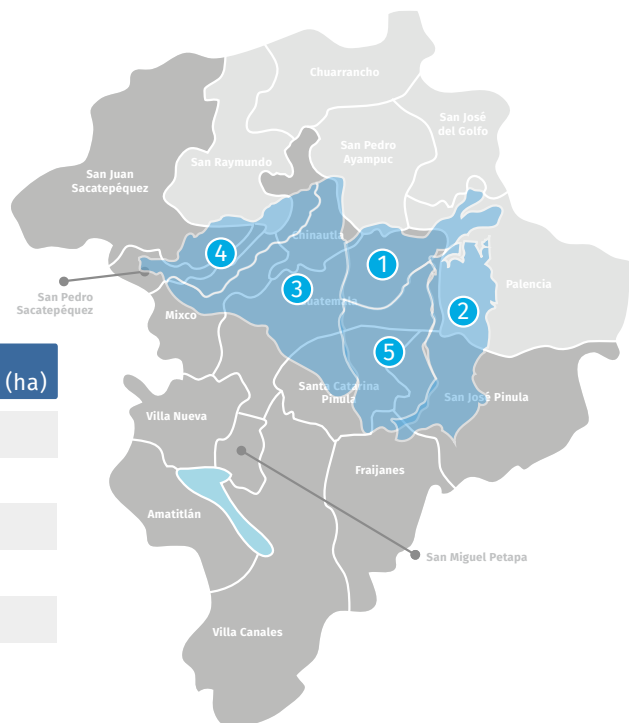
Figura 25. Áreas sensibles a la desertificación en la Región Metropolitana de Guatemala

La importancia de conocer las áreas potenciales radica en que aún se pueden implementar actividades como reforestación o restauración de los bosques para evitar una degradación de los suelos en el futuro.



La desertificación es el proceso irreversible en donde un ecosistema pierde toda la productividad del suelo, afectando al ecosistema y, de forma directa, al proceso del ciclo hidrológico.

Microcuenca	Áreas críticas (ha)	Áreas potenciales (ha)
1 Las Cañas	1365	514
2 Teocinte - Las Cañas	1162	35
3 Las Vacas	985	229
4 El Zapote	859	36
5 Los Ocotes	523	62
Total	4894	876



Fuente: elaboración propia con base en Iarna (2018) e Incer (2020).

4.2 AUMENTO EN LA DEMANDA DEL AGUA

A la presión sobre el recurso hídrico derivada de la reducción del ingreso de agua al sistema por las variaciones en los patrones de lluvia resultantes del cambio climático, se suma la demanda del recurso por los diferentes sectores de uso (doméstico, industrial y agrícola).

Uno de los estudios más recientes sobre la demanda de agua a nivel nacional (Cepal *et al.*, 2018) reporta a los sectores agrícola, municipal e industrial como los principales usuarios del recurso (figura 26). Estos

datos a nivel nacional no reflejan el entorno urbano de la RMG, donde se espera que el consumo municipal sea mucho más alto y el consumo agrícola más marginal, pues se encuentra localizado principalmente en las áreas periféricas de la mancha urbana.

Desafortunadamente, no se tienen datos sobre consumos a nivel de la RMG, por lo que esta sección busca brindar un panorama sobre los posibles consumos de estos tres sectores, así como del tipo de

información que se necesita generar para lograr datos más confiables.

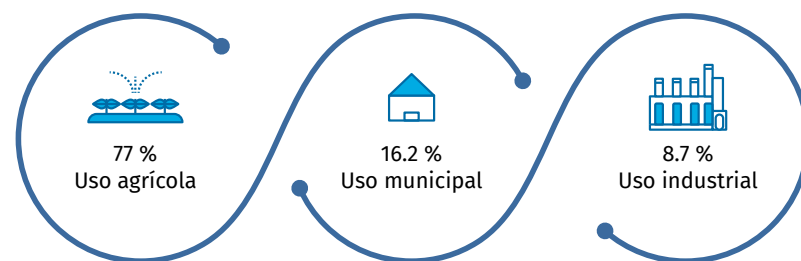
4.2.1 DEMANDA DOMÉSTICA

Actualmente, no existen datos específicos sobre el consumo de agua por demanda doméstica para la RMG. Sin embargo, se realizó un ejercicio para estimar el consumo en la ciudad capital, basándose en un estudio llevado a cabo para la zona 10 de la ciudad de Guatemala, el cual se presenta a continuación.

4.2.1.1 Consumo de agua en zona 10 de la ciudad de Guatemala

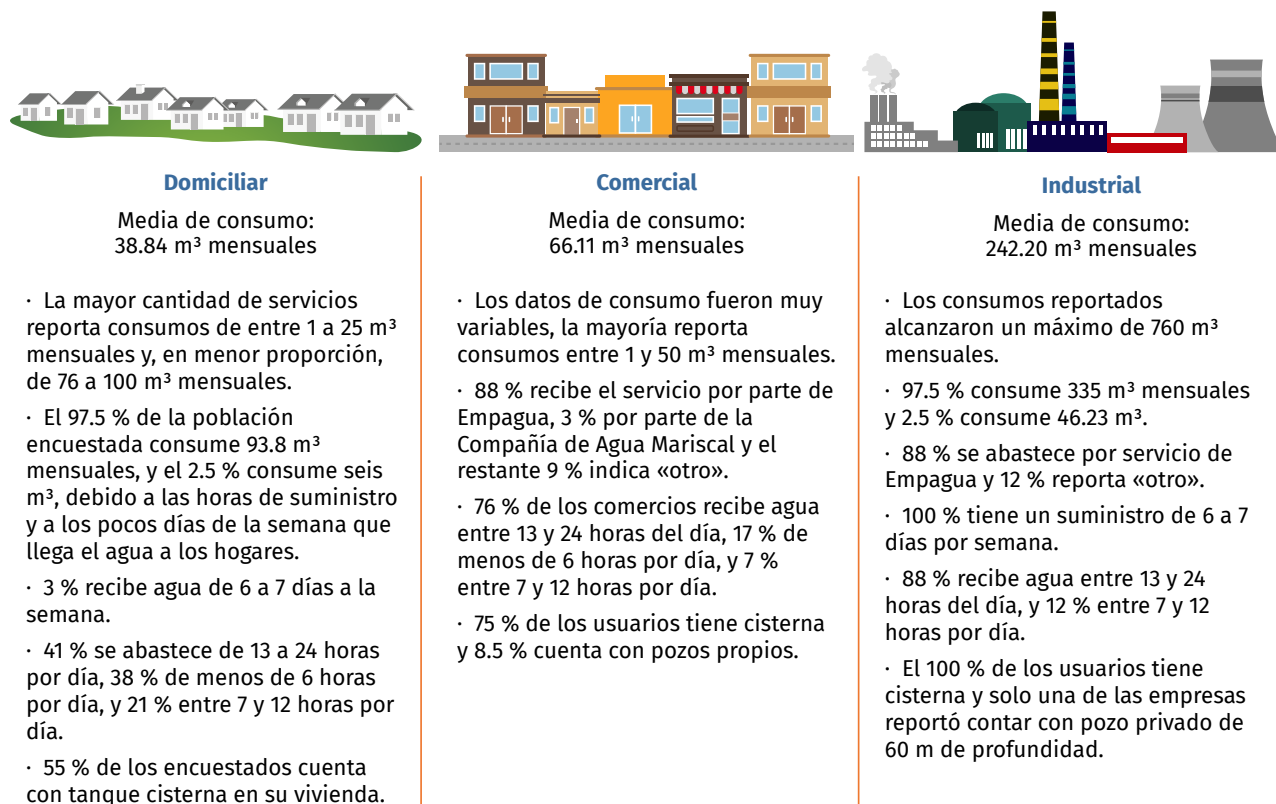
Rodríguez (2014) evaluó el consumo de agua potable en la zona 10 de la ciudad de Guatemala entre los años 2008 y 2010. Comparó datos obtenidos en una encuesta de campo con información proporcionada por Empagua, y obtuvo la información presentada en la figura 27.

Figura 26. Usos del agua en Guatemala, a nivel nacional (porcentaje)



Fuente: elaboración propia con base en Cepal et al. (2018).

Figura 27. Consumo de agua en zona 10 de la ciudad capital de Guatemala, por sector (en m³)



Nota. Número de servicios encuestados muestra: domiciliar (29), comercial (51) e industrial (8).

Fuente: elaboración propia con base en Rodríguez (2014, p. 37, 43, 46).

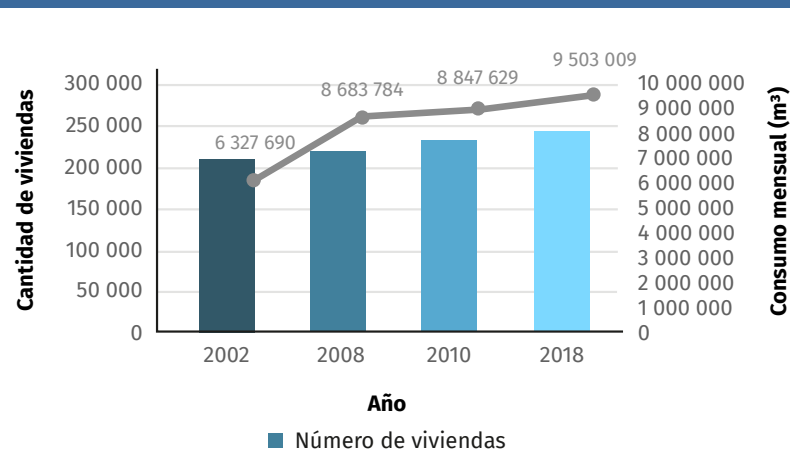
En términos generales, para la zona 10 se reporta que el 91.67 % de los encuestados recibe el servicio por parte de Empagua. Esta zona se abastece principalmente por el acueducto Xayá Pixcayá (a través de la planta Lo de Coy), por la presa El Teocinte (a través del Sistema Santa Luisa) y una parte por medio de agua subterránea (pozos privados). Según la encuesta realizada, también se acude al servicio de pipas que llegan a la zona para llenar tanques cisterna de los domicilios (Rodríguez, 2014, p. 53).

4.2.1.2 Consumo de agua en la ciudad de Guatemala

Tomando como referencia el dato de consumo doméstico promedio para la zona 10, de 38.84 m³ reportado por Rodríguez (2014), se construyó un gráfico de la evolución de la demanda del agua en la ciudad de Guatemala (figura 28) comparándolo con datos del año 2002, en los que Empagua reportaba un consumo doméstico medio mensual de 30 m³.

Se consideró un aumento de 1 % anual en la cantidad de viviendas abastecidas. Se aprecia que la demanda podría haber aumentado de 6 327 690 m³ por mes en 2002 a 9 503 009 m³ por mes en 2018. Esto representa un incremento del consumo de aproximadamente 50 % en 16 años. El anexo 6 presenta una comparación del consumo de agua en la ciudad de Guatemala entre los años

Figura 28. Evolución estimada del consumo de agua en la ciudad de Guatemala (años 2002, 2008, 2010 y 2018) (en m³)



Fuente: elaboración propia con datos del Instituto Nacional de Estadística y Empagua, INE (2018) y Rodríguez (2014).

2002 y 2018. Por lo tanto, el total de abastecimiento de agua estimado para consumo humano dentro de la ciudad de Guatemala se aproxima a 114 036 108 m³/año.

4.2.2 DEMANDA POR LA INDUSTRIA

La demanda de agua por parte del sector industrial es, sin duda, una fuente importante de presión para el recurso, aunque su consumo es usualmente menor que el de otros sectores como el agrícola (Cepal et al, 2018). La proporción de agua que se aprovecha en Guatemala por los distintos sectores es similar a la del resto del mundo, donde se estima que la industria consume el 7 % del agua (Segeplán, 2006 y 2011).

No obstante, con la concentración de industrias en la RMG y la urbanización de la región, es

muy posible que el consumo industrial presente porcentajes mucho más altos. Desafortunadamente, la información sobre el consumo de agua en la RMG es escasa y dificulta la estimación de estos valores.

Para el presente informe, se buscó obtener datos relativos al consumo de agua por parte de representantes del sector industrial en la región metropolitana de Guatemala.

Para ello, se llevó a cabo una encuesta que fue enviada a 50 entidades de la industria y construcción, con el objetivo de compilar información estratégica para la generación de indicadores relativos al consumo de agua por parte de este sector. A pesar de los múltiples esfuerzos realizados para promover una mayor participación, solamente 13 entidades respondieron este cuestionario.

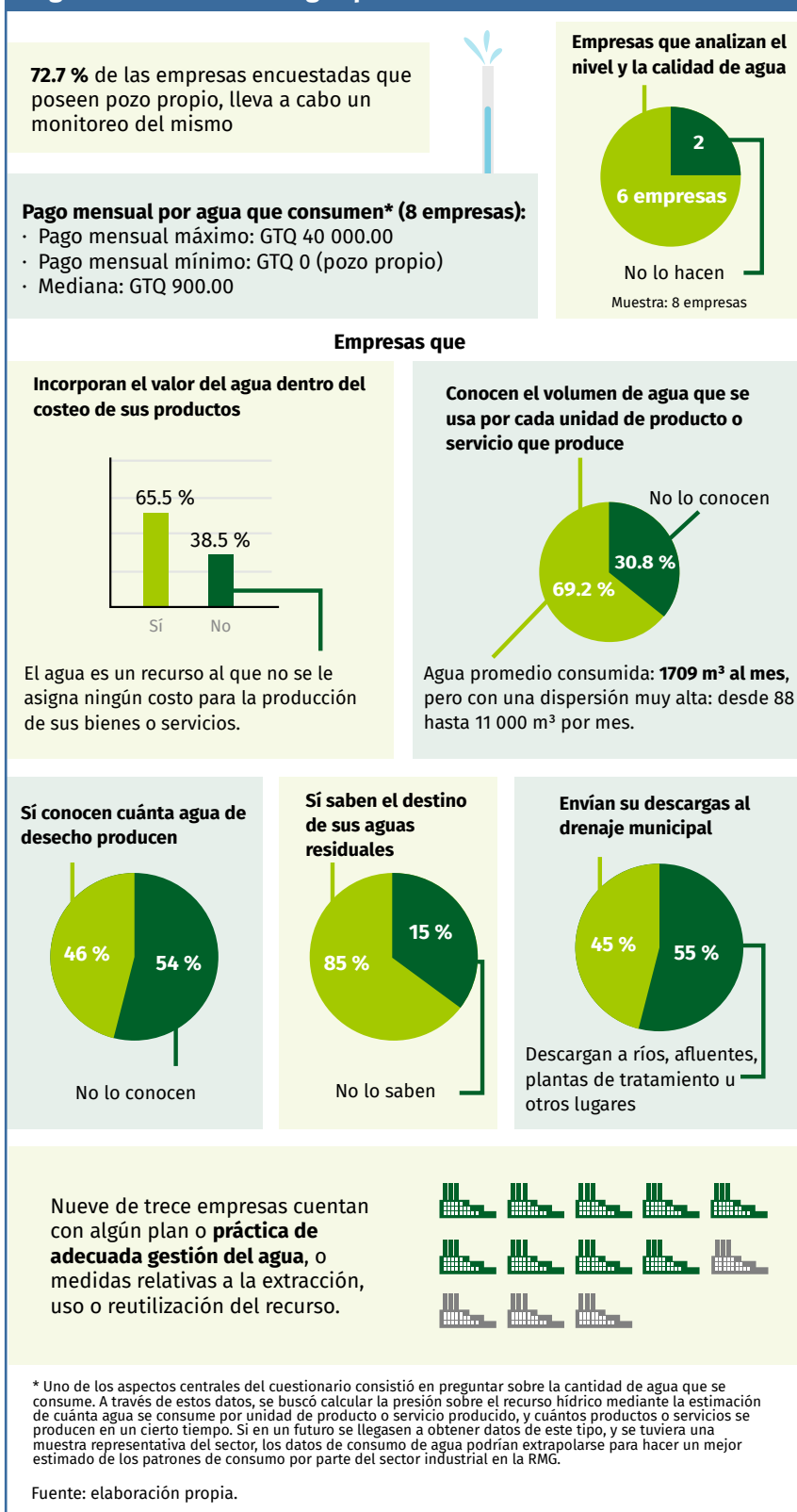
Vale la pena recalcar que, debido a la poca cantidad de entidades que respondieron las encuestas, los datos que se muestran a continuación no son representativos del consumo de agua por parte del sector industrial en la RMG, pero sí permiten tener un panorama de ciertas tendencias. Ante todo, se espera que esta información sirva de base para futuros estudios que puedan obtener información representativa sobre la demanda y consumo de agua en el sector, y así contribuir a una mejor gestión del recurso.

De las encuestas respondidas, ocho corresponden al sector industria y comercio, tres al sector construcción, una al sector financiero y una al sector de servicios. El 69 % de estas empresas se cataloga como grandes o medianas, teniendo más de 80 empleados. Al consultarles sobre su fuente de abastecimiento de agua, 11 de las 13 empresas respondieron que poseen pozo propio, mientras que las otras dos reportaron abastecerse con agua municipal y de empresa privada, respectivamente.

La figura 29 incluye algunos datos y tendencias relevantes que pudieron observarse mediante las respuestas obtenidas, que se presentan en detalle en el anexo 7.

Como se indicó al inicio del apartado, los datos presen-

Figura 29. Demanda de agua por la industria



tados no son representativos, pero sí muestran algunas tendencias interesantes sobre el sector en cuanto al manejo del recurso hídrico.

4.2.3 DEMANDA POR LA AGRICULTURA

Para 2017, la cantidad de agua utilizada para uso agrícola a nivel nacional fue de $1.886 \times 10^9 \text{ m}^3/\text{año}$, lo cual representa el 56.74 % del total de agua utilizada en el país. En el caso de la irrigación agrícola, el agua requerida fue de $0.4389 \times 10^9 \text{ m}^3/\text{año}$ para ese mismo año (FAO, 2017).

El área total equipada para riego a nivel nacional aumentó de 129 803 ha en 1997 a 142 499 ha en 2004 (incremento del 9.78 % en siete años o 1.4 % anual). De este total, 31 011 ha se abastecían con agua subterránea.

En 2004, el departamento de Guatemala contaba con 1207 ha equipadas para riego, de las cuales 14.12 % usaba agua subterránea (170.5 ha) y 85.87 % agua superficial (1036.5 ha) (FAO, 2021). Si se asume un crecimiento anual de estas áreas como el reportado con anterioridad a nivel nacional (1.4 % anual), se puede inferir

un aumento aproximado de 1500 ha como mínimo. El resto de área cultivada correspondería a prácticas de agricultura de secano.

En total, se podría afirmar que la demanda de agua para el sector agrícola del departamento (sea por riego o basada en secano) se aproxima a los $709\,191\,000 \text{ m}^3$ de agua al año.

4.3 AGUAS RESIDUALES VERTIDAS A LAS AGUAS SUPERFICIALES

El Censo de 2018 reporta que el 83 % de la población estaba conectada a sistemas de alcantarillado, en su mayoría de tipo combinado, es decir, que reciben aguas tanto de origen doméstico y comercial como aguas pluviales (Aecid y BID, 2021).

Alrededor del 90 % de la población de la RMG descarga un promedio de 4.10 metros cúbicos por segundo (m^3/s) de aguas residuales crudas a las quebradas, ríos y lagos que atraviesan la región. Se han identificado:

• Aproximadamente 1066 plantas de tratamiento de diferentes tamaños y tecnologías (28 operadas por las municipalidades y el resto por residenciales e industrias), la mayoría de las cuales, si funcionan, lo hacen deficientemente y sin cumplir con la normativa de descarga establecida (Aecid y BID, 2021).

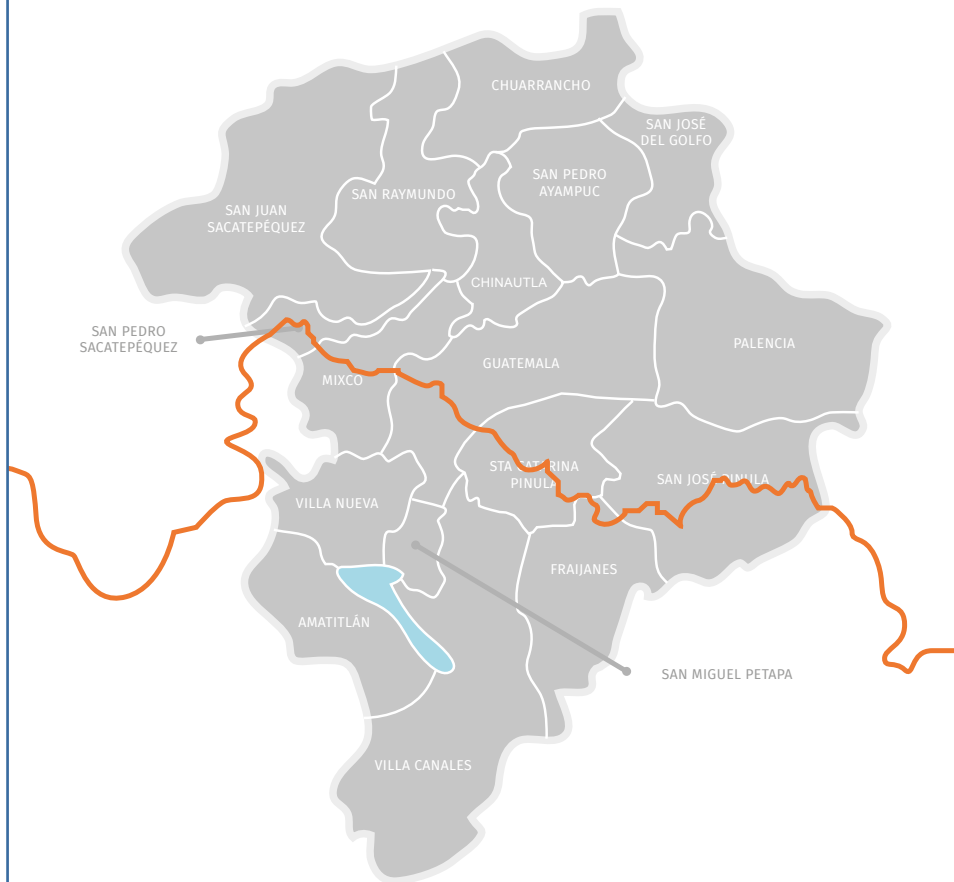
• 2700 entes generadores de aguas residuales (que incluyen más de 400 industrias), que descargan sus aguas residuales a los cuerpos de agua sin mayor monitoreo ni control de los entes reguladores y de las municipalidades (Aecid y BID, 2021, p. 8). En el anexo 8 se resumen los entes generadores, tipos de descarga y calidad de las aguas residuales a nivel municipal.

Utilizando como punto de partida la cantidad de agua consumida estimada en el inciso 4.2.1.2 y un 80 % de factor de retorno, se podría afirmar que en la ciudad de Guatemala se generan 7.6 millones de m^3 de aguas residuales mensualmente, cuya descarga se detalla en la figura 30.

Figura 30. Descargas de la ciudad de Guatemala hacia las cuencas sur y norte

Cuenca norte

- Recibe la mayor parte de las aguas residuales provenientes de la ciudad.
- El río Las Vacas recibe el **62 % de las aguas residuales de la ciudad**.
- Aproximadamente el **67 %** de la generación de aguas residuales se dirige a través de los tributarios hacia el río Motagua.
- No se tiene un dato exacto sobre el número de descargas totales en la cuenca norte, aunque se identificaron **173 descargas del alcantarillado sanitario a la cuenca del río Las Vacas**. Si se asume una cantidad de descargas directas similar a las de la cuenca sur, el número de descargas aumentaría a más de 1000.



Cuenca sur

- Cinco de los seis municipios originales de la MGCS y parte del municipio de Guatemala descargan en la cuenca del río Villalobos, que drena directamente a la cuenca del lago de Amatitlán.
- **38 %** de las aguas residuales de la ciudad se descarga al río Villalobos.
- **Más de 1400 desfogues de aguas residuales sin ningún tratamiento** en la cuenca del río Villalobos, de los cuales 1131 corresponden al municipio de Guatemala y 315 al resto de municipios.

Fuente: Aecid y BID (2021, p. 8, 108, 166) y González (2018).

CONCLUSIONES

El cambio climático es causado principalmente por actividades antropogénicas y está provocando el aumento de la temperatura del planeta, con cambios rápidos e intensos en los patrones de lluvia. Este fenómeno está afectando a todas las regiones del planeta, incluyendo a Guatemala, que se considera como uno de los países más vulnerables a nivel mundial. Particularmente para Centroamérica, la aridez y las sequías están aumentando, aunque no es tan fácil afirmarlo debido a la carencia de datos meteorológicos. Además de las sequías y períodos prolongados de canícula, existen períodos de lluvias intensas, los cuales afectan el suministro de agua en la RMG debido al drenaje superficial de las aguas y a la reducción de la cantidad de agua que se filtra en el subsuelo.

En cuanto al cambio de uso de la tierra, la deforestación dentro de la RMG debido a la excesiva urbanización juega un papel crucial en la impermeabilización del suelo y la consecuente disminución de la absorción del agua de lluvia para la recarga de acuíferos. Para afrontar esta problemática, es necesario conocer las áreas en las cuales se ha perdido el bosque, con el fin de implementar medidas de restauración, las cuales pueden darse mediante actividades de reforestación o de regeneración natural para incrementar la cobertura vegetal a mediano plazo, permitiendo que ocurra el proceso de infiltración y que la escorrentía sea menor.

La salud del suelo ha cambiado, dando como resultado la disminución de la capacidad del ecosistema para producir bienes y servicios, así como el inicio del proceso de desertificación en algunas zonas de la RMG. Conocer la sensibilidad ambiental a la degradación en la RMG, permitirá orientar acciones para la planificación de actividades que contribuyan a mitigar y a adaptarse a los efectos negativos de este fenómeno que altera el ciclo hidrológico. Al ocurrir la degradación, la capacidad del ecosistema para captar e infiltrar, así como para regular la escorrentía, reduce la disponibilidad del recurso hídrico para su uso y consumo.

A la presión ya existente sobre el recurso hídrico se suma la demanda del recurso por distintos sectores (doméstico, industrial o agrícola); no obstante, es difícil estimar el consumo de agua para la RMG debido a que no existen datos específicos para la misma.

Finalmente, la descarga de aguas residuales desde la RMG representa una alta fuente de contaminación para los distintos cuerpos de agua de la región.

RECOMENDACIONES

Se recomienda generar, en lo posible, información climática precisa y actualizada a nivel nacional y para la RMG, con el fin de poder analizar a profundidad los fenómenos climáticos extremos a los que se ha visto sometido el país en las últimas décadas. Es preciso que la generación de este tipo de información forme parte de la agenda de investigación de las principales universidades del país; asimismo, las instituciones gubernamentales deben darle prioridad a este tipo de estudios para mejorar la toma de decisiones, así como la asignación de recursos para mitigación y adaptación.

Para afrontar la deforestación dentro de la RMG se recomienda identificar las áreas en las cuales se ha perdido el bosque, e implementar medidas de restauración mediante actividades de reforestación o regeneración natural, con el fin de incrementar la cobertura vegetal a mediano plazo, y de esta manera permitir el proceso de infiltración y disminuir la escorrentía.

Se recomienda investigar la probable relación entre la impermeabilización del suelo urbano y el aumento en la severidad de las inundaciones en algunas zonas de la ciudad, ya que probablemente sea un efecto secundario.

Se recomienda estudiar el proceso de erosión y la sensibilidad a la degradación y desertificación del suelo dentro de la RMG, con el fin de orientar las acciones de planificación de actividades que contribuyan a la mitigación y adaptación a sus efectos. Debido a que el proceso de desertificación es irreversible, se recomienda planificar actividades de adaptación y mitigación que reduzcan su impacto en la región.

Finalmente, se recomienda utilizar la información generada mediante la encuesta de consumo industrial y comercial para este capítulo como base para futuros estudios, mediante los cuales se pueda obtener información representativa sobre la demanda y consumo de agua para el sector de la industria en la RMG, y así contribuir a una mejor gestión del recurso.

REFERENCIAS Y BIBLIOGRAFÍA CONSULTADA

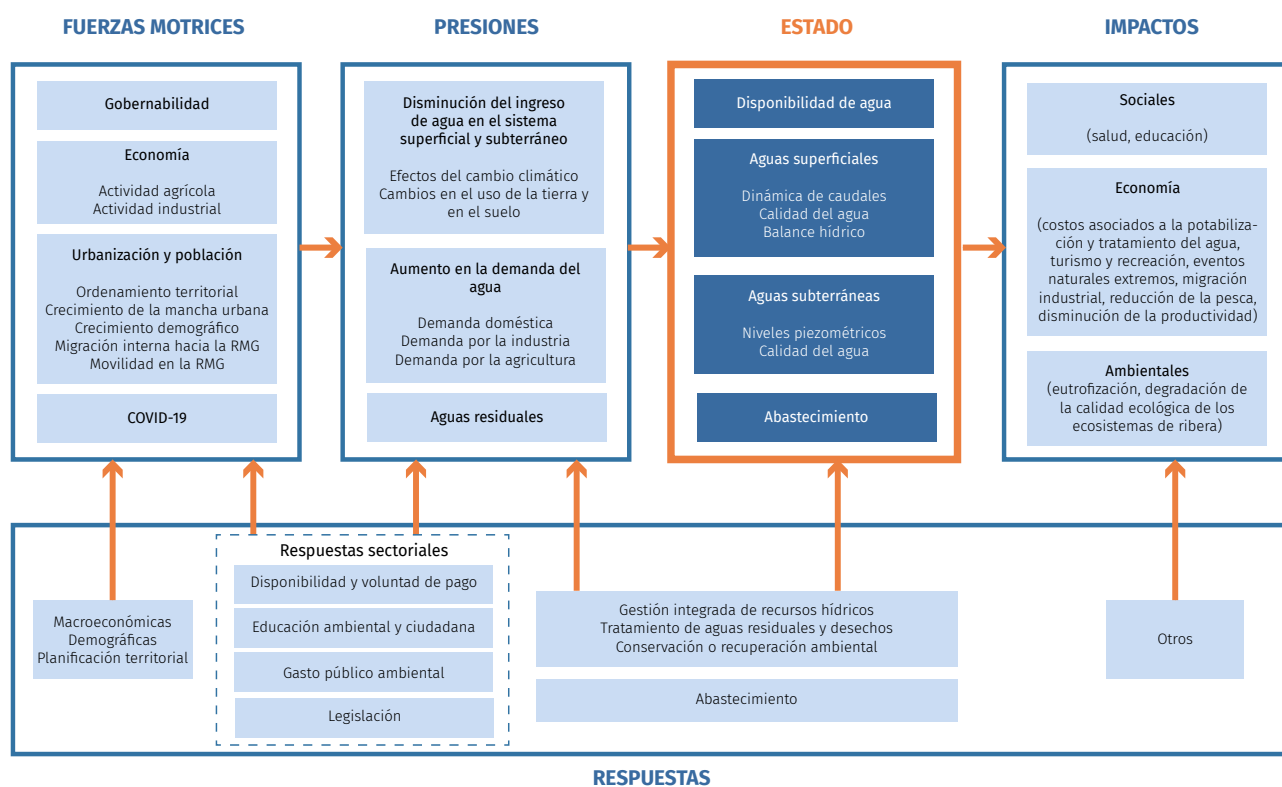
- Agencia Española de Cooperación Internacional para el Desarrollo y Banco Interamericano de Desarrollo. (2021). *Programa de Saneamiento Ambiental en el Área Metropolitana de la ciudad de Guatemala (AMCG)*.
- Aleksandrova, M., Balasko, S., Kaltenborn, M., Malerba, D., Mucke, P., Neuschäfer, O., Radtke, K., Prütz, R., Strupat, C., Weller, D., Wiebe, N. (2021). *World Risk Report 2021*. Bündnis Entwicklung Hilft.
- Bardales, W., Castañón, C. y Herrera, J. (2019). Clima de Guatemala, tendencias observadas e índices de cambio climático. En E. J. Castellanos, A. Paíz-Estévez, J. Escribá, M. Rosales-Alconero, & A. Santizo (Eds.), *Primer reporte de evaluación del conocimiento sobre cambio climático en Guatemala*. Editorial Universitaria, Universidad Del Valle de Guatemala.
- Basterrechea M. y Guerra, A. (2019). Recursos hídricos. En: E. Castellanos, A. Paíz-Estévez, J. Escribá, M. Rosales-Alconero y A. Santizo (Eds.), *Primer reporte de evaluación del conocimiento sobre cambio climático en Guatemala* (pp. 86-107). Editorial Universitaria, Universidad Del Valle de Guatemala.
- Comisión Económica para América Latina y el Caribe, Fondo Nórdico de Desarrollo, Banco Interamericano de Desarrollo y Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales. (2018). *La economía del cambio climático en Guatemala* (Documento técnico 2018). <https://www.cepal.org/es/publicaciones/43725-la-economia-cambio-climatico-guatemala-documento-tecnico-2018>
- González, B. (2018). Agua y ciudad: análisis y perspectivas del consumo de agua en el municipio de Guatemala. *Revista Análisis de la Realidad Nacional*, 24: 23. https://www.academia.edu/40988424/Agua_y_ciudad_an%C3%A1lisis_y_perspectivas_del_consumo_de_agua_en_el_municipio_de_Guatemala
- Grupo Interinstitucional de Monitoreo de Bosques y Uso de la Tierra. (2014). *Mapa de bosques y uso de la tierra 2012 y mapa de cambios de uso de la tierra 2001-2010* (Documento informativo).
- Grupo Interinstitucional de Monitoreo de Bosques y Uso de la Tierra. (2019). *Mapa de cobertura forestal 2016 y dinámica de la cobertura forestal 2010-2016*.
- Incer, D. (2020). Sensibilidad ambiental a la degradación de tierras de la meseta central de Guatemala. *Revista UVG*, 40, 1-12.
- Instituto de Agricultura, Recursos Naturales y Ambiente y The Nature Conservancy. (2013). *Bases técnicas para la gestión del agua con visión de largo plazo en la zona metropolitana de Guatemala*. Universidad Rafael Landívar.
- Instituto de Investigación y Proyección sobre Ambiente Natural y Sociedad. (2018). *Ecosistemas de Guatemala basado en el sistema de clasificación de zonas de vida*. Universidad Rafael Landívar.
- Instituto Nacional de Estadística. (2018). *XII censo nacional de población y VII de vivienda*.
- Intergovernmental Panel on Climate Change. (2021). *Climate change 2021. The physical science basis*. <https://www.ipcc.ch/report/sixth-assessment-report-working-group-i/>
- Intergovernmental Panel on Climate Change. (2022). *Climate change 2022. Impacts, adaptation and vulnerability*. <https://www.ipcc.ch/report/sixth-assessment-report-working-group-ii/>
- Kosmas, C., Kirkby, M. J., Geeson, N., & (Eds.). (1999). *Medalus Project: Mediterranean Desertification and land use. Manual on key indicators of desertification and mapping environmentally sensitive areas*. <http://www.comap.ca/kmland/display.php?ID=253&DISPOP=VRCPR>
- Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación. (s. f.). *El agro en cifras 2016*. <https://www.maga.gob.gt/download/El%20agro16.pdf>
- Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación. (2002). *Cartografía y análisis de la vulnerabilidad a la inseguridad alimentaria en Guatemala*. <https://www.maga.gob.gt/download/cartografia-guate.pdf>
- Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación. (2009). *Mapa de cuencas hidrográficas a escala 1:50 000 República de Guatemala método de Pfafstetter (primera aproximación)*. Unidad de Planificación Geográfica y Gestión del Riesgo.
- Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación. (2014). *Uso del suelo y cobertura vegetal 2012* [Shape].
- Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación. (2016). *Mapa de cobertura vegetal y uso de la tierra del departamento de Guatemala* [Mapa].
- Naciones Unidas. (2015). *Acuerdo de París*. https://unfccc.int/sites/default/files/spanish_paris_agreement.pdf
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2017). *Aquastat*.
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2019). *Degradación del suelo*. <http://www.fao.org/soils-portal/soil-degradation-restoration/es/>

- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2021). *Riego por país: Guatemala*. <http://www.fao.org/aquastat/es/geospatial-information/global-maps-irrigated-areas/irrigation-by-country/country/GTM>
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura y Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación. (2012). *Vulnerabilidad a la inseguridad alimentaria en Bolivia. Análisis y cartografía* (Vol. 4).
- Pons, D., Castellanos, E., Conde, D., Brincker, J., Incer, D. y López, A. (2018). Escenarios de aridez para Guatemala para los años 2030 , 2050 y 2070 utilizando modelos de cambio climático. *Yu'am*, 2(4), 4-16.
- Prăvălie, R., Săvulescu, I., Patriche, C., Dumitrașcu, M., & Bandoc, G. (2017). Spatial assessment of land degradation sensitive areas in southwestern Romania using modified MEDALUS method. *Catena*, 153, 114-130. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2017.02.011>
- Rivera, P. F., Bardales Espinoza, W. A., y Ochoa, W. (2019). Escenarios futuros de cambio climático para Guatemala. En E. J. Castellanos, A. Paiz-Estévez, J. Escribá, M. Rosales-Alconero, & A. Santizo (Eds.), *Primer reporte de evaluación del conocimiento sobre cambio climático en Guatemala*. Editorial Universitaria, Universidad del Valle de Guatemala.
- Rodríguez, M. (2014). *Evaluación del consumo de agua potable en la zona 10 de la ciudad de Guatemala en los años 2008-2010*. [Tesis de licenciatura, Universidad de San Carlos de Guatemala].
- Salvati, L., & Bajocco, S. (2011). Land sensitivity to desertification across Italy: Past, present, and future. *Applied Geography*, 31(1), 223-231. <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2010.04.006>
- Secretaría de Planificación y Programación de la Presidencia. (s. f.). *Infraestructura de datos espaciales de Guatemala*. Consultado en 2018: <http://ideg.segeplan.gob.gt/geoportal/>
- Secretaría de Planificación y Programación de la Presidencia. (2006). *Estrategia para la gestión integrada de los recursos hídricos de Guatemala: Diagnóstico*.
- Secretaría de Planificación y Programación de la Presidencia. (2011). *Política Nacional del Agua de Guatemala y su Estrategia*.
- Sistema Guatemalteco de Ciencias del Cambio Climático. (2019). *Primer reporte de evaluación del conocimiento sobre cambio climático en Guatemala*. Castellanos, E.; Paiz-Estévez, A.; Escribá, J.; Rosales-Alconero, M. y Santizo, A. (eds). Editorial Universitaria UVG. <https://sgccc.org.gt/category/reporte-de-cambio-climatico-guatemala/>

CAPÍTULO 5

ESTADO

Aguas superficiales y subterráneas



El quinto capítulo de este informe incluye una reseña sobre la disponibilidad de agua en la RMG y presenta información sobre las aguas subterráneas de la RMG (acuíferos, comportamiento, calidad, abastecimiento) y superficiales (dinámica, calidad, balance hídrico).

5.1 AGUAS SUPERFICIALES

En esta sección se presenta información sobre el monitoreo hídrico de las aguas superficiales de las subcuencas del río Villalobos y el río Las Vacas, regiones de la RMG para las cuales existe información. El análisis incluye la dinámica de los caudales, calidad, el balance hídrico y la modelación hidrológica. Asimismo, se discute el estado de los recursos hídricos del lago de Amatitlán y otros cuerpos de agua superficiales menores.

5.1.1 SUBCUENCA RÍO VILLALOBOS

A continuación, se presenta la información disponible sobre el estado de las microcuencas pertenecientes a la subcuenca del río Villalobos.

5.1.1.1 Dinámica de los caudales

De acuerdo al Fondo Mundial para la Naturaleza [WWF] (2016a), la subcuenca del río Villalobos se divide en dos unidades hidrológicas en función del origen de sus aguas, la primera ubicada en la parte noroeste (cerro Alux) y la segunda en la parte noreste (cerro Pinula), cada una con cuatro microcuencas (cuadro 7 y figura 31).

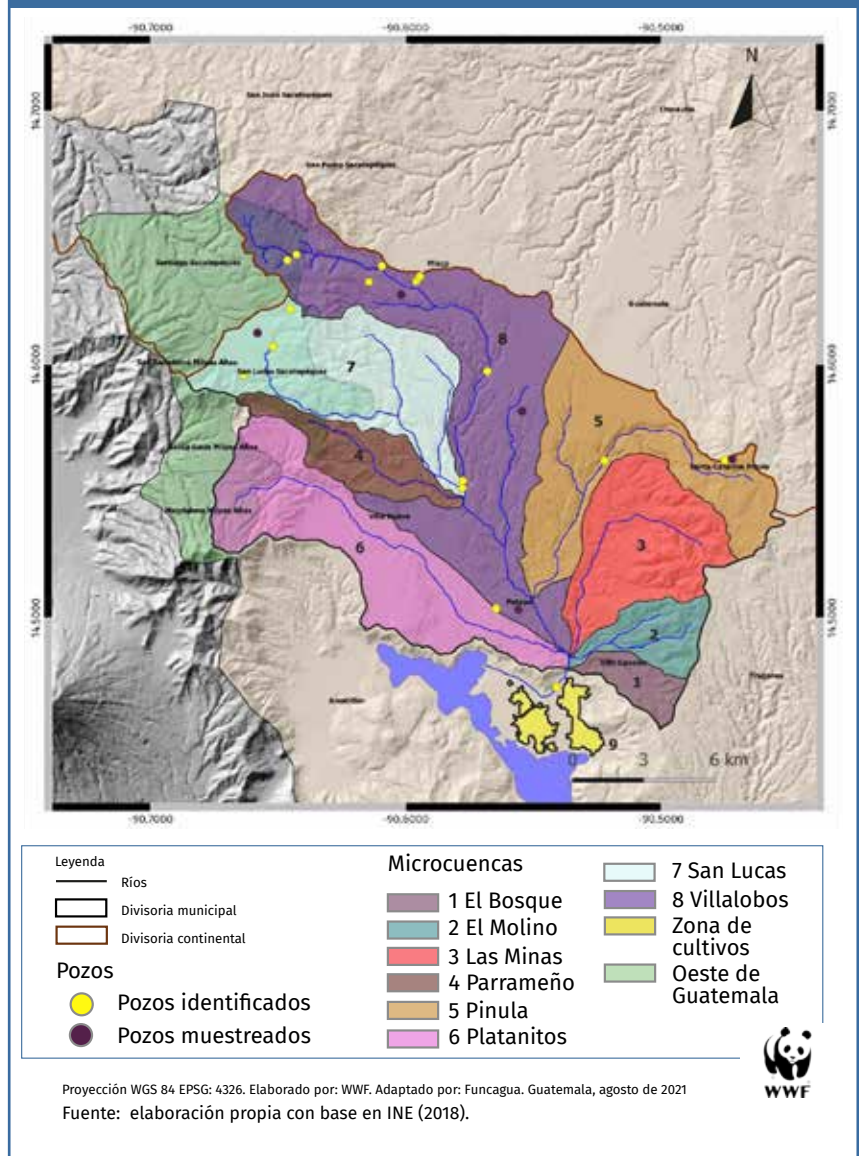
²² Las unidades hidrológicas mayores corresponden a las áreas donde se originan los recursos hídricos superficiales que, en el caso de la zona sur de la RMG, son los cerros Alux y Pinula.

Cuadro 7. Microcuencas de la subcuenca del río Villalobos

No.	Microcuenca	Unidad hidrológica mayor ²²	Área (ha)	Área %
1	Villalobos	Cerro Alux río Villalobos (20 744.73 ha, 67 %)	9181.45	29.64
2	San Lucas		4685.69	15.13
3	Parrameño		1676.19	5.41
4	Platanitos		5201.40	16.79
5	Pinula	Cerro Pinula río Pinula (10 229.17 ha, 33 %)	4750.62	15.34
6	Las Minas		3559.67	11.49
7	El Molino		1188.66	3.84
8	El Bosque		730.22	2.36
Total			30 973.90	100.00

Fuente: Fondo Mundial para la Naturaleza [WWF] (2017a).

Figura 31. Microcuencas de la subcuenca del río Villalobos



Durante los meses de junio a noviembre de 2016 y febrero a mayo de 2017 se realizó el monitoreo hídrico superficial de ocho sitios para los tributarios del río Villalobos que fueron definidos por el Fondo Mundial para la Naturaleza (2016 a y b) e incluyen un sitio en el río Chilayón (San Lucas Sacatepéquez), dos en el río Pansalic (Santiago Sacatepéquez y Mixco), tres en el río Villalobos (ciudad capital, Villa Nueva y Villa Canales), uno en el río San Lucas (Villa Nueva) y uno en el río Pinula (ciudad capital) (anexo 9).

Algunos de los principales resultados de este monitoreo se resumen a continuación:

Los aforos realizados durante 10 meses mostraron que en un tramo del río Villalobos se está produciendo infiltración. Es importante mencionar que en la parte baja de este río se ubica un sistema de bombeo que se utiliza para suministrar agua de riego por inundación a un cultivo extensivo de caña (principalmente en la época seca y cuando se requiera) (figura 32).

El 43 % del uso del suelo de la unidad hidrológica para 2012 era urbano (MAGA, 2014), lo cual provoca caudales instantáneos en los eventos de lluvia de alta intensidad. Los mayores caudales registrados se

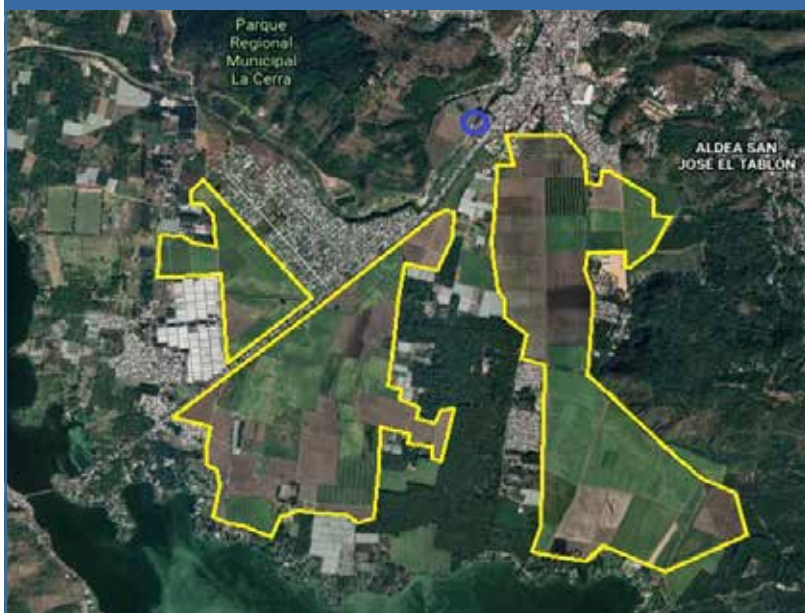
dieron en los meses de septiembre de 2016 y mayo de 2017 (Fondo Mundial para la Naturaleza, 2017b y c) (anexo 10), así como en los meses de julio y octubre de 2019, y agosto de 2020 (van Tuylen, 2020).

El análisis del aforo diferencial (distancia entre sitios de 5 km aproximadamente) en los sitios de muestreo de Las Charcas y puente Villalobos, indica que en esta sección los caudales se reducen durante varios meses, con lo cual se puede concluir que el río es influente, a un promedio de infiltración

anual del 12 % del caudal (lo cual representa un volumen anual estimado de 3 millones de m³ aproximadamente, equivalente a 95 l/s). Por esta razón, el agua contaminada puede alcanzar el manto freático.

Para los caudales medidos en la parte baja del río Villalobos se consideran las aguas residuales que se originan del suministro de agua proveniente del proyecto Xayá y Pixcayá (1209 l/s, según Funcagua, 2018) y la extracción de agua subterránea (6057 l/s aproximadamente, según Iarna y TNC, 2013). Se es-

Figura 32. Ubicación del área de cultivo de caña de azúcar próximo a la microcuenca del río Villalobos



Nota. Círculo azul: estación de bombeo y polígonos amarillos: área de caña aproximada.

Fuente: elaboración propia con imagen de Google Earth.

tima que el 90 %²³ de este caudal (agua para consumo humano) se convierte en aguas residuales, lo cual equivale a 6539 l/s)²⁴.

5.1.1.2 Calidad del agua

A. Unidades hidrológicas Alux y Pinula

El río Pansalic en su parte más alta (cerro Alux) tiene buena

calidad visual, la cual cambia considerablemente al hacer su recorrido por Mixco. Lo mismo sucede con el río Pinula, cuya calidad cambia bruscamente al recorrer Boca del Monte. El análisis general de calidad del agua superficial en la subcuenca del río Villalobos para 2017 se muestra en el cuadro 8.

En el caso de los sitios del río Villalobos (Puente Villalobos y

Lagunas de AMSA), se analizaron los siguientes elementos y compuestos químicos: arsénico (As), cadmio (Cd), cianuro (CN⁻), cobre (Cu), cromo (Cr), mercurio (Hg), níquel (Ni), plomo (Pb) y zinc (Zn). En ambos sitios de muestreo se cumplieron con los límites permisibles según el Reglamento de Aguas Residuales (Acuerdo gubernativo 236-2006) (Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales [MARN], 2006).

Cuadro 8. Resumen de resultados, análisis de aguas. Cuenca Villalobos, mayo de 2017

Parámetro	Dimensional	Límites máximos permisibles 236-2006**	Río Pansalic 2075 m s. n. m.	Río Villalobos (Las Charcas) 1400 m s. n. m.	Río Villalobos (Puente Villalobos) 1300 m s. n. m.	Río Villalobos (Lagunas de AMSA) 1200 m s. n. m.
Demanda química de oxígeno (DQO)*	mg O ₂ /L		<25.0	597.0	132.0	160.0
Demanda bioquímica de oxígeno (DBO)*	mg O ₂ /L	450	3.0	420.0	100.0	90.0
Sólidos sedimentables*	ml/L		0.1	300.0	1.0	2.0
Materia flotante		Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente
Grasas y aceites	mg/L	25	8.0	32.8	44.0	20.0
Sólidos en suspensión*	mg/L	150	80.0	4950.0	130.0	210.0
Nitrógeno total	mg/L	25	6.5	5.5	6.8	142.3
Fósforo total	mg/L	15	0.03	0.2	<0.00079	<0.00079
Temperatura (medida <i>in situ</i>)	°C		17.7	23.5	27.3	24.9
Temperatura (medida <i>in situ</i>)	°C		17.6	23.4	27.2	24.9

Nota: * Análisis acreditados conforme a la norma de la Comisión Guatemalteca de Normas (Coguanor) NTG/ISO/IEC/17025. Acuerdo gubernativo 236-2006 (Reglamento de Aguas Residuales). **Fecha cumplimiento: 2 de mayo de 2020. Escala de color: verde = menor al límite máximo permisible, rojo = mayor al límite máximo permisible.

Fuente: FQBLab (2017).

²³ Algunos especialistas indican que puede ser el 95 % o hasta el 100 % del agua potable.

²⁴ Los datos que se presentan en este informe se basan en diferentes fuentes de información generada durante distintos periodos de tiempo, pues provienen mayormente de proyectos que no son permanentes, por lo que no necesariamente existe continuidad en cuanto a la producción de dichos datos.

En la figura 33 pueden observarse los sitios de muestreo, donde el punto de color verde «buena calidad», representa el inicio del recorrido del río monitoreado, el cual se encuentra ubicado en el área rural de Santiago Sacatepéquez.

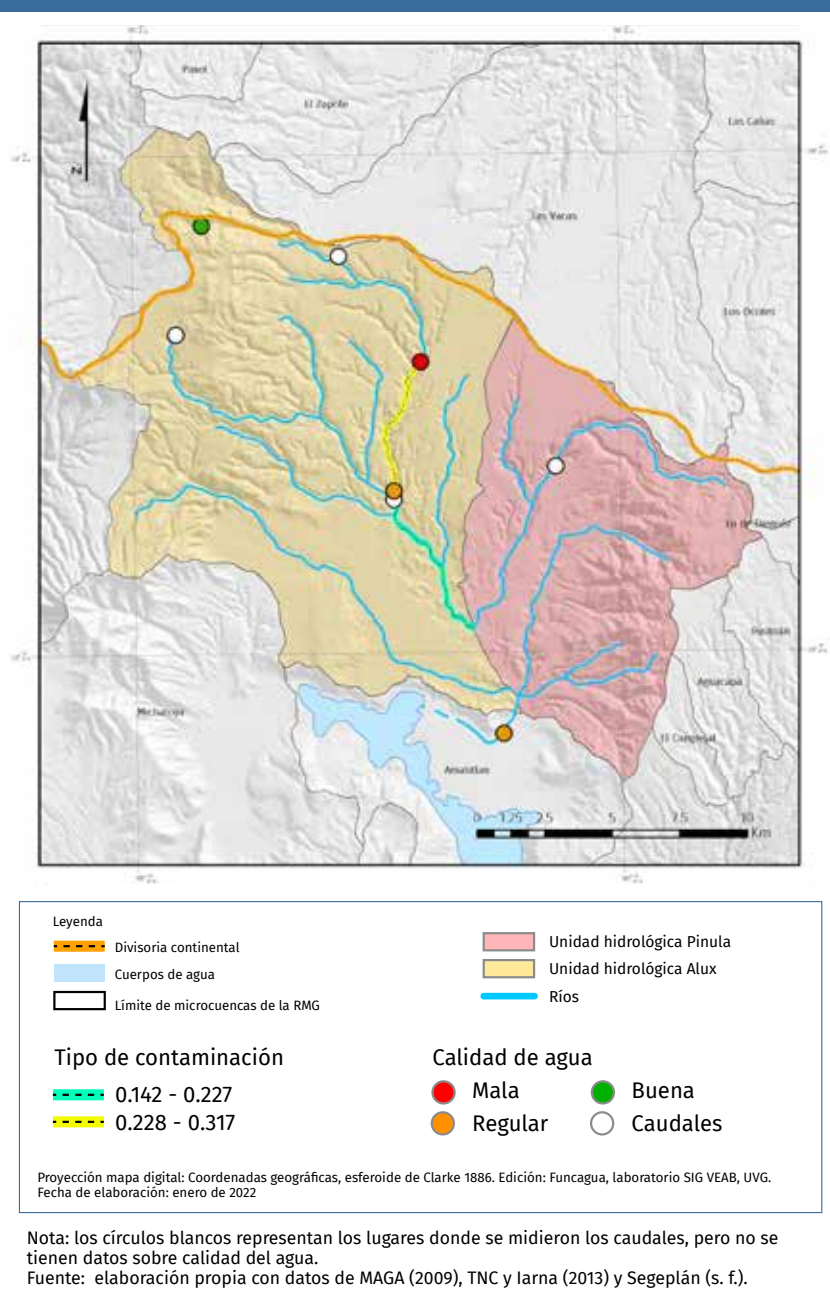
A continuación, se observa un sitio de color rojo, que indica «mala calidad», presumiblemente por la carga contaminante que proviene de Mixco y del área urbana de la calzada Roosevelt hasta Las Charcas. Posteriormente, se aprecian dos puntos amarillos que indican una «calidad regular del agua», la cual mejora principalmente antes de su desembocadura al lago de Amatitlán, principalmente por los aportes de ríos como Chilayón y Pinula, que tienen menos carga contaminante.

B. Características de las aguas superficiales tras recibir los vertimientos en los ríos tributarios al Villalobos y lago de Amatitlán

Las campañas de monitoreo realizadas por la Autoridad para el Manejo Sustentable de la cuenca y del lago de Amatitlán (AMSA) en los años 2015, 2018 y 2019, han corroborado que la calidad de los ríos tributarios al Villalobos y del lago de Amatitlán presentan altos niveles de contaminación.

La figura 34 y los anexos 11 y 12 presentan un detalle de estos resultados. El índice de calidad del agua (ICA) de los ríos Frutal, Pinula, Platanitos, San

Figura 33. Índice de calidad del agua (ICA) superficial en las unidades hidrológicas Alux y Pinula



Lucas, Pansalic y Villalobos indica que la calidad es «pésima» (anexo 13).

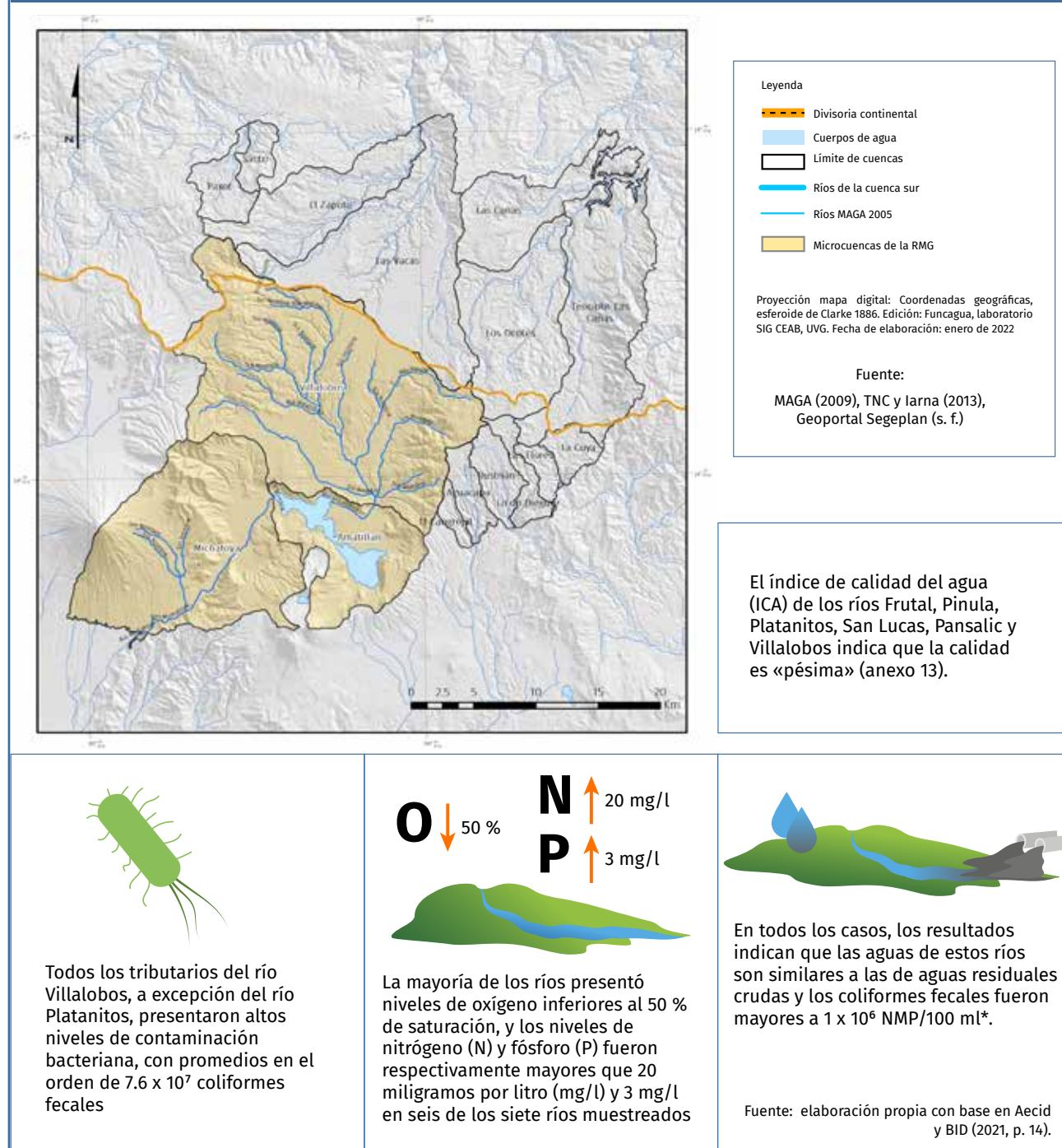
5.1.1.3 Balance hídrico²⁵

De acuerdo con la precipitación promedio en la

²⁵ El balance hídrico se define como la cuantificación de entradas naturales (lluvias), flujo (superficial y subterráneo) y las salidas de agua de un sistema hídrico, tal como una cuenca o territorio determinado. El estudio del balance hídrico natural generalmente se circunscribe a información de años hidrológicos y contempla la evaluación de datos diarios, mensuales o de las estaciones climáticas (lluviosa, seca, fría, etc.).

microcuenca del río Villalobos (1269.2 mm/año), diferentes estudios²⁶ han determinado a nivel general que el 20 % de la lluvia se convierte en recarga hídrica.

Figura 34. Características de las aguas superficiales tras recibir los vertimientos en los ríos tributarios al Villalobos y lago de Amatitlán



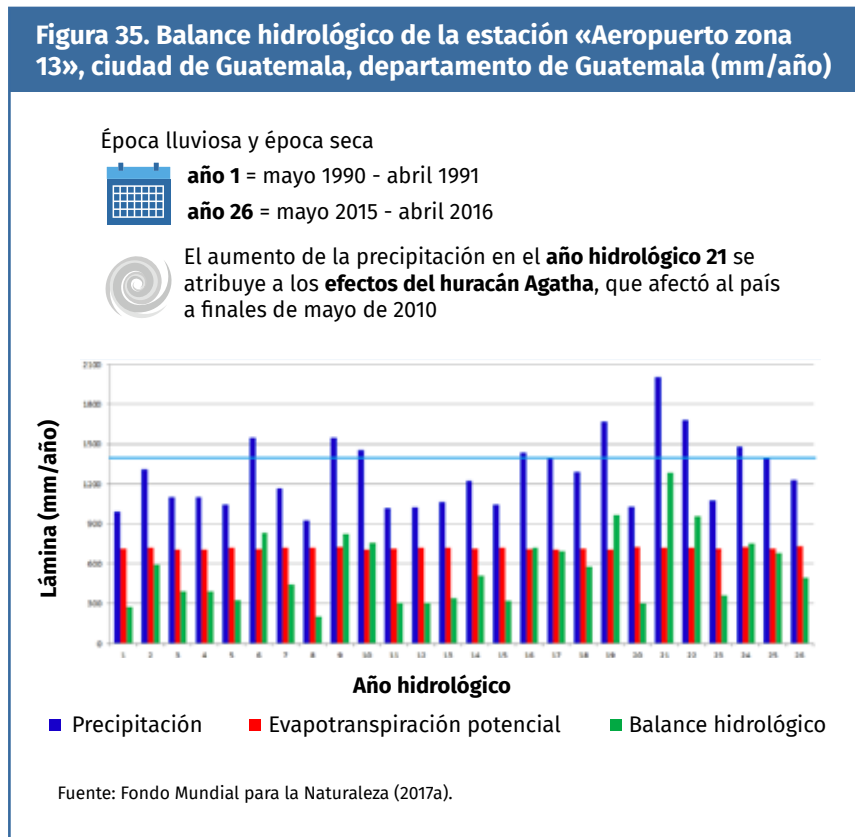
²⁶ El 21.43 % de la precipitación anual corresponde a recarga hídrica según Ávalos (2008), el 11 % según Manzo (2008), el 33 % según Noriega (2005), y entre 9 % y 22 % según García (2006).

Con la finalidad de actualizar el balance hídrico de la microcuenca del río Villalobos, se utilizó la información de dos estaciones climáticas del Insivumeh: «Aeropuerto zona 13» en la ciudad capital y «Suiza Contenta» en San Lucas Sacatepéquez, por ser las únicas estaciones con información disponible. Ambas son representativas, la primera de la parte media de la microcuenca, y la segunda de la parte alta.

En la figura 35 se puede observar el análisis por año hidrológico (época lluviosa y época seca) de la estación «Aeropuerto zona 13» durante 25 años de registro.

Como se puede observar, los años con mayor balance hidrológico son aquellos donde la precipitación es mayor a 1400 mm al año (línea celeste), y el balance excede la evapotranspiración potencial. Sin embargo, esta disponibilidad hídrica se convierte instantáneamente en escorrentía (debido al uso del suelo urbano), y solamente una pequeña porción se puede convertir en recarga hídrica. El resto de la lluvia se combina con las aguas residuales, perdiendo su calidad, por lo cual ya no es apta para su uso.

Se considera necesario analizar las variaciones mensuales, anuales e interanuales, así como proyectar escenarios de cambio climático donde las condiciones podrían ser más críticas por el aumento de



humedad disponible en poco tiempo, o por la ocurrencia de sequías.

La segunda estación evaluada fue «Suiza Contenta», ubicada en San Lucas Sacatepéquez. Además de encontrarse a mayor altitud que la estación «Aeropuerto zona 13», esta región está menos urbanizada y posee más cobertura vegetal (como bosques), con lo cual se logra una mayor recarga hídrica local. Estos factores contribuyen a una mayor oferta del recurso hídrico, tal como se observa en la figura 36.

El cuadro 9 brinda una aproximación teórica sobre la distribución del agua disponible

(balance hidrológico) para la microcuenca Villalobos, donde el 17 % corresponde a agua superficial (caudales promedio) y el 10 % a aguas subterráneas (recarga hídrica estimada de acuerdo a la precipitación promedio).

Según el cuadro 9, el balance hidrológico de la microcuenca del río Villalobos es de aproximadamente 171 millones de m³/año; sin embargo, Iarna y TNC (2013) reportan que la extracción de agua subterránea en la microcuenca es de 191 millones de m³/año. Con estos datos se deduce que el acuífero está siendo sobre-explotado, lo cual representa un desbalance equivalente a 20 millones de m³/año.

Esto indica que si la unidad hidrológica no puede incorporar agua al acuífero por recarga hídrica natural (si se considera una recarga hídrica teórica de aproximadamente 41 millones m³/año y 171 millones de m³ del balance hidrológico), el desbalance sería de 130 millones m³/año, lo cual representa un problema futuro de disponibilidad de agua subterránea para la región.

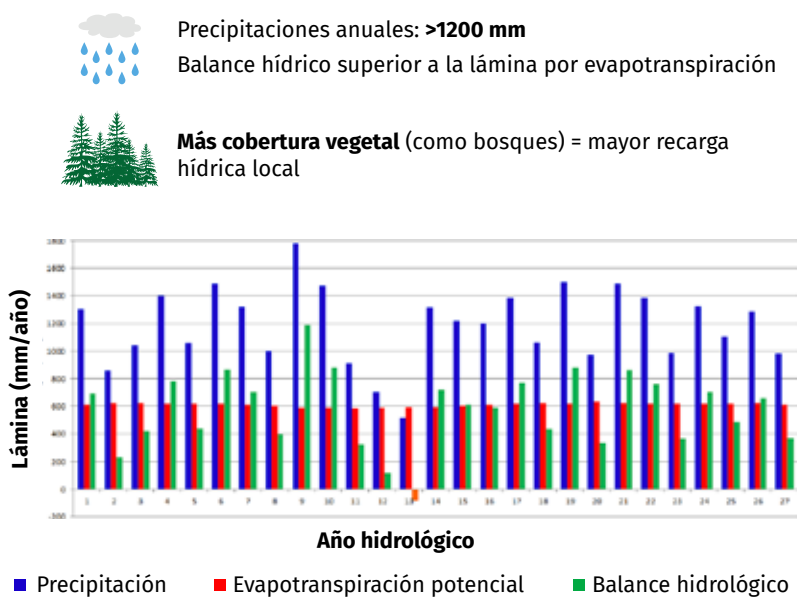
5.1.2 ESTADO DE LA SUBCUENCA DEL RÍO LAS VACAS

La subcuenca tiene una extensión de 36 535 hectáreas (en 10 municipios del departamento de Guatemala), entre altitudes desde 480 m s. n. m. (unión con el río Plátanos) hasta los 1840 m s. n. m. en Muxbal, y 2255 en la cabecera municipal de San Pedro Sacatepéquez; se divide en 33 microcuencas.

Para conocer el balance hídrico de la subcuenca del río Las Vacas, el Observatorio Económico Sostenible (OES) de la Universidad del Valle de Guatemala (UVG)²⁷ realizó una modelación en noviembre de 2020 con las siguientes variables: precipitación, evapotranspiración, escorrentía e infiltración profunda. Se analizaron los datos de precipitación y temperatura (2011 a 2019) de las estaciones del Insivumeh (ciudad capital y

²⁷ La información de esta sección fue tomada de Universidad Del Valle de Guatemala (2020).

Figura 36. Balance hidrológico de la estación «Suiza Contenta», San Lucas Sacatepéquez, departamento de Guatemala (mm/año)



Nota: año 1 (mayo 1990 a abril 1991) y año 26 (mayo 2015 a abril 2016).

Fuente: Fondo Mundial para la Naturaleza (2017a).

Cuadro 9. Balance hídrico de la microcuenca Villalobos, departamento de Guatemala, Guatemala (m³/año, mm/año, l/s y %) (2020)

Variable	Volumen (m ³ /año)	Lámina (mm/año)	Q (l/s)	%
Precipitación	393 610 527	1269.2		100
Evapotranspiración potencial (ETP)	222 073 255	717.0		56
Balance hidrológico	171 537 272			44
Escorrentía (agua superficial)	65 772 208		2091.4	17
Recarga hídrica teórica (aguas subterráneas)	41 051 398		1305.3	10
Diferencia	64 713 665			16

Fuente: Insivumeh (s.f.), Fondo Mundial para la Naturaleza (2017a) y AMSA (s. f.).

Suiza Contenta en San Lucas Sacatepéquez) y la estación de San Pedro Ayampuc, además de caudales diarios (2003 a 2019) de la hidroeléctrica Las Vacas. Los resultados se muestran en el cuadro 10.

Se modeló un escenario para el año 2030, donde la precipitación anual se reduce a 1158 mm para alcanzar un volumen anual de 263 millones de m³, con un aumento de la evapotranspiración anual de 527 mm, equivalente a un volumen anual de 121 millones de m³. La oferta hídrica se reduce a un 60 %, correspondiente a un volumen anual de 188 millones de m³.

5.1.2.1 Características de las aguas superficiales tras recibir los vertimientos en el río Las Vacas

El río Las Vacas es tributario de la cuenca del río Motagua y se ve afectado por los residuos provenientes de la parte norte de la ciudad. Los parámetros de calidad fisicoquímica de este río para el 2003 se resumen en el anexo 14.

En resumen, la calidad del segmento del río donde ocurren las descargas de la ciudad de Guatemala se considera pésima según el índice simplificado de calidad del agua (ISQA)²⁸. Posterior a este punto, el río permanece con calidad regular (Aecid y BID, 2021).

²⁸ Los datos para 2003 indican que, tras el paso por la descarga del colector, la DBO5 incrementa de 16 a 300 mg/L.

Cuadro 10. Balance hídrico de la subcuenca río Las Vacas

Variable	Millones m ³ /año	Variable	Lámina mm/año	Caudales (Q = l/s)
Precipitación	431		1285	
Evapotranspiración	107		319	
Balance hidrológico	324		966	
Escorrentía	52	Oferta hídrica (total)	312	1623
Recarga hídrica	203			6455
Infiltración profunda	57			1812

Fuente: UVG (2020).

El agua con las características reportadas produce condiciones anaerobias y de putrefacción, malos olores, reduce la flora y la fauna acuáticas, aumenta la mortalidad de los peces, impide los usos benéficos de los cuerpos de agua (entre ellos el potencial uso para la agricultura y la recreación), desencadena la eutrofización y la producción de cianobacterias con efectos tóxicos en la fauna acuática y la salud humana. Asimismo, incrementa el riesgo para la salud por contagio de enfermedades parasitarias y de origen bacteriano, especialmente en niños menores de 10 años.

En general, el agua no es apta para cualquier contacto humano directo o indirecto (Aecid y BID, 2021).

5.1.3 ESTADO DEL RÍO LA CAMPANA

La microcuenca La Campana se considera la segunda más grande del país. Cuenta con una disponibilidad de agua de 6545 millones de m³ y un cau-

dal promedio de 207.54 m³/s. Se encuentra ubicada en la subcuenca del río Las Vacas, cuenca del río Motagua (Centeno, 2017).

Un estudio sobre la calidad ecológica de los recursos hídricos del río La Campana (o río Negro), en la Reserva Natural Voluntaria Parque Jungla Urbana²⁹, ubicada en la microcuenca del río La Campana, determinó que el 98 % de los afluentes está contaminado (Centeno, 2017).

Los resultados del estudio mostraron que la calidad del río y las quebradas es pobre, la del bosque de ribera es pésima y la del agua es crítica, lo que sugiere que está fuertemente contaminado (Centeno, 2017).

5.1.4 ESTADO DEL LAGO DE AMATITLÁN

La situación actual del estado del lago de Amatitlán se resume en las figuras 37, 38 y 39.

²⁹ Ubicado en la Colonia Vista Hermosa II, zona 15 de la ciudad capital.

Figura 37. Características del lago de Amatitlán

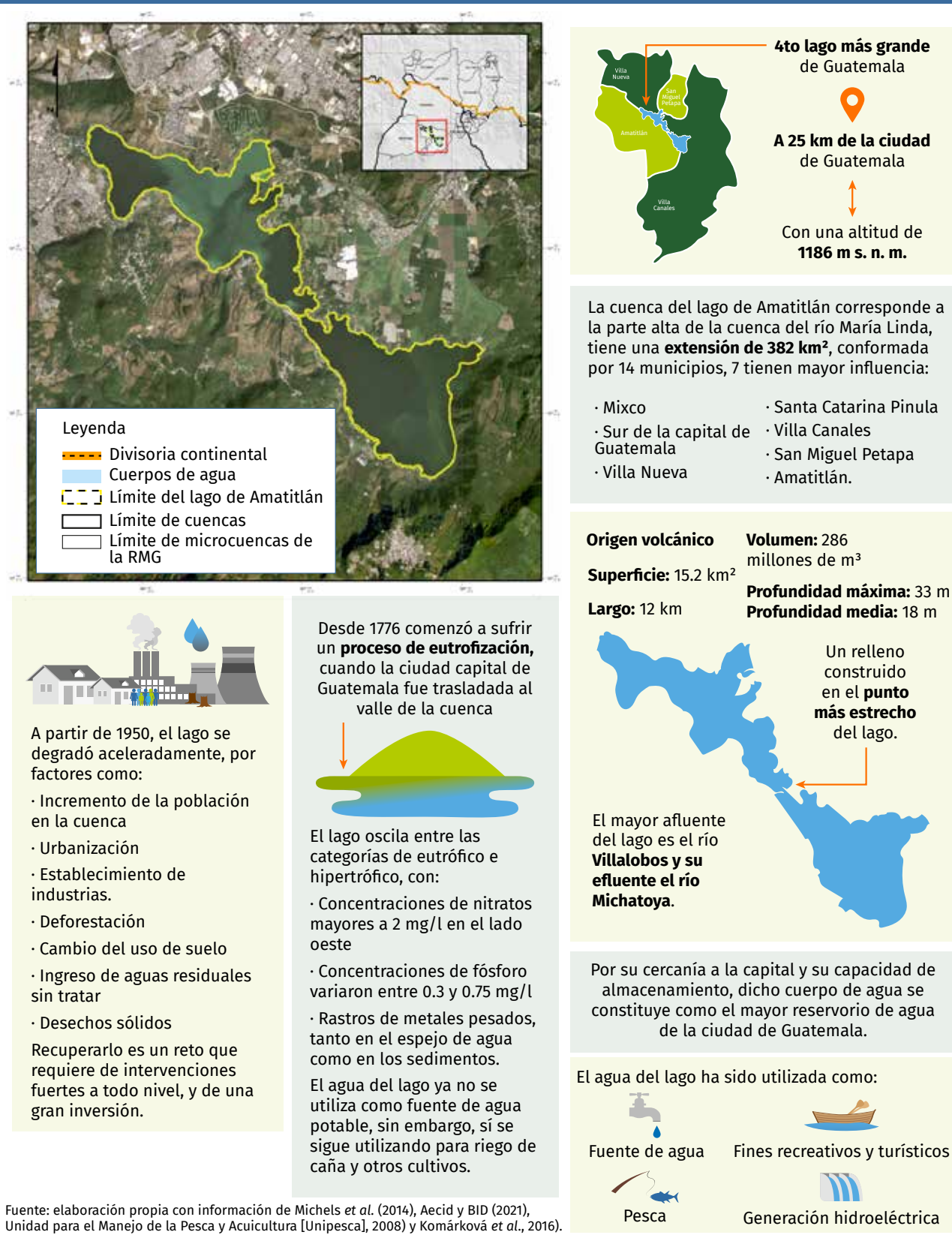


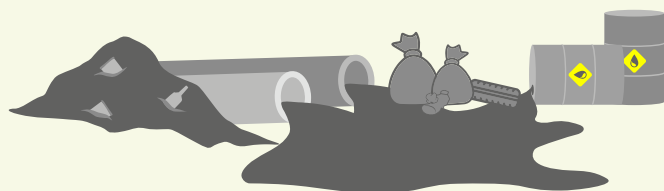
Figura 38. Principales problemáticas que contribuyen al deterioro de la cuenca y el lago de Amatitlán y sus servicios ecosistémicos

Principales problemáticas que contribuyen al deterioro de la cuenca, el lago y sus servicios ecosistémicos

Descargas de aguas residuales domésticas e industriales sin tratamiento o con tratamiento deficiente a los ríos que drenan la cuenca y que tienen como destino final el lago de Amatitlán.



- **50 %** de las aguas residuales **de la ciudad capital** y **100 %** de los **municipios de la zona** descargan en la cuenca del lago.
- **3480 entes generadores** de aguas residuales en la cuenca.
- Únicamente existen **121 plantas de tratamiento**, pero no todas operan o finalizaron su construcción. De las que operan, sus sistemas son deficientes, funcionan para servir una población mayor a la planificada, no tienen mantenimiento adecuado o no llegan hasta la etapa de desinfección.
- Aunque la mayoría no operan (se desconoce su estado de mantenimiento y si cumplen con la normativa establecida sobre los límites máximos permisibles).



Disposición inadecuada de desechos sólidos.

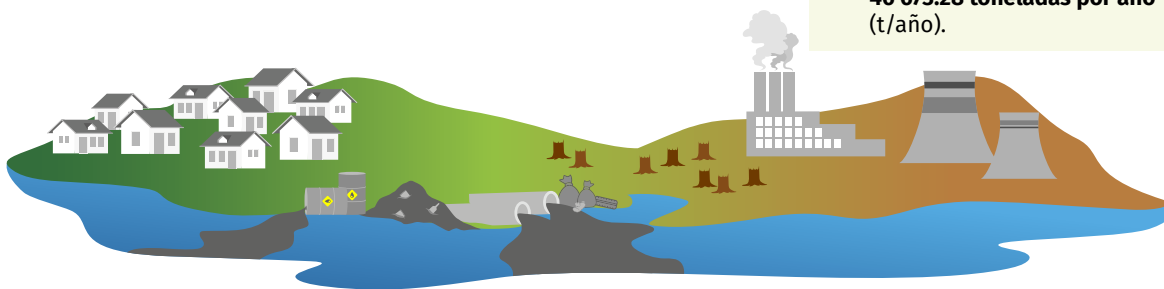
- **179 basureros ilegales** en la cuenca, especialmente en las quebradas de los ríos.
- Anualmente, se extraen alrededor de **39 855 m³ de basura del lago**, que llega arrastrada por el río Villalobos.

Crecimiento urbano y poblacional desordenado, sin control de densidad de ocupación, ni zonificación de usos compatibles.

Deforestación y cambio de uso de suelo para expansión urbana y agrícola.

Desestabilización de los cauces de los ríos, degradación del suelo, erosión y arrastre de sedimentos.

- Se estima que el **aporte promedio del caudal sólido** del río Villalobos equivale a **46 673.28 toneladas por año (t/año)**.



Falta de políticas públicas efectivas que garanticen la conservación y recuperación del ecosistema terrestre y acuático.



Contaminación industrial

- En la cuenca existen más de **900 industrias** de diferentes ramas: textiles, químicas, metalúrgicas, alimenticias, plástico, hule, caucho, yeso, cerámica y madera, entre otras.
- Hay presencia de **metales pesados** (mercurio, plomo, níquel, cadmio, zinc, cromo y cobre).
- Hay presencia de **contaminantes provenientes de la industria farmacéutica, productos de cuidado personal, agroquímicos y derivados plásticos**, entre otros (por ejemplo, más recientemente **mascarillas y otros insumos médicos** derivados de la pandemia COVID-19).

Fuente: van Tuylen (2021).

Figura 39. El valor total del lago

Pape e Ixcot (1998) estiman que el valor de uso estimado del lago es de GTQ 47 863 161 por año, basado en los usos que se le dan al mismo:



Valor total:

$$\text{valor de uso} + \text{valor de opción de la calidad de agua que se seleccione} + \text{valor existencia} = 63 \text{ millones de quetzales anuales (aprox.)}$$

Fuente: elaboración propia con base en Pape e Ixcot (1998).

5.2 AGUAS SUBTERRÁNEAS

El conocimiento y la evaluación de los recursos hídricos existentes en el subsuelo, así como la posibilidad de su captación y explotación en un

contexto de aprovechamiento sostenible son esenciales para garantizar la disponibilidad de agua subterránea en una zona o región determinada (Escuder *et al.*, 2009). Los recursos de agua subterránea no pueden sostenerse si la extracción excede la capacidad de recar-

ga natural del sistema (Poeter *et al.*, 2020), el cual almacena agua subterránea en diferentes formaciones geológicas conocidas como acuíferos.

Los acuíferos pueden ser aprovechados para diversos usos, como se muestra en la figura 40. Sin embargo, cuando la cantidad de agua extraída excede la recarga natural, los niveles de agua subterránea disminuyen hasta que finalmente el recurso se agota o desaparece de los poros de los acuíferos.

La presente sección se basa en diferentes estudios realizados sobre el tema en la RMG. La información fue analizada por municipio³⁰, aunque también los resultados se asocian a nivel de cuenca hidrogeológica.

5.2.1 ACUÍFEROS ASOCIADOS A LA REGIÓN METROPOLITANA DE GUATEMALA (RMG)

Los estudios sobre acuíferos realizados en la RMG han sido frecuentes, pero aislados, y se han enfocado en zonas específicas (usualmente en la ciudad o valle de Guatemala). Entre los más completos se encuentra el estudio de aguas subterráneas del Insivumeh

³⁰ Los pozos analizados son municipales y su uso es exclusivamente para consumo humano, por lo cual quedaron fuera del análisis todos aquellos pozos (municipales y privados) que estén siendo utilizados para otros fines, como la agricultura, la industria, el comercio y/o la recreación.

et al. (1978), que se realizó con el propósito de establecer cualitativa y cuantitativamente el recurso de agua subterráneo en el valle de Guatemala. Su área de estudio comprendió una superficie de 805.81 km², la cual estaba separada hidrográficamente por la divisoria continental de aguas del país en dos grandes cuencas: la Cuenca Norte o del río Las Vacas (con una extensión de 235.04 km²) y la Cuenca Sur o del río Michatoya (con una extensión 570.57 km²).

Posteriormente en 1995, la Agencia de Cooperación Internacional del Japón (JICA) y el Infom, llevaron a cabo el estudio sobre el *Desarrollo de las aguas subterráneas en el altiplano central de la República de Guatemala* (JICA e Infom, 1995). Su principal objetivo fue formular un plan de desarrollo

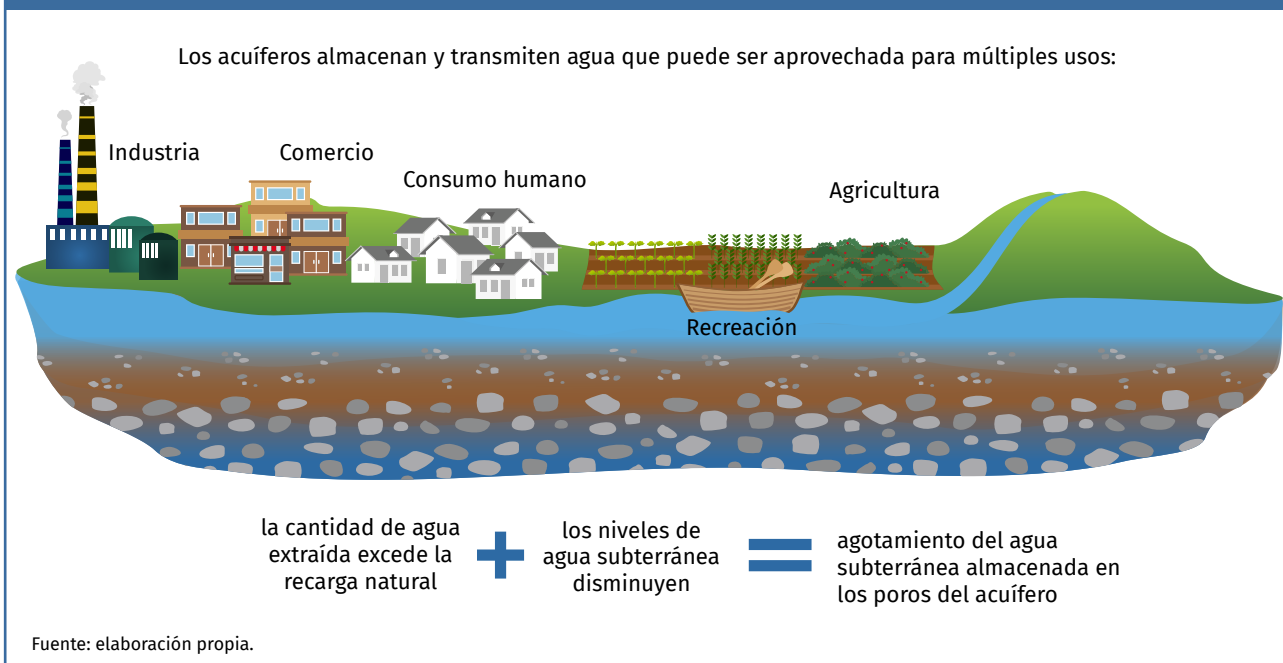
de los recursos hídricos capaz de satisfacer la demanda creciente de los municipios propuestos en el estudio. En el mismo se indica que el territorio nacional se divide en tres zonas geológicas y geográficas: la llanura costera en la parte sur, el altiplano central (área del estudio) y la planicie boscosa en el norte. El área fue dividida en nueve cuencas principales, correspondientes casi a las cuencas subterráneas, y dentro de las cuales se encuentra la cuenca del río Las Vacas.

En el 2013, el Iarna, de la Universidad Rafael Landívar y TNC, elaboraron el documento *Bases técnicas para la gestión del agua con visión de largo plazo en la zona metropolitana de Guatemala*, donde, entre otros análisis, se realizó una caracterización hidrogeológica

de la zona metropolitana de Guatemala. En el estudio se indica que en el denominado valle de Guatemala (que técnicamente es una depresión tectónica de tipo graben) existen varias formaciones geológicas, con sus particularidades en el ámbito de la hidrogeología y de los recursos hídricos subterráneos. Se describieron al menos seis formaciones geológicas presentes en las cuencas de la zona metropolitana, que están constituidas por rocas volcánicas (extrusivas e intrusivas) y sedimentarias (Iarna y TNC, 2013).

Asimismo, se señala la presencia de tres diferentes tipos de acuíferos: (I) acuíferos en rocas volcánicas fracturadas (Terciario), que se constituyen como la unidad hidrogeológica con el mayor acuífero de la zona metropolitana; (II) acuíferos en

Figura 40. Tipos de aprovechamiento de acuíferos



rocas sedimentarias karstificadas y fracturadas (Cretácico), cuya estructura propicia una permeabilidad secundaria por fracturación y, en ciertos casos, por algún grado de karstificación, conformando acuíferos en calizas y (III) acuíferos en rocas sueltas del periodo Cuaternario (rellenos volcánicos, sedimentos y aluviones cuaternarios), que conforman el acuífero superior de la zona metropolitana (Iarna y TNC, 2013).

El *Estudio hidrogeológico de los acuíferos volcánicos de la República de Guatemala* (Herrera et al., 2016) se orientó en la elaboración de mapas temáticos de hidrogeología de los principales acuíferos volcánicos del país a escala 1:100 000. En el estudio se indica que las cuencas hidrogeológicas corresponden en gran medida a las cuencas hidrográficas, principalmente por compartir condiciones de simetría hidráulica y paralelismo geomorfológico, por lo que se realizó la división a nivel de tres cuencas: (1) cuenca norte o del río las Vacas, con una extensión de 180 km², (2) cuenca noreste de los ríos los Ocotes-Teocinte, con una extensión de 198.72 km² y (3) cuenca sur o del río Villalobos, con una extensión de 346.36 km².

En total, la extensión de las tres cuencas suma 725.08 km².

Herrera (2018)³¹ sustenta la presencia de dos grandes cuencas hidrogeológicas (la norte y la sur), delimitadas por el parteaguas o línea divisoria continental (Pacífico/Atlántico). Estas están asociadas a varios acuíferos en la RMG, siendo los más citados: el acuífero norte (asociado a la cuenca del río las Vacas), el acuífero sur (asociado a la cuenca del río Villalobos) y el acuífero noreste (asociado a la cuenca de los ríos los Ocotes-Teocinte).

Todos los estudios citados concuerdan que las cuencas hidrogeológicas asociadas a la RMG corresponden principalmente a las cuencas hidrográficas, en especial de los ríos Las Vacas y Villalobos, ubicadas al norte y al sur respectivamente del denominado valle de Guatemala, y que están limitadas por el parteaguas continental (Pacífico/Atlántico) que, de acuerdo con Herrera (2016), tiene orientación de noroeste a sureste, y presenta un relieve tectónico alto con elevaciones entre 1500 a 1600 m s. n. m. en la parte central, mientras que en las partes al noreste y noroeste las eleva-

ciones son mayores de 2000 m s. n. m. Los estudios también coinciden en que, por la naturaleza de la zona, existen acuíferos libres, colgados, semi confinados y confinados, que hacen del valle una zona multiacuíferos (Iarna y TNC, 2013).

Definir los límites hidrogeológicos y flujos subterráneos de las diferentes cuencas hidrogeológicas asociadas a la RMG permite, junto con el análisis de la recarga y extracción del agua subterránea, determinar con mayor precisión la existencia de sobreexplotación de los acuíferos. De tal cuenta que, como indican Herrera y Orozco (2010), cualquier explotación continua de aguas que exceda la recarga natural está acompañada por un descenso continuo de niveles, que causará una disminución continua en los caudales de los pozos y en las salidas de los acuíferos.

Es importante hacer esta aclaración antes de abordar los siguientes apartados ya que, a pesar de que el análisis de los niveles piezométricos se presenta por municipio, los pozos estudiados están ubicados en los diferentes acuíferos asociados a la RMG, pero no necesariamente dentro de los límites de cada municipio, pues

³¹ En su estudio: *Sobreexplotación de las aguas subterráneas en la cuenca norte de ciudad de Guatemala*, este mismo autor indica que el valle donde se asienta la ciudad es un graben o fosa tectónica, donde existen tres acuíferos que corresponden a tres cuencas hidrográficas, que en su conjunto hacen un total de 775 km², siendo estas: (1) la cuenca del río las Vacas al norte, con 229.83 km², que incluye sectores de La Florida (zona 19), Calzada San Juan, el Trébol, Los Próceres y Vista Hermosa, cubriendo las zonas 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 15, 16 y 18, parte de San Pedro Sacatepéquez, Chinautla y San Antonio Las Flores; (2) la cuenca de los ríos los Ocotes-Teocinte al noreste, con 198.72 km², que incluye las zonas 7, 11, 12, 13, 14 y 21 del municipio de Guatemala, así como Mixco, ciudad San Cristóbal, Villa Nueva, San Miguel Petapa, Villa Canales y Santa Catarina Pinula; y (3) la cuenca del río Villalobos y el lago de Amatitlán al sur, con 346 km², que incluye las zonas 15, 16, 17, 18 y 24 del municipio de Guatemala y parte de Santa Catarina Pinula, San José Pinula y Palencia.

en algunos casos los pozos se ubican geográficamente en un municipio, pero abastecen a otro, por lo que los acuíferos pueden ser compartidos.

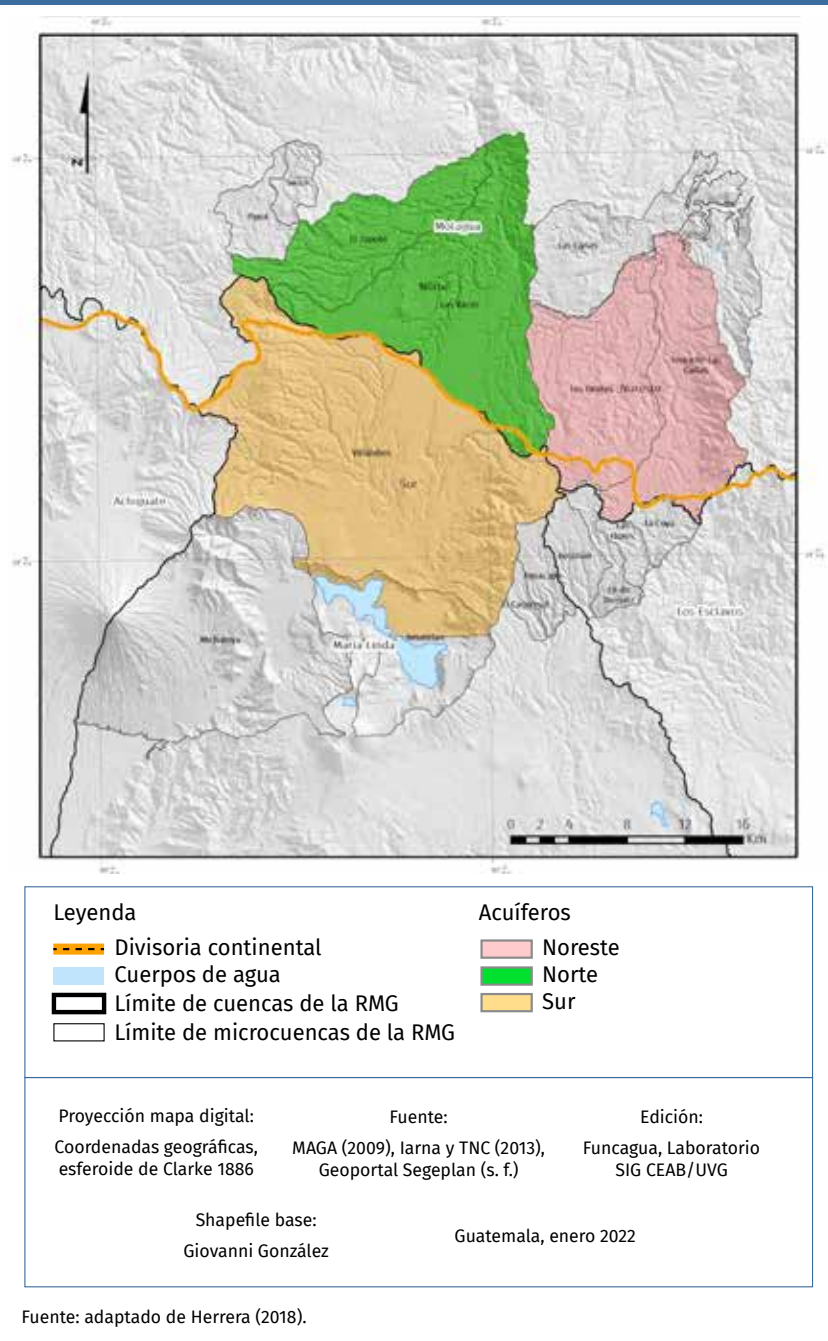
En la figura 41 se presenta el mapa de cuencas hidrogeológicas realizado por Herrera *et al.* (2016), que ha sido adaptado con el fin de ilustrar los acuíferos asociados a la RMG. El mapa se seleccionó por integrar, en gran medida, todas las similitudes referidas en los diferentes estudios hidrogeológicos presentados, en cuanto a la ubicación y límites de las cuencas hidrogeológicas e hidrográficas.

Las cuencas noreste y sur del valle de la ciudad de Guatemala comprenden principalmente rocas volcánicas que forman un acuífero importante para las poblaciones del área; mientras que el acuífero norte está constituido principalmente por rocas carbonatadas e intrusivas, con características diferentes (Herrera *et al.*, 2016).

5.2.2 ESTADO DEL AGUA SUBTERRÁNEA EN LA REGIÓN METROPOLITANA DE GUATEMALA (RMG) EN 1978 VS. 2018

Para determinar el estado del agua subterránea en la RMG se realizó un cruce de información entre dos estudios: uno llevado a cabo por el Insivumeh en 1978, y otro realizado por Funcagua en 2018.

Figura 41. Cuencas hidrogeológicas de la ciudad de Guatemala



Del conjunto de pozos considerados para el estudio de aguas subterráneas del valle de Guatemala (Insivumeh *et al.*, 1978), se identificaron 48 que poseían datos completos de profundidad, nivel estático y diámetro de la tubería. La

información sobre estos pozos se relacionó con los datos para el año 2018 obtenidos por Funcagua en el estudio de niveles piezométricos de pozos de agua para los municipios de la Mancomunidad Gran Ciudad del Sur (MGCS), donde se regis-

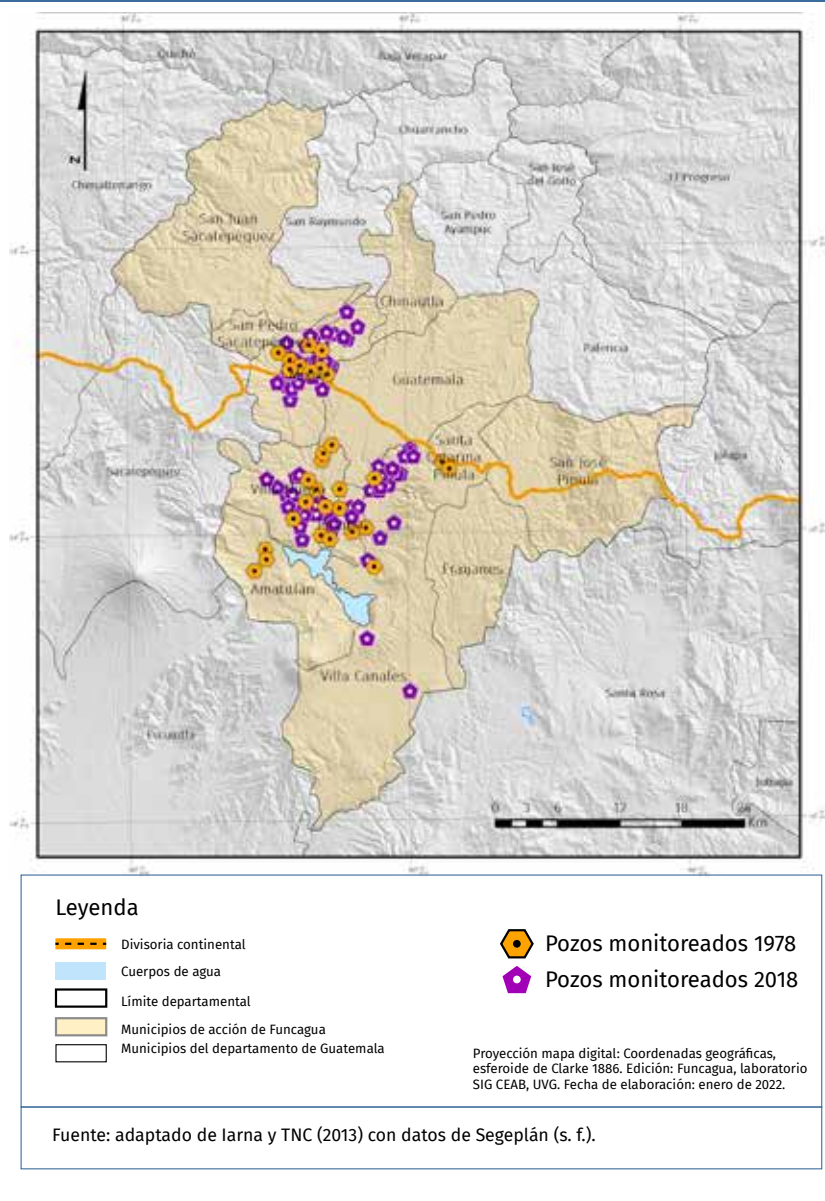
traron 91 pozos municipales en época seca y 128 en época lluviosa, los cuales también poseían datos completos de las tres variables indicadas (figura 42).

En la figura 43 se muestran los resultados obtenidos para las variables de profundidad, diámetro de tubería y nivel estático.

Al comparar los resultados obtenidos durante los monitoreos llevados a cabo en 1978 y 2018, se puede observar lo siguiente:

- 💧 Para el 2018 se contaba con más del doble de datos recabados respecto al número de pozos analizados en 1978; sin embargo, la información refleja que con el paso del tiempo los pozos tienden a ser más profundos.
- 💧 Para 2018 se redujo el diámetro de tubería, lo cual podría asociarse, tanto a la modernización en las técnicas de perforación y extracción (materiales de estructura, equipos de bombeo más compactos y eficientes), como a una mayor densidad de pozos; esto último debido al incremento de la demanda y la urbanización, requiriendo una mayor cantidad de pozos, aunque estos resulten menos productivos.
- 💧 Ante la situación descrita, las municipalidades mantienen una búsqueda constante de sitios con potencial para la perforación

Figura 42. Ubicación geográfica de los pozos analizados en el valle de Guatemala (1978 y 2018)

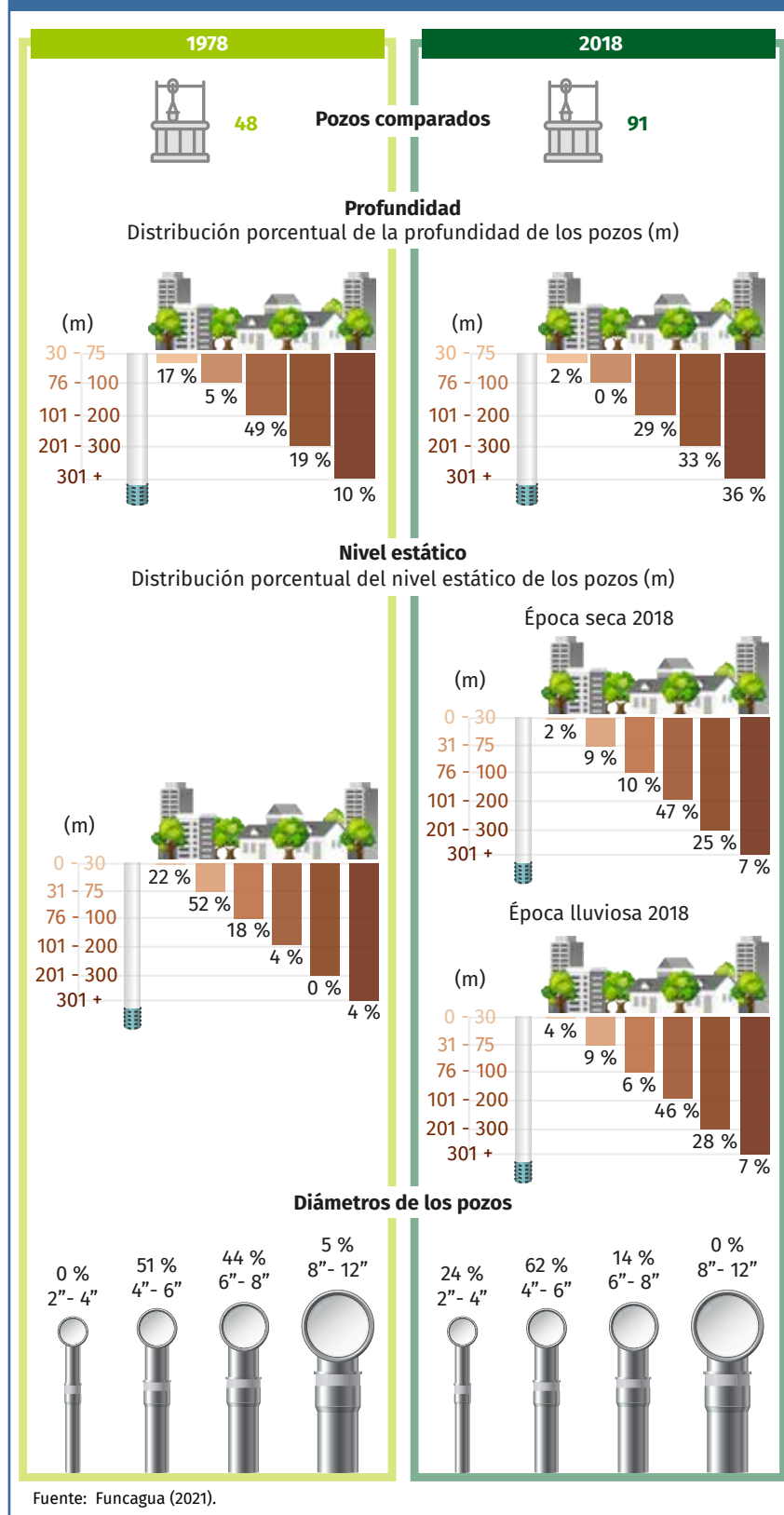


de pozos, a fin de poder satisfacer la demanda de la población creciente de zonas urbanas en constante expansión.

Los niveles estáticos entre 0-30 m de profundidad pasaron en 40 años de un 22 % a un 2 %, lo que significó descensos del

20 % en los niveles estáticos de los pozos.

El anexo 15 presenta a detalle la situación en 1978 y 2018 en cuanto a profundidad, diámetro de tubería y nivel estático de los pozos evaluados.

Figura 43. Estado del agua subterránea en la Región Metropolitana de Guatemala³²

5.2.3 COMPORTAMIENTO DEL AGUA SUBTERRÁNEA DURANTE EL PERIODO 2018-2021

En el año 2018, en el marco de un convenio de cooperación técnica entre la Funcagua y la MGCS, dio inicio el monitoreo de pozos mecánicos para las municipalidades de Amatitlán, Mixco, San Miguel Petapa, Santa Catarina Pinula, Villa Canales y Villa Nueva, constituyéndose como un primer esfuerzo para conocer la situación del agua subterránea en los municipios que formaban parte de la mancomunidad. Durante el primer año se llevó a cabo el monitoreo de 91 pozos en época seca (abril, mayo y junio) y de 118 pozos en época lluviosa (octubre, noviembre y diciembre), haciendo mediciones directas de niveles estáticos y dinámicos parciales.

A partir de ese momento, y luego de cuatro años de monitoreo continuo, se han realizado seis campañas de monitoreo, exceptuando el primer semestre de 2020 por las restricciones derivadas de la pandemia

³² En el estudio realizado por el Insivumeh en 1978, se llevó a cabo el registro y localización de 357 pozos que en ese momento constituían aproximadamente un 90 % del total de pozos perforados en el Valle de Guatemala. De este total, se consideraron para esta infografía 48 pozos que presentaron información completa de profundidad, nivel estático y diámetro de tubería. De igual manera, durante la época seca en 2018, la Funcagua registró y visitó 180 pozos mecánicos en la RMG, de los cuales 91 presentaron información de las tres variables comparadas en esta infografía.

de COVID-19, a través de las cuales se ha incrementado el número de pozos monitoreados (anexo 16, figuras 44 y 45).

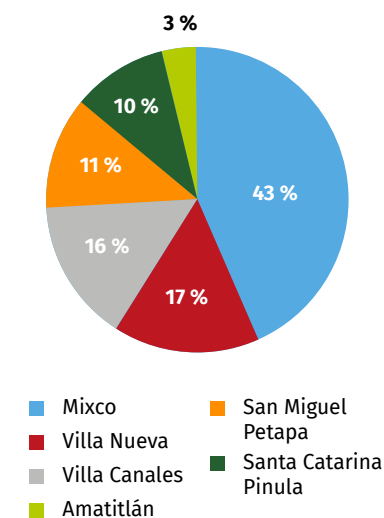
Los resultados del monitoreo de los pozos mecánicos por municipio se presentan por medio de una infografía en la que se describe la siguiente información:

1. Ubicación geográfica de los pozos estudiados e identificados.
2. Histograma de un pozo municipal representativo (siguiendo la metodología del semáforo), donde se muestran las diferentes variaciones del nivel del

agua subterránea obtenidas en el pozo mix052, tomando como referencia el año base 2018.

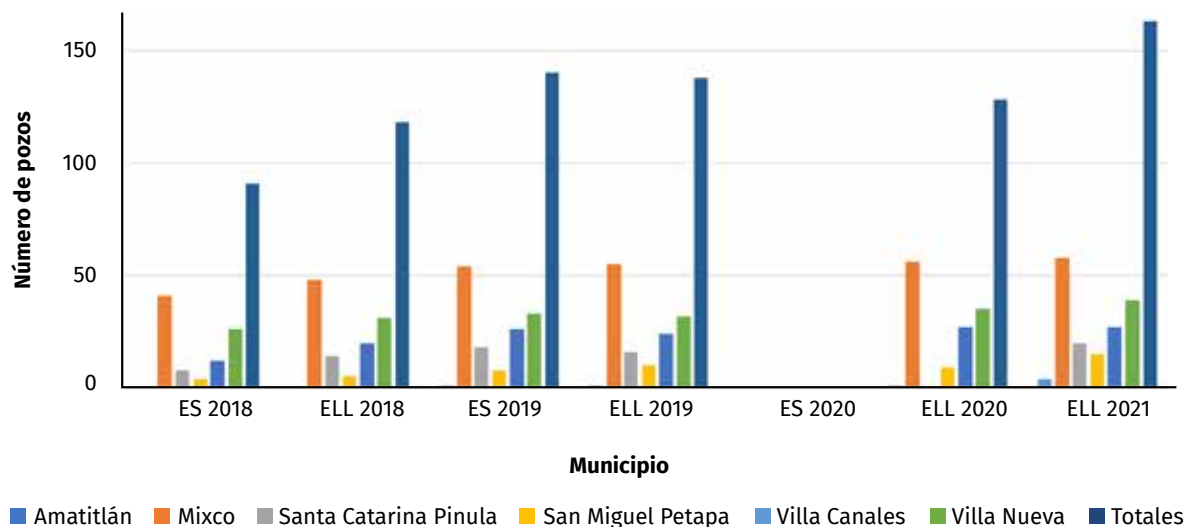
3. Comportamiento porcentual del nivel estático de los pozos estudiados para la época seca de 2018 y 2021.
4. Comportamiento porcentual del nivel dinámico de los pozos estudiados para la época seca de 2018 y 2021.
5. Rangos de profundidad de pozos estudiados en el municipio, representado el valor del pozo de menor y mayor profundidad.

Figura 45. Pozos mecánicos monitoreados actualmente por el Fondo de Agua para la Región Metropolitana de Guatemala (Funcagua), por municipio (%)



Fuente: elaboración propia.

Figura 44. Pozos monitoreados por la Fundación para la Conservación del Agua de la RMG (Funcagua) para la medición de niveles piezométricos por campaña y municipio



Nota. ES: época seca. ELL: época lluviosa.

Fuente: elaboración propia.

Municipio de Mixco

De los municipios monitoreados, Mixco presenta los pozos más profundos. En la figura 46 se muestran los resultados del monitoreo de este municipio, donde se puede apreciar que 71 % de los pozos estudiados se encuentra ubicado geográficamente en la cuenca norte y 29 % en la cuenca sur.

Pozo municipal representativo

El pozo MIX052 presentó descensos a diferentes escalas en el 80 % de las mediciones del nivel estático y en el 100 % del nivel dinámico. En el cuadro asociado al histograma se pueden observar las variaciones (ascensos y descensos) en el nivel estático y dinámico que se presentaron para el pozo entre una época y otra, con excepción de la época seca 2019, donde experimentó un ascenso de 2.90 m, todas las demás comparaciones entre épocas experimentaron descensos del nivel estático y dinámico.

Nivel estático

- El 81 % de los pozos estudiados experimentó descensos del nivel estático entre las épocas secas de 2018 y 2021. El 49 % de ellos presentó descensos extremadamente críticos, mientras que en el 32 % fueron críticos. El 19 % restante presentó ascensos en sus niveles estáticos.
- El promedio se estimó utilizando 241 datos obtenidos entre 2018 y 2021.

Nivel dinámico

- El nivel dinámico ascendió en el 36 % de los pozos estudiados, mientras que en el 64 % descendió (en 37 % fue extremadamente crítico, en 20 % crítico y en 7 % leve).

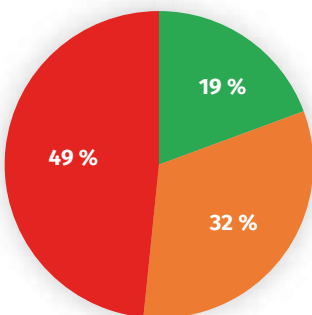
Profundidad

- El pozo menos profundo se encontró a 121 m, mientras que el más profundo a 500 m.

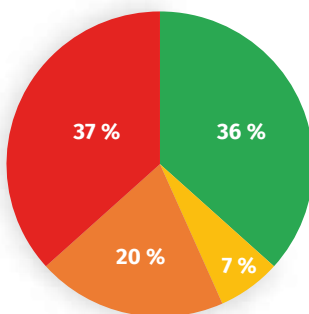
Figura 46 (a). Comportamiento del agua subterránea en el municipio de Mixco

Red de monitoreo de pozos municipales Funcagua - Mancomunidad Gran Ciudad del Sur
Período 2018-2021

Nivel estático
época seca 2018 - época seca 2021
31 pozos estudiados



Nivel dinámico
época seca 2018 - época seca 2021
30 pozos estudiados



Leyenda

Simbología de colores

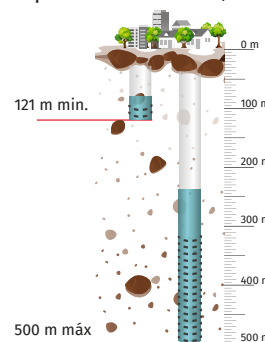
< 0 m (positivo)

0 - 1 m (leve)

1 - 10 m (crítico)

> 10 m (extremadamente crítico)

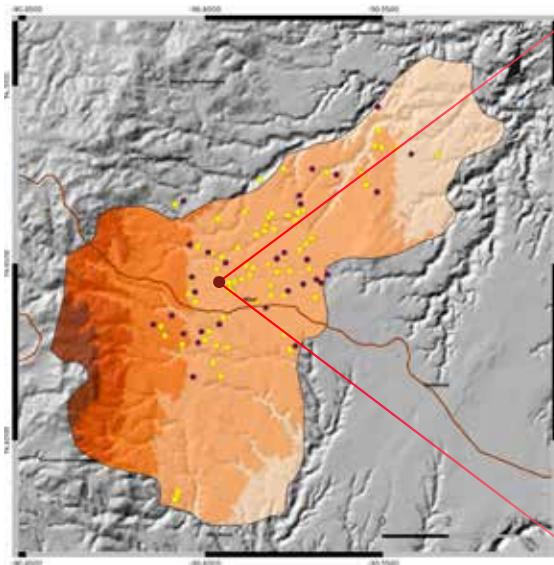
Rangos de profundidad de pozos estudiados (metros)



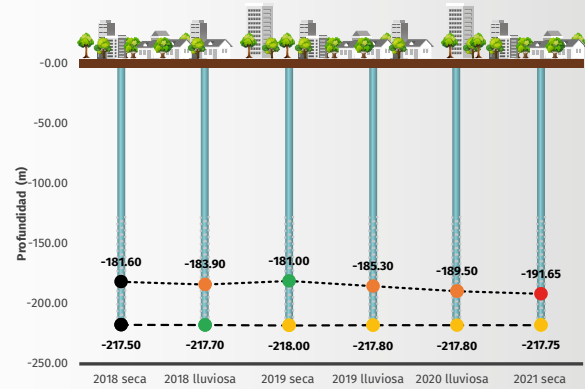
Fuente: elaboración propia.

Figura 46 (b). Comportamiento del agua subterránea en el municipio de Mixco

Red de monitoreo de pozos municipales Funcagua - Mancomunidad Gran Ciudad del Sur
Período 2018-2021



Histograma de pozo municipal MIX052
Comportamiento de nivel estático y dinámico



* No se realizó monitoreo en época seca 2020 por COVID-19.



Leyenda

Mapa

- Pozo municipal representativo
- Pozos estudiados
- Pozos identificados
- Delimitación de municipio
- Divisoria continental

Histograma

- Nivel estático (m)
- Nivel dinámico (m)

Simbología de colores

- < 0 m (positivo)
- 0 - 1 m (leve)
- 1 - 10 m (crítico)
- > 10 m (extremadamente crítico)

Fuente: elaboración propia.

Municipio de Villa Nueva

En la figura 47 se muestran los resultados obtenidos para el municipio de Villa Nueva, donde se aprecia que el 100 % de los pozos estudiados se encuentra ubicado geográficamente en la cuenca sur.

Pozo municipal representativo

El pozo VN005 experimentó descensos del nivel estático a diferentes escalas en el 50 % de sus mediciones. Un comportamiento similar se presentó para las variaciones del nivel dinámico. En el cuadro asociado al histograma, se pueden observar las variaciones (ascensos y descensos) en el nivel estático y dinámico que se presentaron para el pozo entre una época y otra. Con excepción de las épocas lluviosas de 2018 y 2019, donde el pozo experimentó ascensos de 4.9 m y 19.40 m, respectivamente, todas las demás comparaciones entre épocas experimentaron descensos del nivel estático y dinámico entre los 0.6 m y 20.20 m.

Nivel estático

- 96 % de los pozos estudiados experimentó descensos en su nivel estático (en 40 % fue crítico y en 56 % leve), mientras que 4 % tuvo ascensos en sus niveles.

Nivel dinámico

- El 96 % de los pozos estudiados experimentó descensos del nivel dinámico entre las épocas secas de 2018 y 2021. En el 60 % el descenso fue crítico, mientras que en el 36 % fue leve. Por el contrario, el 4 % restante presentó ascensos.

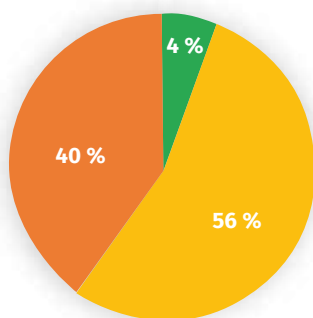
Profundidad

- El pozo menos profundo se encontró a 146 m, mientras que el más profundo a 457 m.

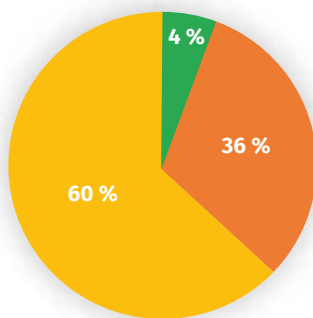
Figura 47 (a). Comportamiento del agua subterránea en el municipio de Villa Nueva

Red de monitoreo de pozos municipales Funcagua - Mancomunidad Gran Ciudad del Sur
Período 2018-2021

Nivel estático
época seca 2018 - época seca 2021
25 pozos estudiados



Nivel dinámico
época seca 2018 - época seca 2021
25 pozos estudiados



Leyenda

Simbología de colores

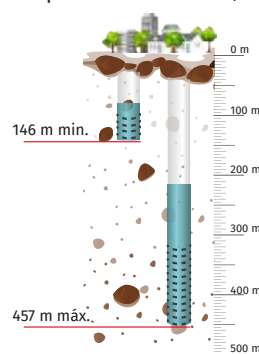
< 0 m (positivo)

0 - 1 m (leve)

1 - 10 m (crítico)

> 10 m (extremadamente crítico)

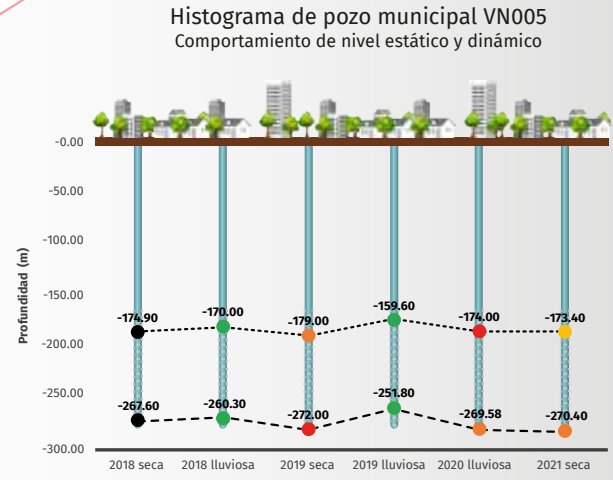
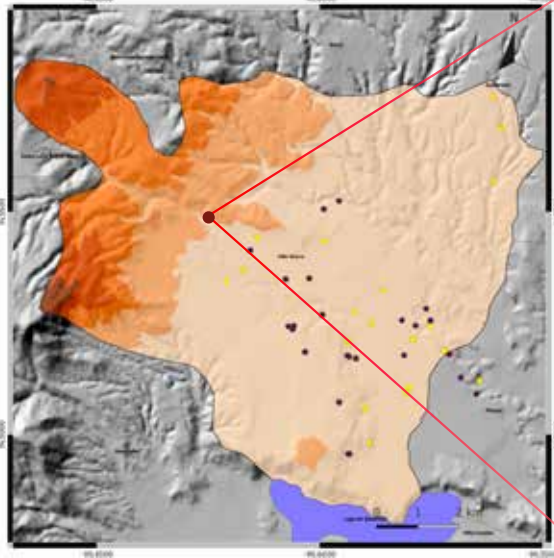
Rangos de profundidad de pozos estudiados (metros)



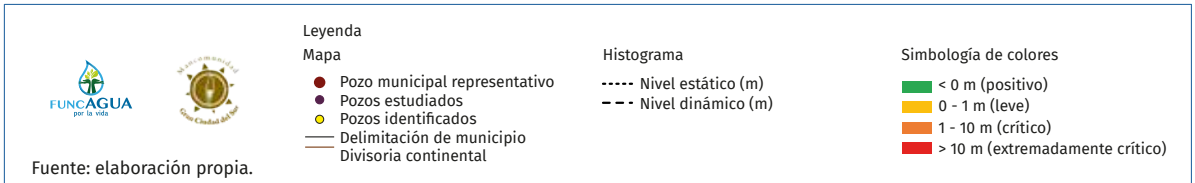
Fuente: elaboración propia.

Figura 47 (b). Comportamiento del agua subterránea en el municipio de Villa Nueva

Red de monitoreo de pozos municipales Funcagua - Mancomunidad Gran Ciudad del Sur
Período 2018-2021



* No se realizó monitoreo en época seca 2020 por COVID-19.



Municipio de Santa Catarina Pinula

En la figura 48 se muestran los resultados obtenidos para el municipio de Santa Catarina Pinula, donde se aprecia que el 100 % de los pozos estudiados se encuentra ubicado en la cuenca sur.

Pozo municipal representativo

El pozo SCP001 experimentó descensos a diferentes escalas en el 50 % de sus mediciones para el nivel estático. Un comportamiento similar se presentó para las variaciones del nivel dinámico. En el cuadro asociado al histograma se pueden observar las variaciones (ascensos y descensos) en el nivel estático y dinámico que se presentaron para el pozo entre una época y otra. En las dos últimas mediciones se observaron descensos muy pronunciados, tanto en nivel estático como en nivel dinámico, con variaciones de 72.90 m y 33.50 m, respectivamente. Con excepción de la época lluviosa de 2018 y la época seca de 2019, donde el pozo experimentó ascensos de 2.68 m y hasta 13.72 m, respectivamente; las dos últimas comparaciones entre épocas experimentaron descensos del nivel estático y dinámico.

Nivel estático

- El 50 % de los pozos estudiados experimentó descensos en su nivel estático, categorizados como leves; mientras que el otro 50 % presentó ascensos.

Nivel dinámico

- Un 50 % de los pozos estudiados experimentó descensos del nivel dinámico entre las épocas secas de 2018 y 2021. En el 17 % fue extremadamente crítico, mientras que en el 33 % fue crítico. El restante 50 % presentó ascensos.

Profundidad

- El pozo menos profundo se encontró a 175 m, mientras que el más profundo a 488 m.

Figura 48 (a). Comportamiento del agua subterránea en el municipio de Santa Catarina Pinula

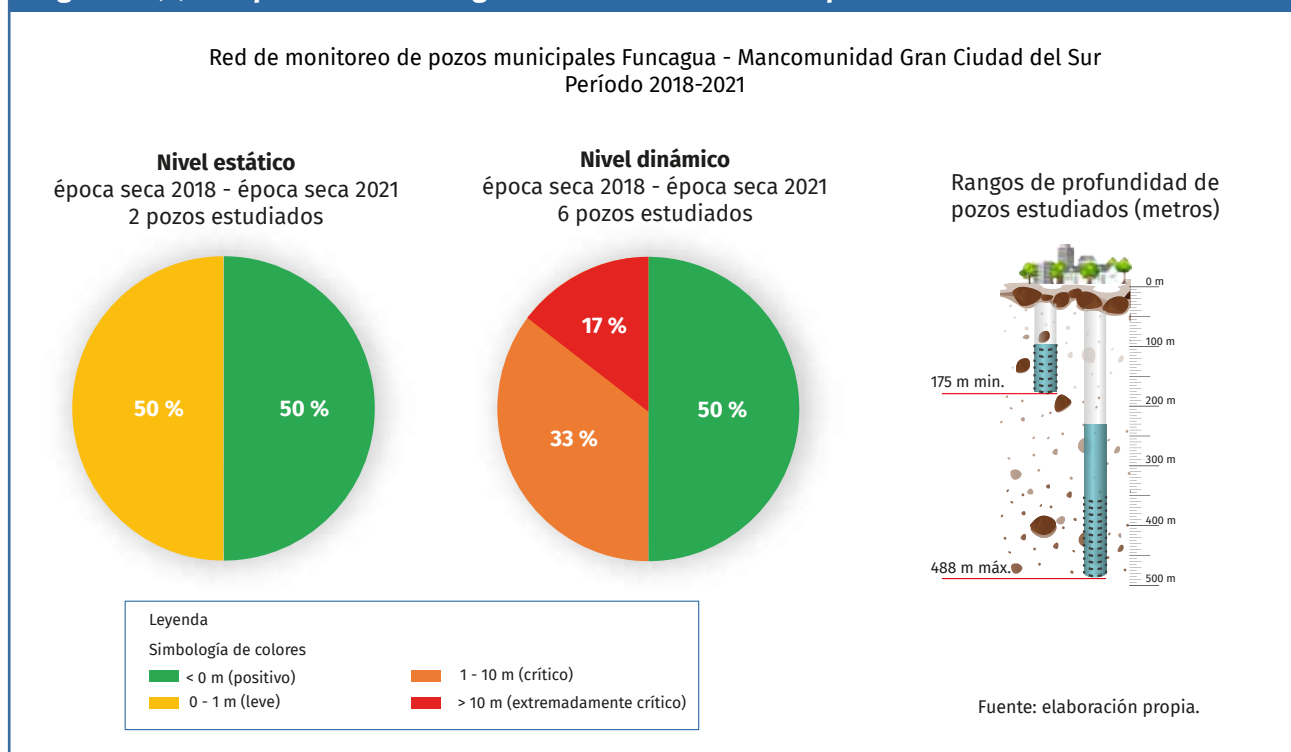
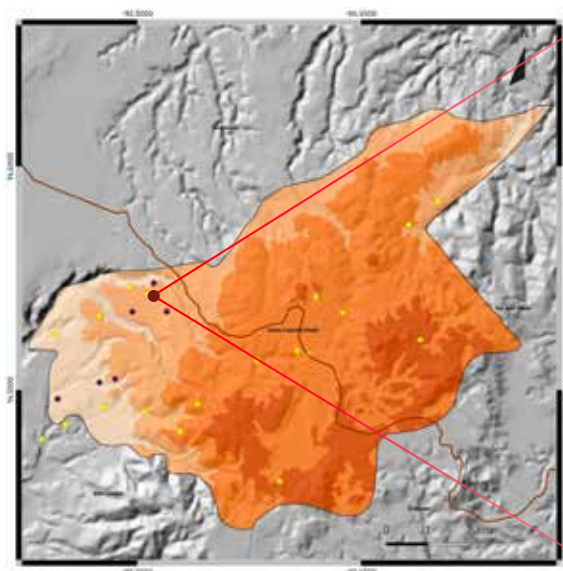
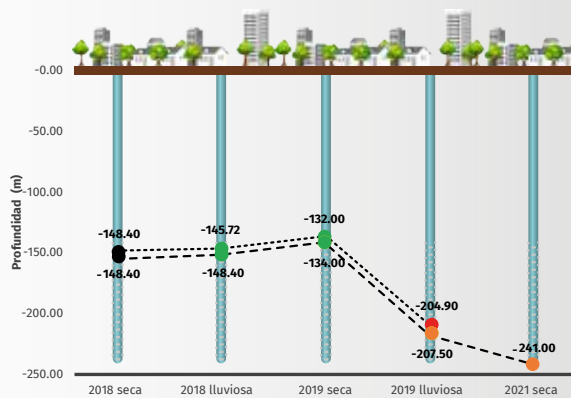


Figura 48 (b). Comportamiento del agua subterránea en el municipio de Santa Catarina Pinula

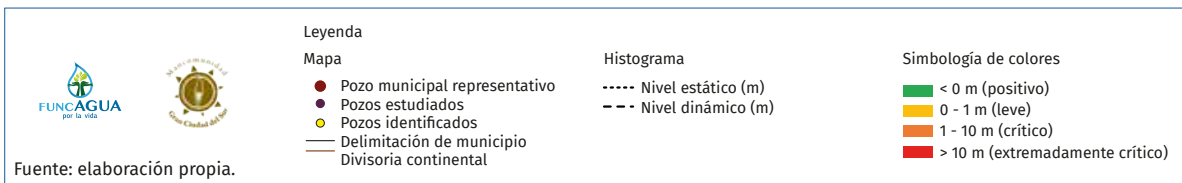
Red de monitoreo de pozos municipales Funcagua - Mancomunidad Gran Ciudad del Sur
Período 2018-2021



Histograma de pozo municipal SCP001
Comportamiento de nivel estático y dinámico



* No se realizó monitoreo en época seca y época lluviosa 2020 por COVID-19.



Municipio de Villa Canales

En la figura 49 se muestran los resultados obtenidos para el municipio de Villa Canales, donde se aprecia que el 100 % de los pozos estudiados en el municipio (color morado), se encuentra ubicado geográficamente en la cuenca sur.

Pozo municipal representativo

El pozo VC018 experimentó descensos a diferentes escalas en el 66 % de sus mediciones para el nivel estático. Un comportamiento similar se presentó para las variaciones del nivel dinámico. En el cuadro asociado al histograma se pueden observar las variaciones (ascensos y descensos) en el nivel estático y dinámico que se presentaron para el pozo entre una época y otra. Durante la época lluviosa 2020 se observaron descensos muy pronunciados, tanto en nivel estático como en nivel dinámico, con variaciones de 31.05 m a 31.35 m, respectivamente. Con excepción de la época lluviosa de 2018, donde el pozo experimentó ascensos de 2.76 m en el nivel estático y de 4.46 m en su nivel dinámico, las otras cuatro comparaciones entre épocas experimentaron descensos en ambos niveles.

Nivel estático

- El 86 % de los pozos estudiados experimentó descensos en su nivel estático, categorizados como extremadamente críticos en un 57 % y críticos en un 29 %. El otro 14 % presentó ascensos.

Nivel dinámico

- El 100 % de los pozos estudiados experimentó descensos para el nivel dinámico entre las épocas secas de 2018 y 2021. En el 67 % fue extremadamente crítico y en el 33 % fue crítico.

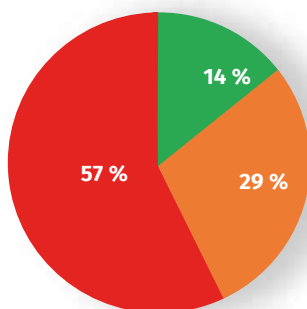
Profundidad

- El pozo menos profundo se encontró a 66 m, mientras que el más profundo a 366 m.

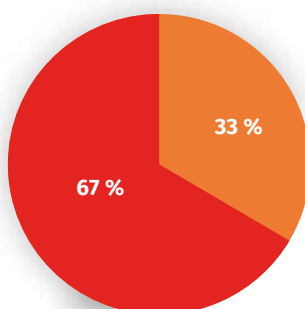
Figura 49 (a). Comportamiento del agua subterránea en el municipio de Villa Canales

Red de monitoreo de pozos municipales Funcagua - Mancomunidad Gran Ciudad del Sur
Período 2018-2021

Nivel estático
época seca 2018 - época seca 2021
7 pozos estudiados



Nivel dinámico
época seca 2018 - época seca 2021
6 pozos estudiados



Leyenda

Simbología de colores

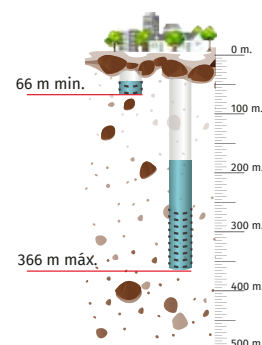
■ < 0 m (positivo)

■ 0 - 1 m (leve)

■ 1 - 10 m (crítico)

■ > 10 m (extremadamente crítico)

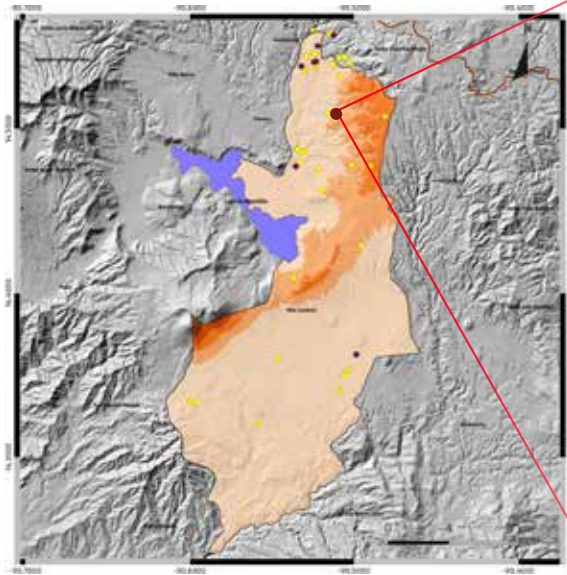
Rangos de profundidad de pozos estudiados (metros)



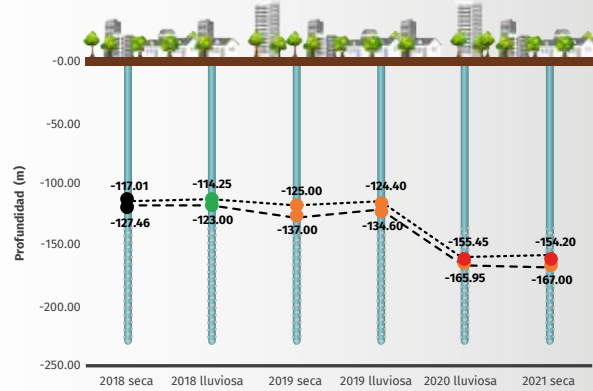
Fuente: elaboración propia.

Figura 49 (b). Comportamiento del agua subterránea en el municipio de Villa Canales

Red de monitoreo de pozos municipales Funcagua - Mancomunidad Gran Ciudad del Sur
Período 2018-2021

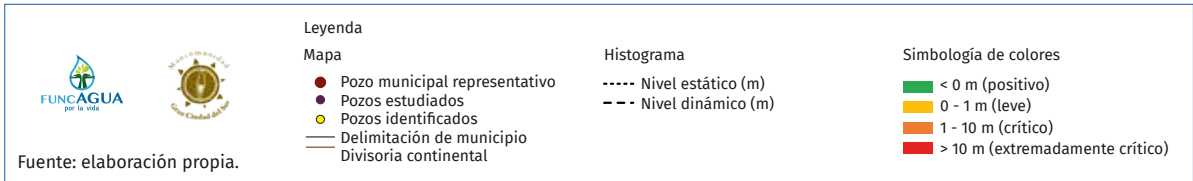


Histograma de pozo municipal VC018
Comportamiento de nivel estático y dinámico



	Linea base					
	2018 seca	2018 lluviosa	2019 seca	2019 lluviosa	2020 lluviosa	2021 seca
Nivel estático (m)	-117.01	2.76	-10.75	-0.60	-31.05	-1.25
Nivel dinámico (m)	-127.46	4.46	-14.00	-2.40	-31.35	-1.05

* No se realizó monitoreo en época seca 2020 por COVID-19.



Municipio de Amatitlán

En la figura 50 se muestran los resultados obtenidos para el municipio de Amatitlán, donde se observa que el 100 % de los pozos estudiados en el municipio (color morado), se encuentra ubicado geográficamente en la cuenca sur.

En el municipio se iniciaron mediciones de niveles piezométricos en la época seca de 2019 para un solo pozo. Para la época seca 2021 se midieron en cuatro pozos distintos, aunque solo se ha logrado de manera constante para el pozo AMA001.

Pozo municipal representativo

El pozo AMA001 presentó un leve ascenso en su nivel estático entre la época seca 2019 y la época lluviosa 2019. Sin embargo, descendió en la época seca 2021. Durante la época lluviosa 2020 no fue posible tomar datos de nivel estático para el pozo. Por el contrario, el nivel dinámico presentó ascensos en el 100 % de las mediciones. En el cuadro asociado al histograma se pueden observar las variaciones (ascensos y descensos) en el nivel estático y dinámico del pozo entre una época y otra, registrándose un descenso para el nivel estático de 1.70 m al compararse la línea base de la época seca 2019 con el dato de la época seca 2021.

Nivel estático

- Para el nivel estático se registró un descenso crítico en el pozo AMA001 y descensos leves en los pozos AMA010 y AMA 013.

Nivel dinámico

- Para el nivel dinámico los registros indican ascensos en el pozo AMA001. En el caso del pozo AMA010, se registró un descenso crítico.

Profundidad

- El pozo menos profundo se encontró a 107 m, mientras que el más profundo a 122 m.

Figura 50 (a). Comportamiento del agua subterránea en el Municipio de Amatitlán

Red de monitoreo de pozos municipales Funcagua - Mancomunidad Gran Ciudad del Sur
Período 2018-2021

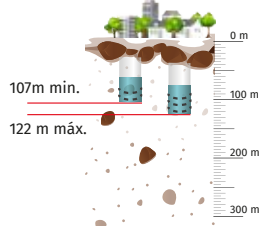
Nivel estático
época seca 2018 - época seca 2021
4 pozos estudiados

Identificación del pozo	AMA 001	AMA 008	AMA 010	AMA 013
NE ES 2018	Sin dato			
NE ELL 2018	Sin dato			
NE ES 2019	14.85	Sin dato		16.20
NE ELL 2019	14.66	Sin dato		15.88
NE ELL 2020	Sin dato	Sin dato	36.80	-
NE ES 2021	16.70	16.70	37.30	15.88

Nivel dinámico
época seca 2018 - época seca 2021
4 pozos estudiados

Identificación del pozo	AMA 001	AMA 008	AMA 010	AMA 013
ND ES 2018	Sin dato			
ND ELL 2018	Sin dato			
ND ES 2019	26.65	Sin dato		
ND ELL 2019	24.91	Sin dato		
ND ELL 2020	24.45	Sin dato	36.80	Sin dato
ND ES 2021	25.60	20.10	37.80	Sin dato

Rangos de profundidad de pozos estudiados (metros)

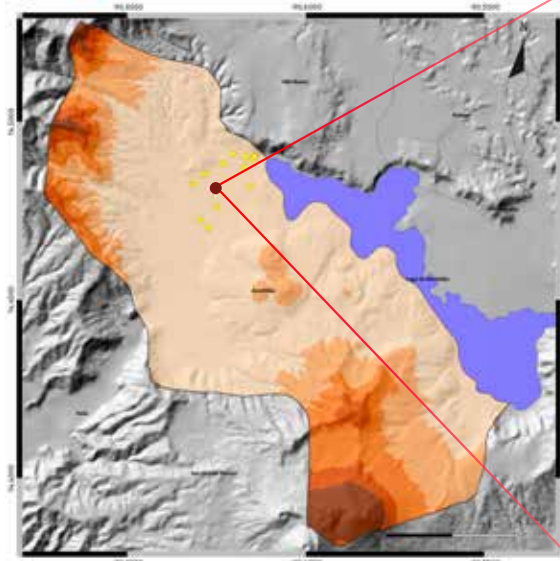


*Los pozos que no aparecen en el consecutivo (AMA002 al AMA007, AMA09, AMA011 y AMA012 aún no cuentan con piezómetro que permita su medición.

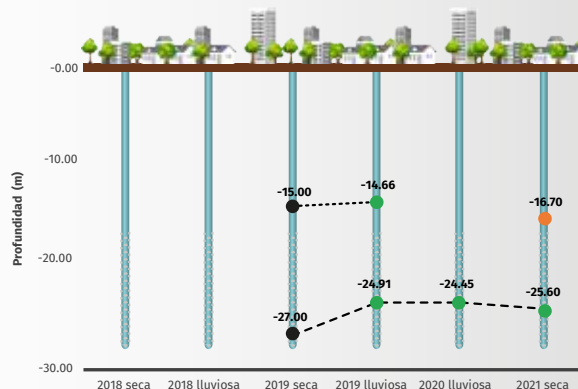
Fuente: elaboración propia.

Figura 50 (b). Comportamiento del agua subterránea en el Municipio de Amatitlán

Red de monitoreo de pozos municipales Funcagua - Mancomunidad Gran Ciudad del Sur
Período 2018-2021



Histograma de pozo municipal AMA001
Comportamiento de nivel estático y dinámico



	2018 seca	2018 lluviosa	2019 seca	Línea base	2020 lluviosa	2021 seca
Nivel estático (m)	Sin monitoreo	Sin monitoreo	-15.00	-0.34	Sin dato	-16.70
Nivel dinámico (m)	Sin monitoreo	Sin monitoreo	-27.00	-2.09	-0.46	-1.15

* No se realizó monitoreo en época seca 2020 por COVID-19. En 2018 no se contaba con piezómetros en los pozos que permitieran toma de datos.



Leyenda

Mapa

- Pozo municipal representativo
- Pozos estudiados
- Pozos identificados
- Delimitación de municipio
- Divisoria continental

Histograma

- Nivel estático (m)
- Nivel dinámico (m)

Simbología de colores

- < 0 m (positivo)
- 0 - 1 m (leve)
- 1 - 10 m (crítico)
- > 10 m (extremadamente crítico)

Fuente: elaboración propia.

Municipio de San Miguel Petapa

En la figura 51 se muestran los resultados obtenidos para el municipio de San Miguel Petapa, donde se observa que el 100 % de los pozos estudiados en el municipio (color morado), se encuentra ubicado geográficamente en la cuenca sur.

En el municipio se iniciaron mediciones de niveles piezométricos para cuatro pozos durante la época seca de 2018. Para la época seca 2021 se midieron en 15 pozos distintos, aunque solo se ha logrado de manera constante para los pozos SMP007 y SMP015.

Pozo municipal representativo

El pozo SMP007 presentó descensos en su nivel estático durante el 100 % de los monitoreos. El nivel dinámico se comportó de la misma manera. En el cuadro asociado al histograma se pueden observar las variaciones (ascensos y descensos) en el nivel estático y dinámico del pozo entre una época y otra, registrándose variaciones entre 1.15 m y hasta 11.05 m.

Nivel estático

- Se registraron descensos críticos o extremadamente críticos en el 100 % del nivel estático de los pozos. El 37 % de las comparaciones posibles corresponde a descensos extremadamente críticos. El restante 63 % indica descensos de categoría crítica.

Nivel dinámico

- Para el nivel dinámico los registros indican descensos extremadamente críticos en el 66 % de las comparaciones posibles. El 33 % restante corresponde a descensos de categoría crítica.

Profundidad

- El pozo menos profundo se encontró a 84 m, mientras que el más profundo a 244 m.

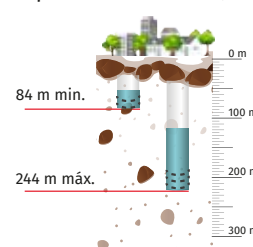
Figura 51 (a). Comportamiento del agua subterránea en el municipio de San Miguel Petapa

Red de monitoreo de pozos municipales Funcagua - Mancomunidad Gran Ciudad del Sur
Período 2018-2021

Nivel estático 2018 - 2021 3 pozos estudiados			
Identificación del pozo	SMP 007	SMP 027	SMP 028
NE ES 2018	-41.47	Sin dato	
NE ELL 2018	-46.85	-69.00	-97.00
NE ES 2019	-48.00	Sin dato	
NE ELL 2019	-50.85	-73.20	-103.50
NE ELL 2020	-54.20	-69.08	-72.60
NE ES 2021	-59.55	-74.50	-113.00

Nivel dinámico 2018 - 2021 2 pozos estudiados		
Identificación del pozo	SMP 007	SMP 028
ND ES 2018	-60.94	Sin dato
ND ELL 2018	-64.92	-169.40
ND ES 2019	-64.00	-169.00
ND ELL 2019	-72.90	-169.50
ND ELL 2020	-69.65	-169.00
ND ES 2021	-80.70	-168.35

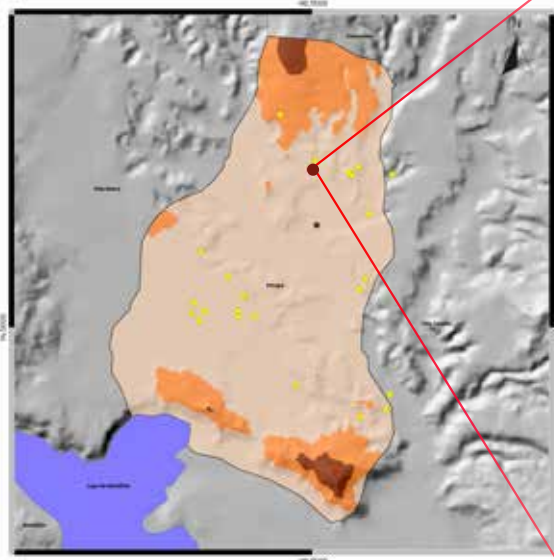
Rangos de profundidad de pozos estudiados (metros)



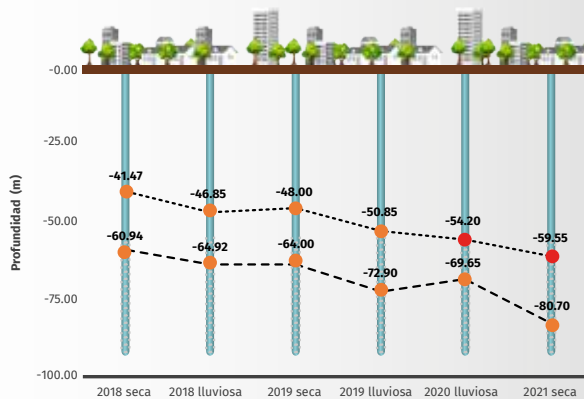
*Los pozos que aparecen en la tabla son aquellos que tienen datos consecutivos medidos entre campañas de monitoreo.
Fuente: elaboración propia.

Figura 51 (b). Comportamiento del agua subterránea en el Municipio de San Miguel Petapa

Red de monitoreo de pozos municipales Funcagua - Mancomunidad Gran Ciudad del Sur
Período 2018-2021



Histograma de pozo municipal SMP007
Comportamiento de nivel estático y dinámico



* No se realizó monitoreo en época seca 2020 por COVID-19. En 2018 no se contaba con piezómetros en los pozos que permitieran toma de datos.



Leyenda

Mapa

- Pozo municipal representativo
- Pozos estudiados
- Pozos identificados
- Delimitación de municipio
- Divisoria continental

Histograma

- Nivel estático (m)
- - - Nivel dinámico (m)

Simbología de colores

- < 0 m (positivo)
- 0 - 1 m (leve)
- 1 - 10 m (crítico)
- > 10 m (extremadamente crítico)

Fuente: elaboración propia.

5.2.4 CALIDAD DEL AGUA SUBTERRÁNEA EN LA RMG

No existe suficiente información a nivel de la RMG que permita dar una conclusión precisa sobre la calidad del agua subterránea para la región. No obstante, se presentan a continuación algunos estudios con información al respecto.

Ramírez (2003) estudió la calidad del agua subterránea en el área noreste del valle de la ciudad de Guatemala. En total analizó 34³³ pozos con una profundidad media de 395 m. Los pozos monitoreados se agruparon en cuatro sectores que se detallan en el anexo 17 y que presentaron diferencias en cuanto a sus características hidrogeoquímicas. A través de tres campañas de muestreo (dos en época seca y una en época lluviosa), se cuantificaron parámetros como: color, turbiedad, temperatura, pH, conductividad eléctrica, dureza total, alcalinidad total, fluoruros, cloruros, nitrógeno, hierro total, manganeso y sulfatos.

En general, con los análisis desarrollados se concluyó que las aguas subterráneas poseían buena calidad y que solo requerían tratamiento de desinfección previo a ser distribuidas (Ramírez, 2003).

Sin embargo, el estudio llevado a cabo por Machorro y Cortez (2018) determinó en 2007 la contaminación de aguas subterráneas con arsénico en nueve pozos dentro de los límites de la microcuenca del río Rzaljá, en parte de los municipios de Chinautla y Mixco, y que el número de pozos contaminados había aumentado en la misma zona para 2018, cuyo detalle se muestra en el anexo 18.

5.3 CARACTERÍSTICAS DEL ABASTECIMIENTO

La RMG se abastece principalmente de agua subterránea, tal como se muestra en la figura 52. A nivel de abastecimiento, las municipalidades proporcionan el 70 % del agua que se consume, mientras que el otro 30 % es a través de pozos privados o propios (INE, 2018).

En resumen:

- La RMG es altamente dependiente de las fuentes de agua subterránea, tanto a nivel público (municipal) como privado.
- La RMG depende en gran medida del abastecimiento por servicios privados (30 %). Esto vuelve al recurso altamente susceptible

a un descontrol de los precios, y reduce las posibilidades de que las familias con menos recursos cuenten con agua de buena calidad.

- Un 2.81 % de los hogares (es decir 19 959), reporta como fuente principal de abastecimiento los camiones cisterna o toneles. Sin embargo, la mayoría de empresas que presta este servicio cuenta con pozos, por lo que el agua que se utiliza es subterránea, lo cual puede representar un alto riesgo de desabastecimiento.
- 581 hogares en los diferentes municipios reportaron usar agua de lluvia, representando solo un 0.08 % del total. De estos, el 53 % de los hogares se ubica en Guatemala y Villa Canales. Sin embargo, existe potencial para mejorar este tipo de aprovechamiento.

5.3.1 CARACTERÍSTICAS DE ABASTECIMIENTO DE LOS MUNICIPIOS DE LA RMG

Para este apartado se analizó información de los 12 municipios de la RMG a partir del *XII Censo de Población y VII de Vivienda* correspondientes al año 2018, la cual se comple-

³³ Distribuidos de la siguiente manera: tres en zona 24, seis en zona 17, seis en zona 16, nueve en zona 18, dos en zona 15, uno en zona 14, uno en zona 10 y seis en zona 6.

mentó con una revisión detallada de los planes de desarrollo municipal (PDM) de cada municipio trabajados por Segeplán en 2010 y, en caso de estar disponibles, los PMD con enfoque de ordenamiento territorial (PDM-OT) generados en 2019. También se consultó la información presentada por Iarna y TNC (2013).

En las figuras 53 a 64 se presenta el detalle de información para cada municipio. Se incluyen, además, datos relevantes respecto al abastecimiento de agua en cada uno de ellos.

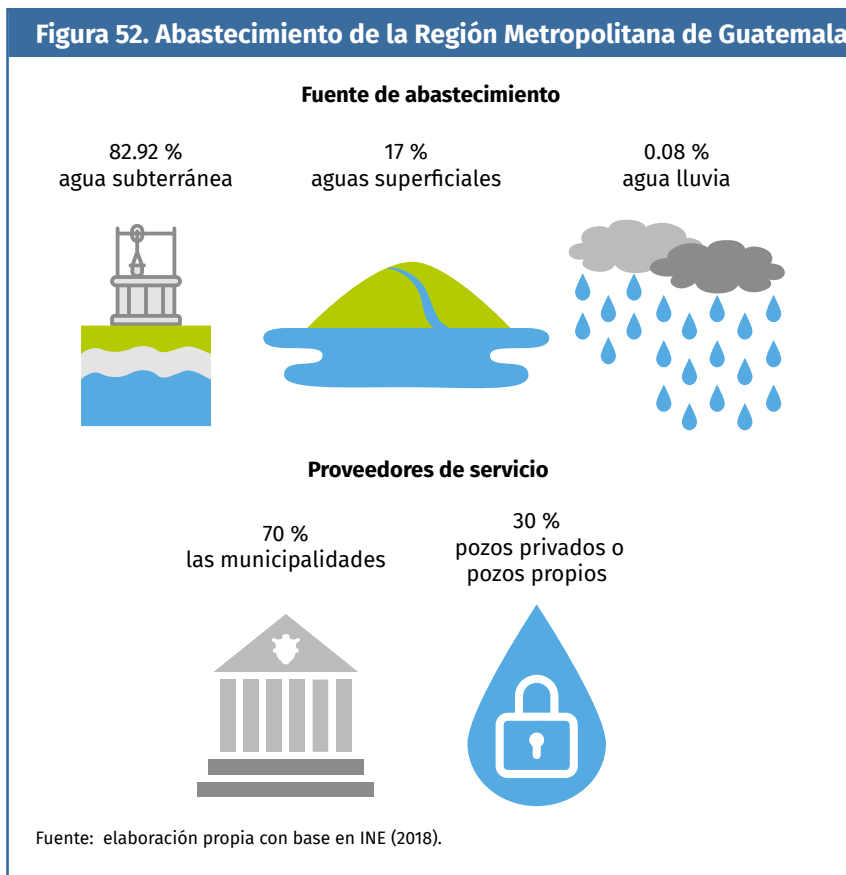


Figura 53. Características del abastecimiento de agua en el municipio de Guatemala

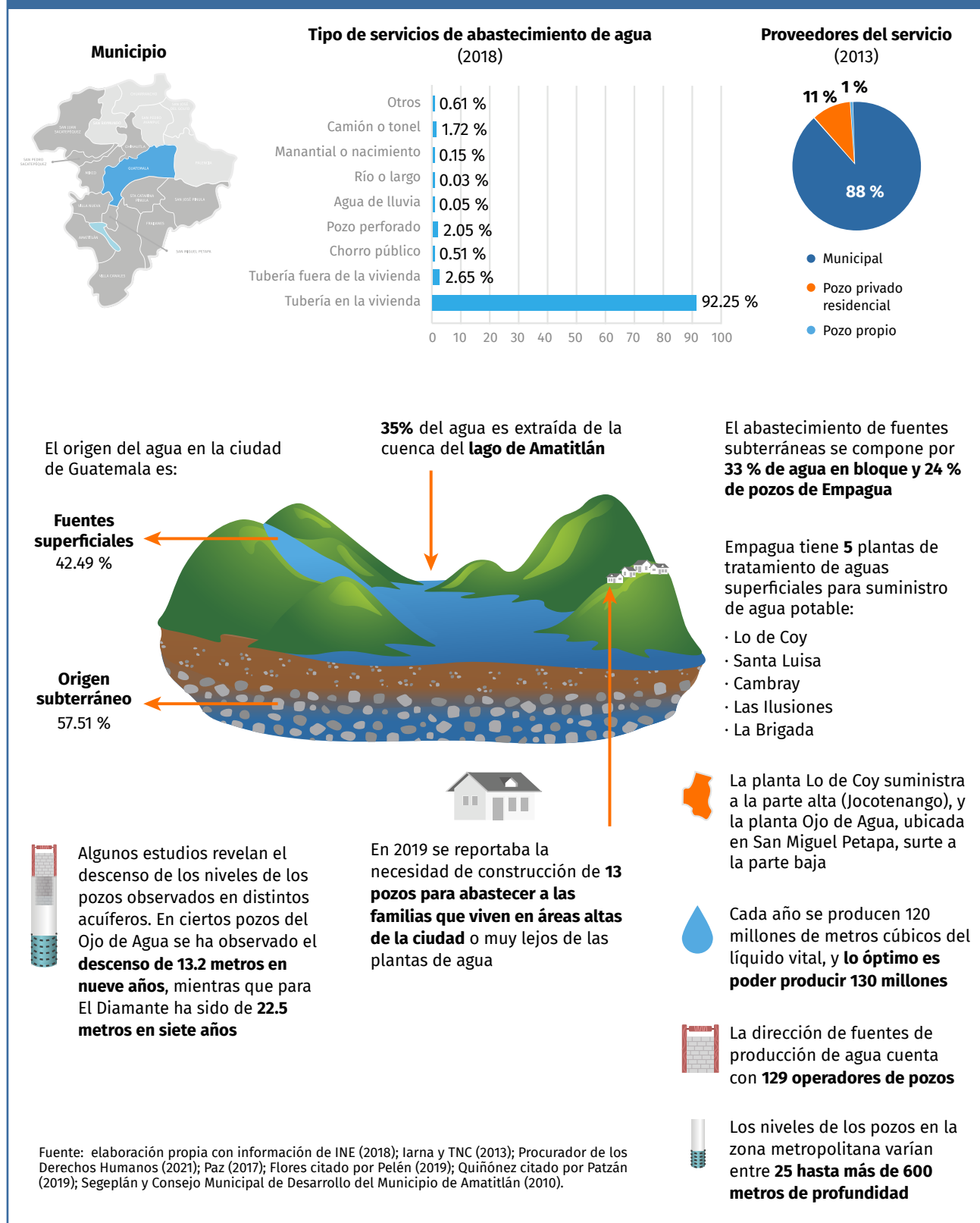
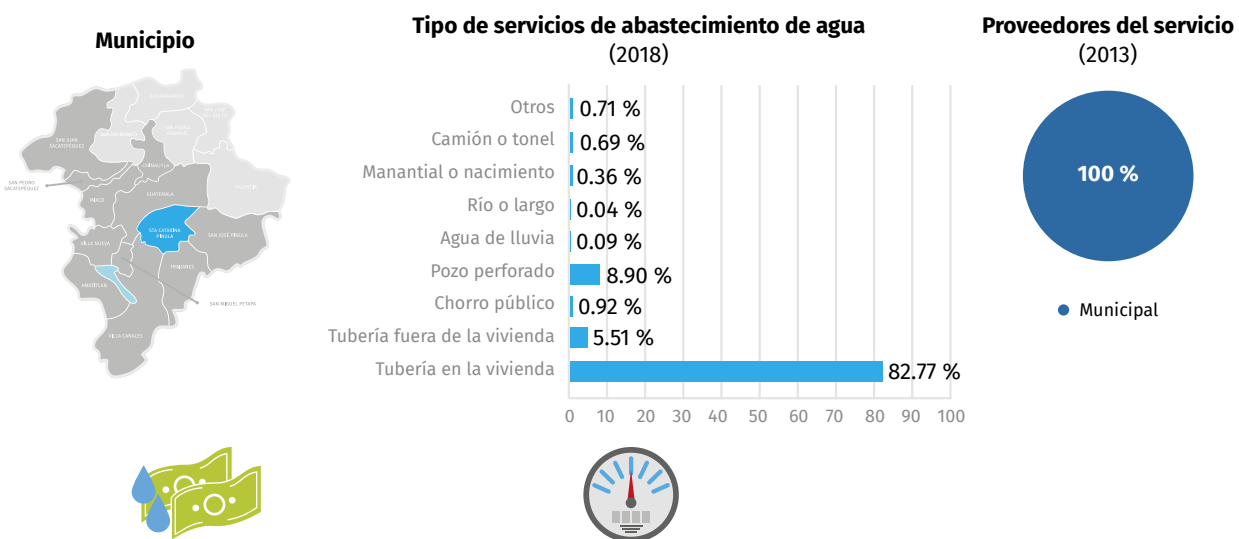


Figura 54. Características del abastecimiento de agua en el municipio de Santa Catarina Pinula

La problemática de abastecimiento de agua para consumo humano se debe a **la falta de producción en algunos sectores y al alto costo de la energía eléctrica** para el funcionamiento de los sistemas de abastecimiento

Para controlar y valorar el consumo de agua se trabaja en instalar contadores debido a que la **tarifa municipal es muy baja** (mensualmente GTQ 20 de canon en aldeas y cabeceras, GTQ 50 en Piedra Parada y GTQ 10 por cada m³ de exceso)

Santa Catarina Pinula es fuente de abastecimiento de agua para los habitantes de la ciudad capital por medio del **río Pinula**

Las viviendas que cuentan con servicio de agua potable se surten a través de **sistemas por gravedad y extracción de pozo**

El agua que se produce en el municipio proviene de **22 pozos mecánicos**

No existen regulaciones que limiten y ordenen el manejo y explotación del recurso hídrico

79 % de los hogares cuenta con servicio de agua potable, mientras que **21 %** carece de él

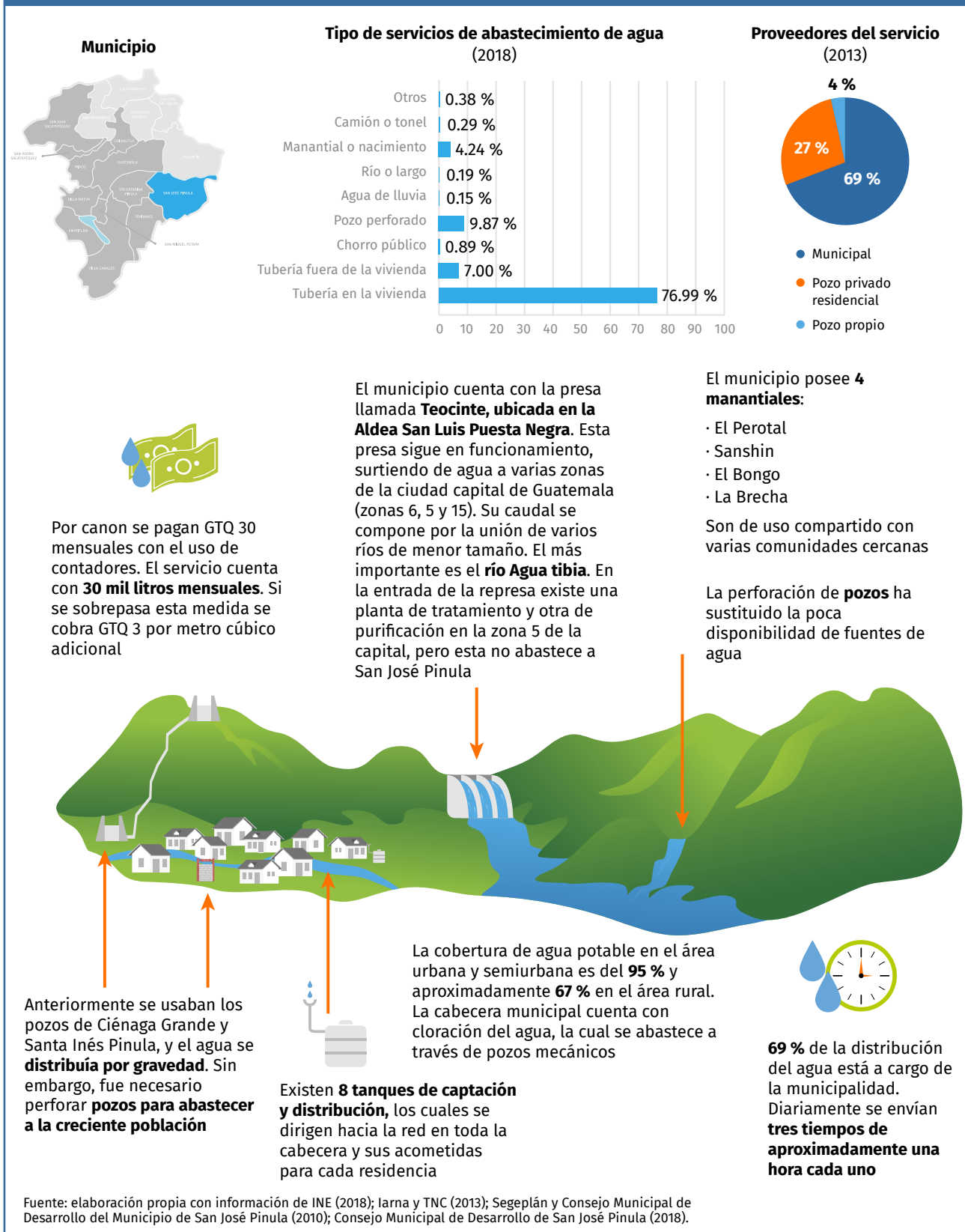
Debido al aumento del número de colonias en el municipio **la principal fuente de abastecimiento la constituyen los pozos**. Sin embargo, no existe un registro sobre la cantidad de pozos existentes, por lo que no se puede saber cuánta de agua se está extrayendo

Los caudales de agua, tanto superficiales como subterráneos, han **disminuido**.

Actualmente es necesario perforar a **una profundidad de 365 a 609 metros** para encontrar agua en la cabecera municipal.

Esto repercute en periodos menores de vida útil en los pozos

Fuente: elaboración propia con información de INE (2018); Iarna y TNC (2013); Segeplán y Consejo Municipal de Desarrollo del Municipio de Santa Catarina Pinula (2010 y 2018).

Figura 55. Características del abastecimiento de agua en el municipio de San José Pinula

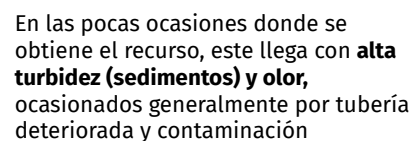


Figura 57. Características del abastecimiento de agua en el municipio de Mixco



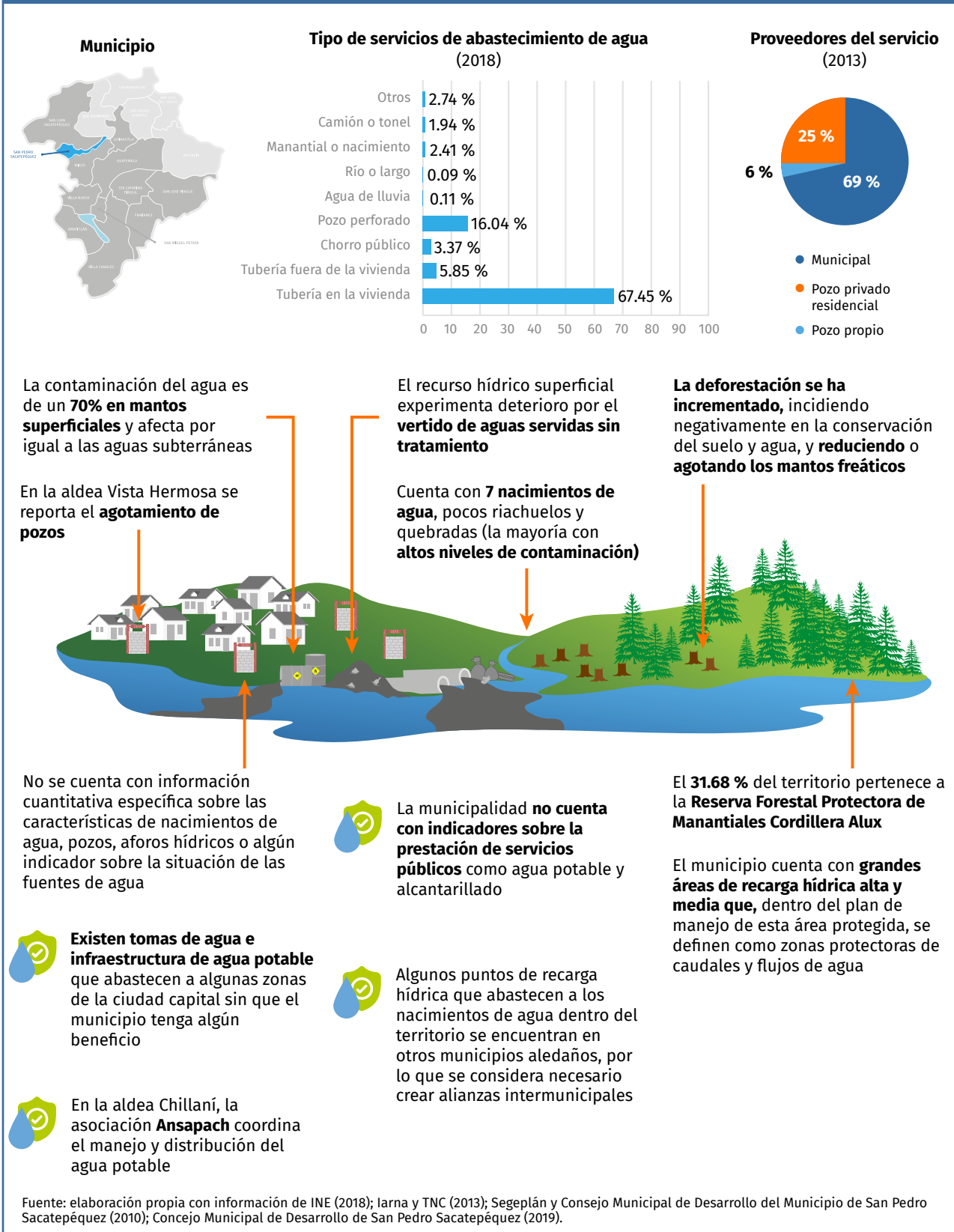
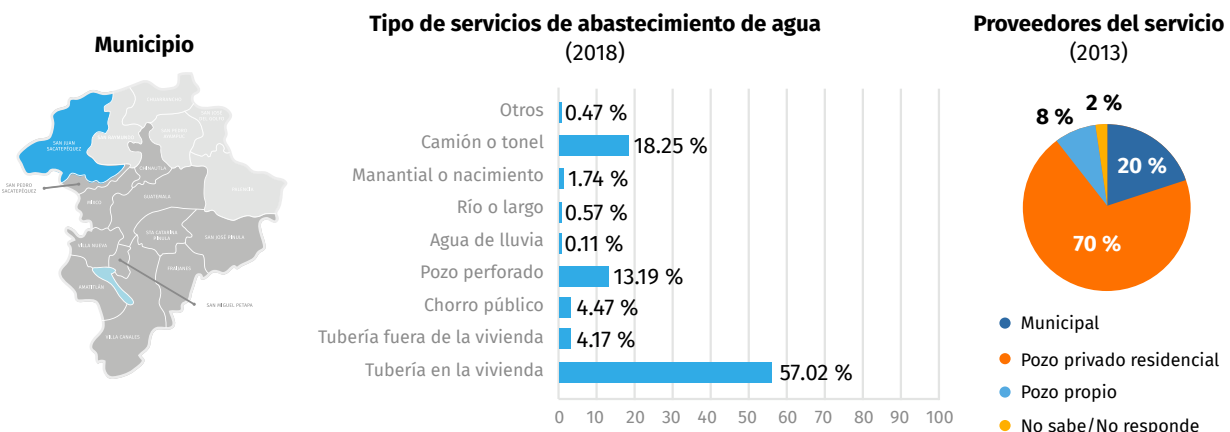
Figura 58. Características del abastecimiento de agua en el municipio de San Pedro Sacatepéquez

Figura 59. Características del abastecimiento de agua en el municipio de San Juan Sacatepéquez



El servicio de agua en el casco urbano se cobra a **GTQ 10 por vivienda**. Existen contadores de agua, pero no se monitorea el consumo

Para poder suplir la falta de distribución, se utilizan **pozos artesanales y agua de nacimientos** como fuentes de abastecimiento

La mayoría de las **aguas superficiales está contaminada** porque se vierten aguas servidas y desechos, por lo cual no son aptas para el consumo humano

La cobertura de agua es de **54.14 %** en el área urbana, y **23.55 %** en el área rural

La municipalidad ha tenido que invertir fondos para la perforación de nuevos pozos y su equipamiento

El **50 %** de las viviendas del casco urbano está conectado al sistema de agua municipal en forma anómala

La topografía es irregular, con montañas, quebradas, barrancos y pocas planicies, lo cual dificulta la distribución del agua en algunas comunidades

Dentro del municipio se encuentra una parte de la **cordillera Alux**, declarada como reserva protectora de manantiales que surten a la ciudad capital



El agua está escaseando debido, principalmente, al crecimiento de la frontera agrícola, el crecimiento urbano y los incendios forestales

Este problema se presenta en todo el territorio, pero las áreas más afectadas son: toda la microrregión central, microrregión I, Ciudad Quetzal, la región II, la micro región III (que corresponde al casco urbano de la aldea Montúfar) y toda la microrregión IV

Fuente: elaboración propia con información de INE (2018); Iarna y TNC (2013); Segeplán y Consejo Municipal de Desarrollo del Municipio de San Juan Sacatepéquez (2010); Consejo Municipal de Desarrollo de San Juan Sacatepéquez (2019).

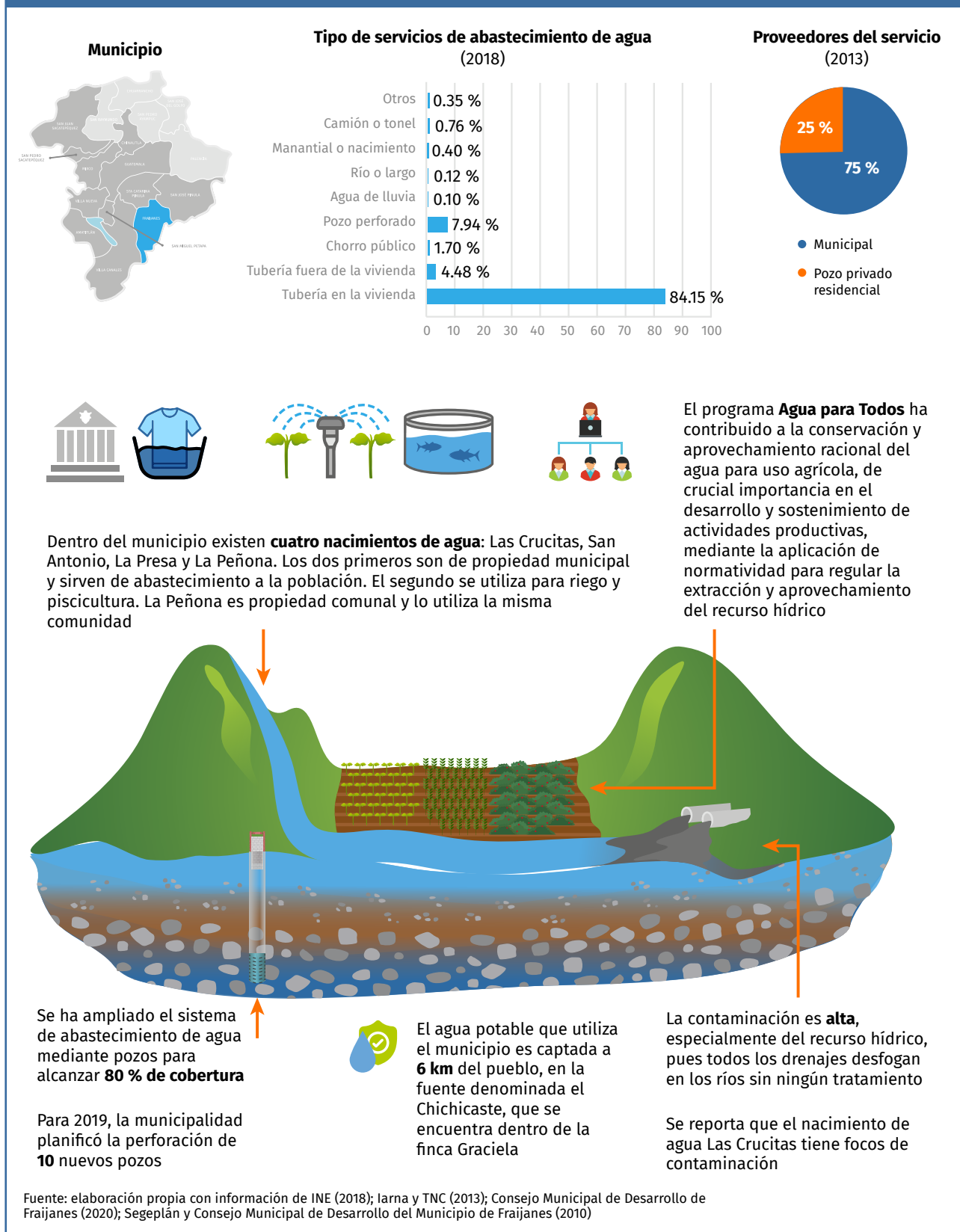
Figura 60. Características del abastecimiento de agua en el municipio de Fraijanes

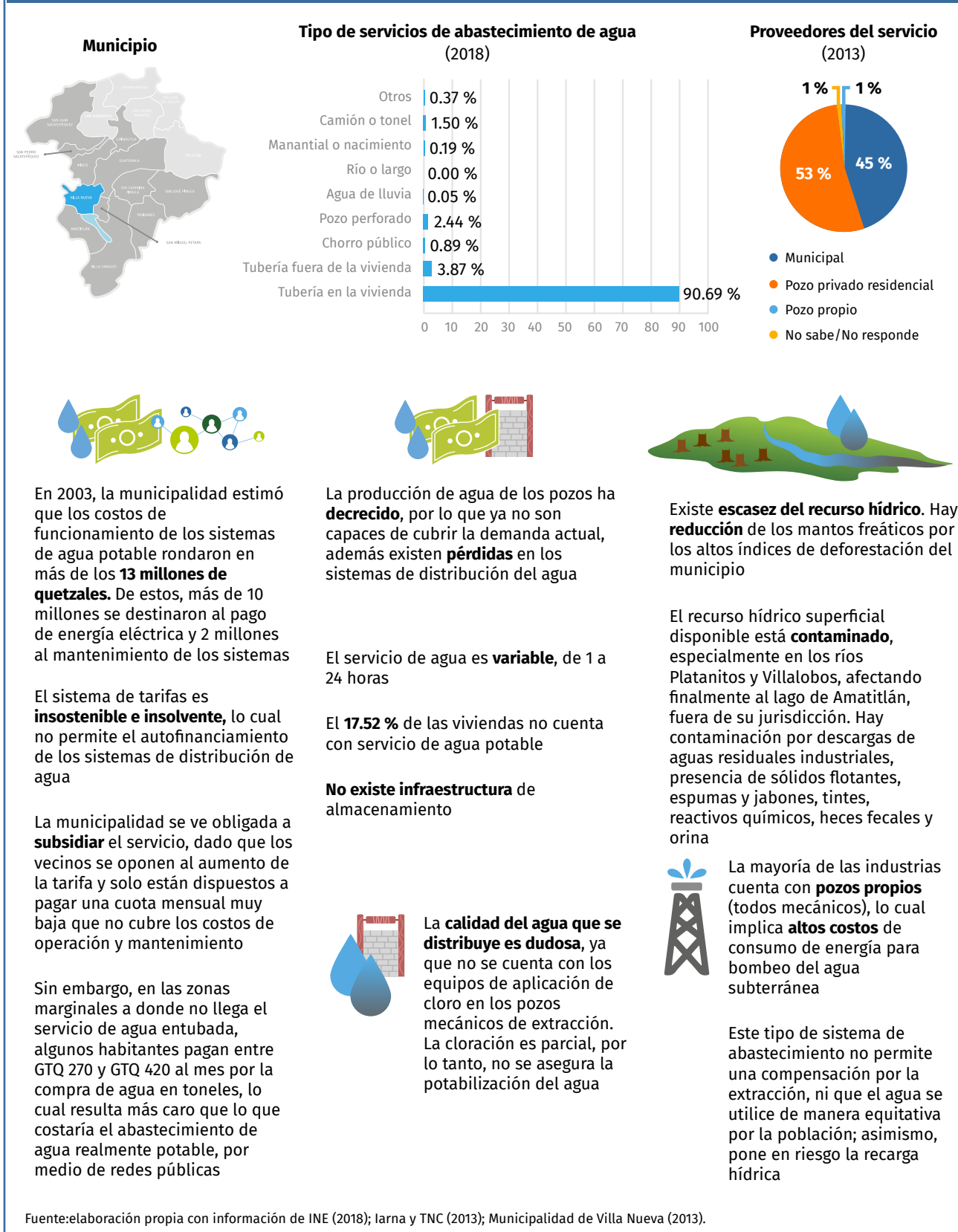
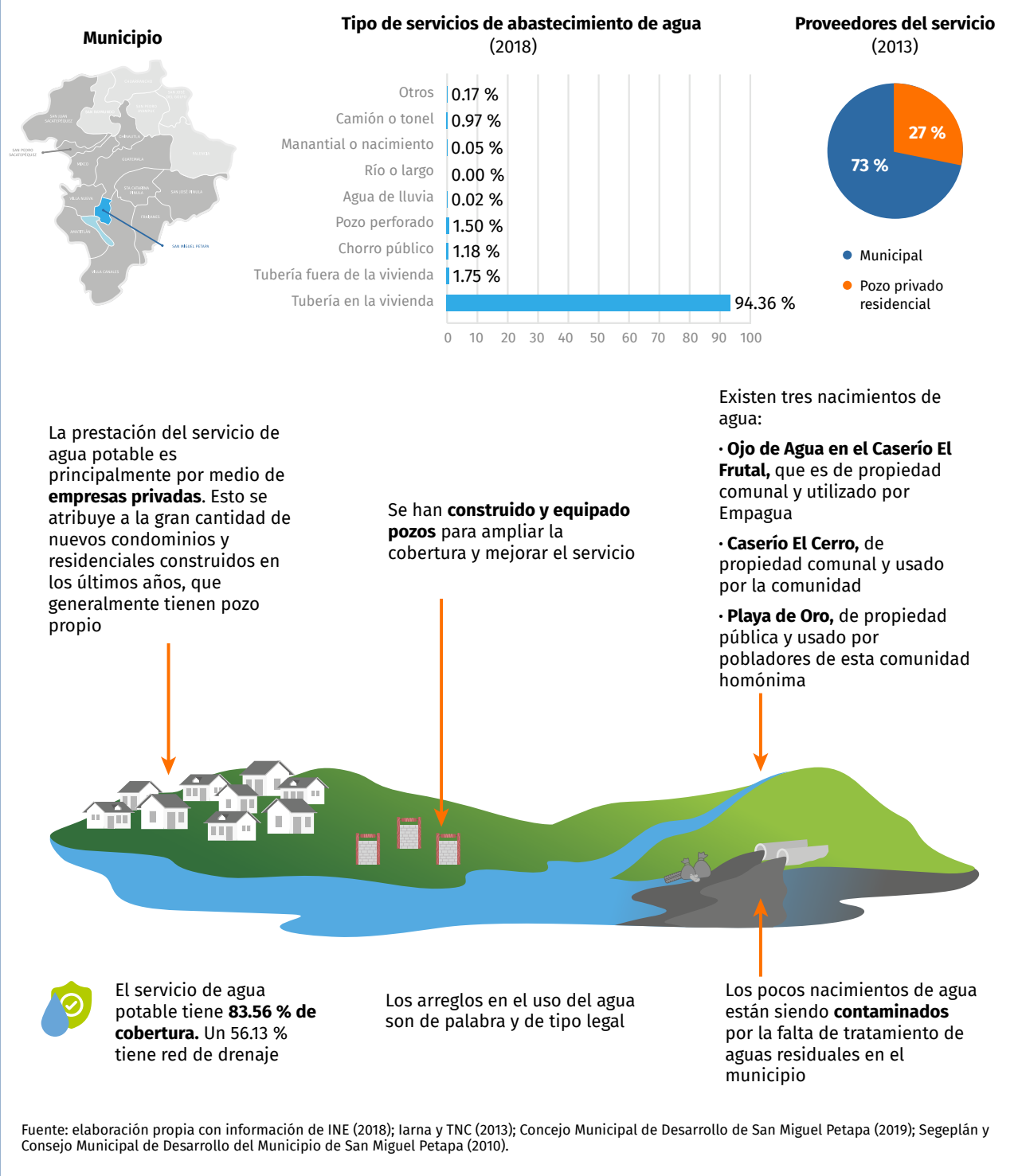
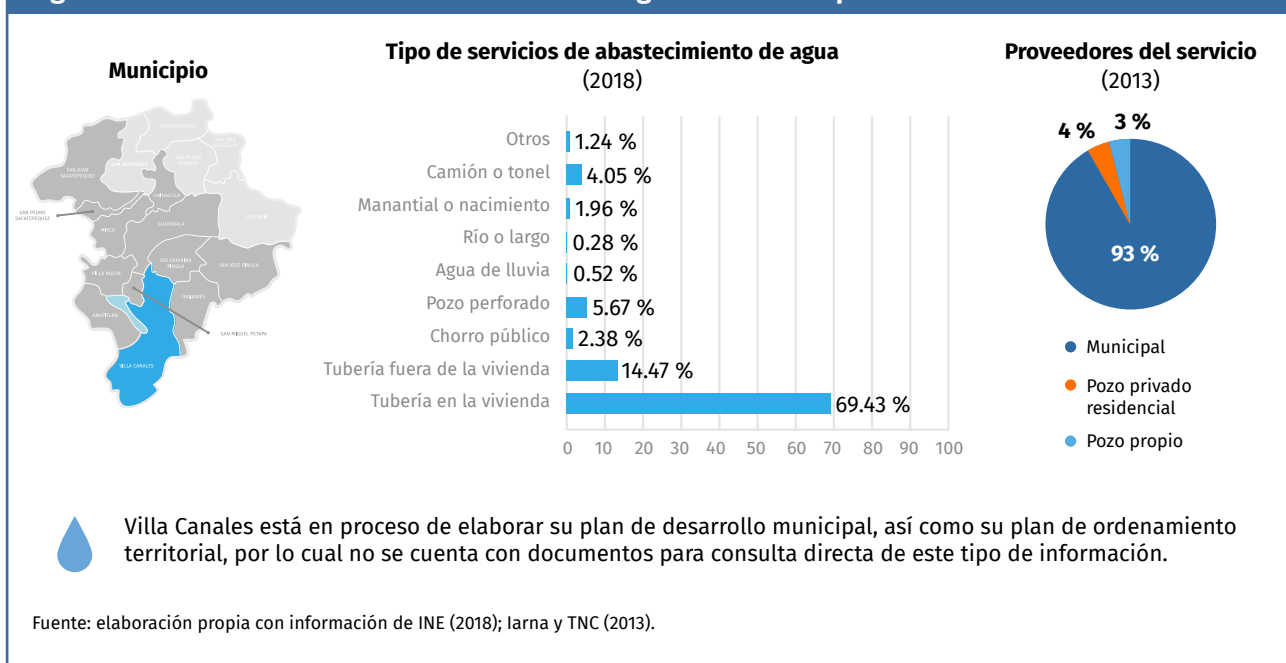
Figura 62. Características del abastecimiento de agua en el municipio de Villa Nueva

Figura 63. Características del abastecimiento de agua en el municipio de San Miguel Petapa

Fuente: elaboración propia con información de INE (2018); Iarna y TNC (2013); Concejo Municipal de Desarrollo de San Miguel Petapa (2019); Segeplán y Concejo Municipal de Desarrollo del Municipio de San Miguel Petapa (2010).

Figura 64. Características del abastecimiento de agua en el municipio de Villa Canales

5.3.2 CALIDAD DEL AGUA DE CHORRO

No existe mucha información sobre la calidad del agua que se abastece en la RMG, sobre todo relacionada con calidad química. Recién se hizo un estudio que analizó la contaminación de agua de chorro en residencias de la ciudad capital a causa de metales pesados, para lo cual se exami-

naron 113 muestras provenientes de hogares ubicados en 20 zonas del municipio de Guatemala (con algunas obtenidas en Villa Nueva, San Miguel Petapa y Villa Canales) y con distintas fuentes de abastecimiento (Empagua, empresas privadas, pozos, entre otros).

De los 20 metales analizados, solamente tres sobrepasaron el límite máximo permisible

(LMP) para agua potable según la norma Coguanor 29001, en algunas de las muestras: aluminio, arsénico y plomo. La prevalencia de arsénico en particular arriba del LMP (una de cada tres casas) representa un riesgo posible para la salud y debe motivar la búsqueda de soluciones para agua limpia en la ciudad (ver detalle en el anexo 19) (Hoponick *et al.*, 2022).

CONCLUSIONES

Son evidentes los signos de deterioro cualitativo y agotamiento de los recursos hídricos en Guatemala. Abordar con propiedad el conocimiento sobre la disponibilidad temporal y espacial de estos recursos como la base para la gestión del territorio es un tema urgente e impostergable, especialmente en áreas urbanas.

La disponibilidad y el acceso al agua de buena calidad influye en las posibilidades de sobrevivencia de los seres vivos, del bienestar humano y del desarrollo sostenible de un sistema socioecológico. La implementación de buenas prácticas y tecnología

determinan la disponibilidad sostenible de este y cualquier otro recurso natural renovable.

Se considera urgente mejorar significativamente la gestión sistémica y la regulación de los recursos hídricos, especialmente enfocadas en garantizar su sostenibilidad. Para tal fin, entre otros aspectos relevantes, es indispensable fundamentar la toma de decisiones en información científica relevante, continua, accesible, y con alto nivel de precisión y detalle. La aplicación de conceptos de vanguardia para la gestión de recursos hídricos, tales como «ciudades sensibles al agua» y «seguridad hídrica», podrían contribuir a fundamentar la discusión sobre la restauración del sistema hidrogeológico de la RMG, incluyendo el lago de Amatitlán.

A partir del análisis del balance hídrico, se concluye que la demanda de agua subterránea se incrementó casi cuatro veces en un periodo de 37 años, y que actualmente el balance hídrico general es negativo, lo que implica que la recarga hídrica potencial es mucho menor a la extracción. Esto último es un claro indicador de sobreexplotación e insostenibilidad del recurso hídrico. Debido a los efectos del cambio climático, se prevé que los años catalogados como secos se presenten con mayor ocurrencia que los húmedos, lo que sugiere que la crisis y agotamiento del acuífero de la RMG se agudizarán.

Es importante contar con información sobre la cantidad y la calidad de agua disponible. El acceso a información sobre calidad del agua no es fácil, pero dicha información sí existe, ya que las empresas de agua están obligadas a hacer análisis de calidad que deberían encontrarse disponibles al público en un sitio centralizado, tanto de forma física como virtual.

En síntesis, las presiones a las que está sometida el agua superficial y subterránea ponen en riesgo la calidad y disponibilidad de las mismas, convirtiéndolas en un recurso de alto valor humano, del cual depende una de las regiones más pobladas, urbanizadas y económicamente importantes del país, como lo es la RMG.

RECOMENDACIONES

La disponibilidad de agua y el acceso a ella son la base para el bienestar humano y de los ecosistemas de una región, por eso se recomienda tratar este tipo de conocimiento con propiedad, integrando la gestión del recurso hídrico a la gestión del territorio, ya que es un tema apremiante e improporrogable para las áreas urbanas del país.

En cuanto al balance hídrico para la RMG, se hace evidente la urgencia de mejorar significativamente la gestión sistémica y la regulación de los recursos hídricos, especialmente enfocadas en garantizar su sostenibilidad. Con este propósito, es importante basar la toma de decisiones en información científica, relevante, continua y

accesible, así como aplicar conceptos de vanguardia para la gestión de los recursos hídricos.

Es necesario analizar variaciones mensuales, anuales e interanuales de precipitación y proyectar distintos escenarios de cambio climático, así como realizar un análisis del comportamiento de la escorrentía para determinar qué cantidad de aguas superficiales corresponden a aguas negras.

Se recomienda continuar con las iniciativas de monitoreo de pozos dentro de la RMG, con el fin de contar con datos actuales del estado de la recarga hídrica para la región.

Debido a la presión sobre las aguas superficiales y subterráneas de la RMG, se hace importante conocer el estado de dichos recursos, tanto en cantidad como en calidad, con el objetivo de establecer medidas y acciones que contribuyan, desde sus diferentes competencias, a conservar y cuidar del agua, y así asegurar su sostenibilidad.

Finalmente, se recomienda la creación de una base de datos a nivel nacional, a cargo de las municipalidades o del MARN, aprovechando que este último solicita un estudio hidrogeológico cuando se perfora un pozo. Asimismo, agregar a los requisitos un informe de perforación y uno de calidad del agua firmado por un geólogo colegiado.

REFERENCIAS Y BIBLIOGRAFÍA CONSULTADA

- Agencia Española de Cooperación Internacional para el Desarrollo y Banco Interamericano de Desarrollo. (2021). *Programa de Saneamiento Ambiental en el Área Metropolitana de la ciudad de Guatemala (AMCG)*.
- Agencia de Cooperación Internacional del Japón e Instituto de Fomento Municipal de la República de Guatemala. (1995). *Estudio sobre el desarrollo de las aguas subterráneas en el altiplano central de la República de Guatemala*.
- Autoridad para el Manejo Sustentable de la Cuenca y del Lago de Amatitlán. (s.f.). *Base de datos 2019-2020* [Excel].
- Ávalos, O. (2008). *Determinación de las áreas principales de recarga hídrica natural de la subcuenta Del Río Belejeyá del municipio de Granados, Baja Verapaz*. [Tesis de grado, Facultad de Agronomía, Universidad de San Carlos de Guatemala]. http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/01/01_2390.pdf
- Centeno, D. (2017). *Calidad ecológica de los recursos hídricos en Reserva Natural Voluntaria Parque Jungla Urbana*. <https://funcagua.org.gt/wp-content/uploads/2020/04/2017.-Calidad-Ecológica-Recursos-H%C3%ADricos-Jungla-Urbana-ARNPG.pdf>
- Consejo Municipal de Chinautla. (2019). *Plan de desarrollo municipal y ordenamiento territorial (PDM-OT) de Chinautla, Guatemala 2020-2032*.
- Consejo Municipal de Desarrollo de Fraijanes. (2020). *Plan de desarrollo municipal y ordenamiento territorial (PDM-OT) de Fraijanes, Guatemala 2020-2032*.
- Consejo Municipal de Desarrollo de San José Pinula. (2018). *Plan de desarrollo municipal y ordenamiento territorial (PDM-OT) de San José Pinula, Guatemala 2018-2032*.
- Consejo Municipal de Desarrollo de San Juan Sacatepéquez. (2019). *Plan de desarrollo municipal y ordenamiento territorial (PDM-OT) de San Juan Sacatepéquez, Guatemala 2019-2032*.

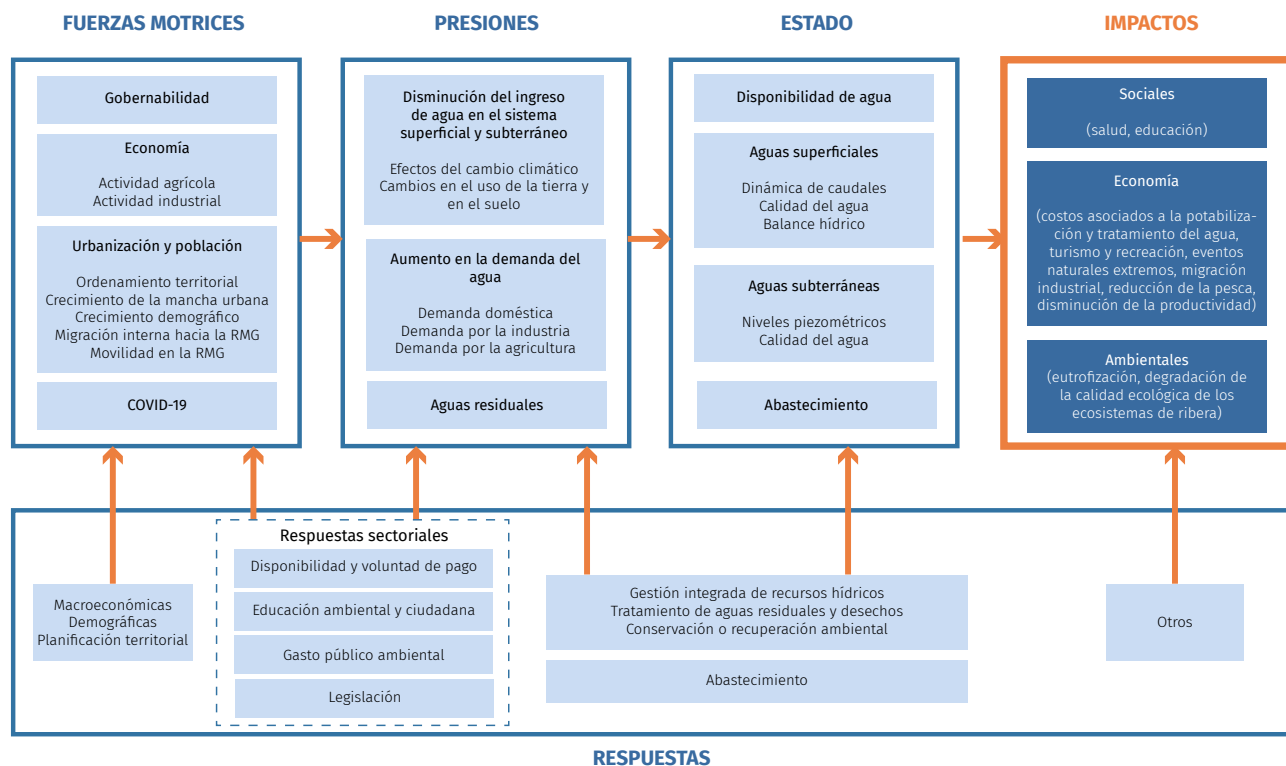
- Consejo Municipal de Desarrollo de San Miguel Petapa. (2019). *Plan de desarrollo municipal y ordenamiento territorial (PDM-OT) de San Miguel Petapa, Guatemala 2020-2032*.
- Consejo Municipal de Desarrollo de San Pedro Sacatepéquez. (2019). *Plan de desarrollo municipal y ordenamiento territorial (PDM-OT) de San Pedro Sacatepéquez, Guatemala 2020-2032*.
- Del Águila, J. (6 de marzo de 2020). Tu Muni perforará pozos para zonas 17 y 18, el plan no incluye la zona 2. *Nómada*. Recuperado de: <https://nomada.gt/pais/actualidad/tu-muni-perforara-pozos-para-zonas-17-y-18-el-plan-no-incluye-la-zona-2/>
- Escuder, R., Fraile, J., Jordana, S., Rivera, F., Sanch-z - Vila, X. y Vásquez-Suñé. (2009). *Hidrogeología, conceptos básicos de hidrología subterránea*. Fundación Centro Internacional de Hidrología Subterránea.
- FQBLab. (2017). *Monitoreo ambiental. Informe de calidad del agua. Cuenca del río Villalobos*.
- Fondo Mundial para la Naturaleza. (2016a). *Producto No. 3. Base de datos con la integración de datos e información de cargas isotópicas de muestras de agua colectadas en estación seca (abril – mayo 2016) en al menos cinco subcuencas seleccionadas*. Proyecto “Monitoreo climático e hidrológico de campo, con énfasis en muestreo y análisis de isótopos estables del agua (D y 18²), en las cuencas Motagua y región metropolitana”.
- Fondo Mundial para la Naturaleza. (2016b). *Producto No. 4. Base de datos con la integración de datos e información de cargas isotópicas de muestras de agua colectadas en estación lluviosa (junio – octubre 2016) en al menos cinco subcuencas seleccionadas*. Proyecto “Monitoreo climático e hidrológico de campo, con énfasis en muestreo y análisis de isótopos estables del agua (D y 18²), en las cuencas Motagua y región metropolitana”.
- Fondo Mundial para la Naturaleza. (2016c). *Producto No. 5. Base de datos con la integración de datos e información climática, hidrogeológica e hidroquímica recopilada durante muestreo de campo de al menos 05 subcuencas seleccionadas de los sitios de estudio*. Proyecto “Monitoreo climático e hidrológico de campo, con énfasis en muestreo y análisis de isótopos estables del agua (D y 18²), en las cuencas Motagua y región metropolitana”.
- Fondo Mundial para la Naturaleza. (2016d). *Producto No. 6. Balances hídricos de suelos y propuestas de modelos hídricos conceptuales de al menos cinco subcuencas seleccionadas*. Proyecto “Monitoreo climático e hidrológico de campo, con énfasis en muestreo y análisis de isótopos estables del agua (D y 18²), en las cuencas Motagua y región metropolitana”.
- Fondo Mundial para la Naturaleza. (2017a). *Informe final. Documento conteniendo balance hídrico de suelos y propuesta de modelos hídricos conceptuales de los sitios seleccionados*. Proyecto “Monitoreo climático e hidrológico en la región metropolitana de Guatemala”.
- Fondo Mundial para la Naturaleza. (2017b). *Producto No. 3. Base de datos con la integración de muestreo hidrológico de campo (abril y mayo 2017)*. Proyecto “Monitoreo climático e hidrológico en la región metropolitana de Guatemala”.
- Fondo Mundial para la Naturaleza. (2017c). *Producto No. 2. Base de datos con la integración de muestreo hidrológico de campo (febrero y marzo 2017)*. Proyecto “Monitoreo climático e hidrológico en la región metropolitana de Guatemala”.
- Fundación para la Conservación del Agua de la Región Metropolitana de Guatemala. (2018). *Plan de conservación del agua para la Región Metropolitana de Guatemala*.
- Fundación para la Conservación del Agua de la Región Metropolitana de Guatemala. (2019). *Análisis piezométrico de pozos de agua para los municipios de la Mancomunidad Gran Ciudad del Sur: Amatitlán, Mixco, San Miguel Petapa, Santa Catarina Pinula, Villa Canales y Villa Nueva, Guatemala*.
- García, S. (2006). *Estudio de los recursos naturales renovables e identificación de área de recarga hídrica natural en la microcuenca del río Tzulba, Joyabaj, El Quiché*. [Tesis de grado, Facultad de Agronomía, Universidad de San Carlos de Guatemala]. http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/01/01_2323.pdf
- Herrera, I. (2018). Sobreextracción de las aguas subterráneas en la cuenca norte de ciudad de Guatemala. *Tikalía*, 2 (XXXVI): 7-30.
- Herrera, I. y Orozco, E. (2010). Hidrogeología de Ojo de Agua, cuenca sur de la ciudad de Guatemala. *Revista Geológica de América Central*, 42: 85-97. Universidad de Costa Rica San José.
- Herrera, I., Manzo, D. y Hernández, E. (2016). *Informe final. Estudio hidrogeológico de los acuíferos volcánicos de la República de Guatemala*. Instituto de Investigaciones Agronómicas y Ambientales, Facultad de Agronomía, Universidad de San Carlos de Guatemala.

- Hoponick, J., Mulhern, R., Castellanos, E., Herrera, I., Wood, E., McWilliams, A., Liyanapatirana, C., Weber, F., Levine, K., Thorp, E., Bynum, N., Amato, K., Najera, M.A., Baker, J., Van Houtven, G., Henry, C., Wade, C., & Kondash, A. J. (2022). *Evaluating the occurrence of metals and PFAS in Guatemala City, Tap Water with Citizen Scientists*. Documento enviado al Boletín de la Organización Mundial de la Salud.
- Instituto de Agricultura, Recursos Naturales y Ambiente y The Nature Conservancy. (2013). *Bases técnicas para la gestión del agua con visión de largo plazo en la zona metropolitana de Guatemala* (Serie para la educación y el cuidado de la vida 3). Universidad Rafael Landívar. <http://www.url.edu.gt/publicacionesurl/FileCS.ashx?Id=40197>
- Instituto Nacional de Estadística. (2018). *XII Censo de Población y VII de Vivienda*.
- Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología. (s.f.). *Base de datos de la Estación Insivumeh y Suiza Contenta de 1990 a 2016* [Excel].
- Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología, Instituto Geográfico Nacional y Organización de Naciones Unidas. (1978). *Informe final del proyecto Estudio de Aguas Subterráneas en Guatemala*.
- Komárková, J., Montoya, H., & Komárek, J. (2016). Cyanobacterial water bloom of *Limnospira robusta* in the Lago Mayor of Lake Titicaca. Can it develop? *Hydrobiologia*, 764(1), 249-258. <https://doi.org/10.1007/s10750-015-2298-x>
- Machorro, R. y Cortez, S. (2018). Contaminación de aguas subterráneas con arsénico en Guatemala. En García, R., Mariño, E., Martínez, D. y Blarasin, M. (Eds.). *El agua subterránea recurso sin fronteras: Química, calidad y contaminación del agua* (Volumen II). Editorial de la Universidad de Salta.
- Manzo, D. (2018). *Reconocimiento hidrogeológico para la determinación de zonas de recarga hídrica en la subcuenca Del Río Pinula, jurisdicción de Santa Catarina Pinula*. [Tesis de grado, Facultad de Agronomía, Universidad de San Carlos de Guatemala]. http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/01/01_2418.pdf
- Michels, A., Lloyd, M., Woeller, R., Dionne, J., Grande, L., Sorto, M., Suarez, A., & Basterrechea, M. (2014). Chapter 4. Sedimentation and Life Expectancy of Lake Amatitlán, Guatemala: Increased Vulnerability Under Future Climate Change. En W. Leal, F. Alves, S. Caeiro, U. Azeiteiro (Eds.), *International Perspectives on Climate Change* (pp. 47-60). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-04489-7_4
- Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación. (2009). *Mapa de cuencas hidrográficas a escala 1:50 000 República de Guatemala método de Pfafstetter (primera aproximación)*. Unidad de Planificación Geográfica y Gestión del Riesgo.
- Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación. (2014). *Uso del suelo y cobertura vegetal 2012* [Shape].
- Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales. (2006). *Acuerdo gubernativo 236-2006. Reglamento de las descargas y reúso de aguas residuales y la disposición de lodos*.
- Municipalidad de Amatitlán y Concejo Municipal de Amatitlán. (2020). *Plan de desarrollo municipal y ordenamiento territorial (PDM-OT) de Amatitlán, Guatemala 2020-2032*.
- Municipalidad de Villa Nueva. (2013). *Plan municipal de desarrollo sostenible de Villa Nueva, Guatemala*.
- Noriega, J. (2005). *Determinación de las áreas principales de recarga hídrica natural en la microcuenca Del Río Sibacá, Chínique, Quiché*. [Tesis de grado, Facultad de Agronomía, Universidad de San Carlos de Guatemala]. http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/01/01_2211.pdf
- Pape, E. e Ixcot, L. (1998). *Economía ambiental y desarrollo sostenible: valoración económica del lago de Amatitlán*. Facultad Latinoamericana de Ciencias Sociales.
- Patzán, J. (18 de marzo, 2019). Comuna habilitará 13 pozos más para extraer agua y afrontar un año de poca lluvia. *Prensa Libre*. <https://www.prensalibre.com/ciudades/guatemala-ciudades/comuna-habilitara-13-pozos-mas-para-extraer-agua-y-afrontar-un-ano-de-poca-lluvia/>
- Paz, V. (2017). *Fuentes de abastecimiento de agua en el municipio de Guatemala*. Asociación Latinoamericana de Empresas de Agua y Saneamiento, Subdirección de Fuentes de Agua Superficial. <http://www.aloas.org/institucional/Documents/Guatemala%20VICTOR%20PAZ.pdf>
- Pelén, M. (18 de marzo, 2019). Empagua planifica la construcción de 13 pozos de agua. *Diario de Centro América*. <http://dca.gob.gt/noticias-guatemala-diario-centro-america/empagua-planifica-la-construccion-de-13-pozos-de-agua/>
- Poeter, E., Fan, Y., Cherry, J., Wood, W., & Mackay, D. (2020). *Groundwater in our water cycle- Getting to know Earth's most important fresh water source*. DOI: 978-1-7770541-1-3

- Procurador de los Derechos Humanos. (29 de junio de 2021). *Informe de acción específica: Falta de pago de jornada extraordinaria de pozos, Empresa Municipal del Agua, Empagua*. Defensoría de las Personas Trabajadoras.
- Ramírez, L. (2003). *Estudio sobre la calidad del agua subterránea del área noreste del valle de la ciudad capital de Guatemala*. [Tesis de Ingeniería Civil, Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala].
- Secretaría de Planificación y Programación de la Presidencia. (s. f.). *Infraestructura de datos espaciales de Guatemala*. Consultado en 2018: <http://ideg.segeplan.gob.gt/geoportal/>
- Secretaría de Planificación y Programación de la Presidencia y Consejo Municipal de Desarrollo del Municipio de Amatitlán. (2010). *Plan de desarrollo municipal de Amatitlán 2011-2025*. Dirección de Planificación Territorial.
- Secretaría de Planificación y Programación de la Presidencia y Consejo Municipal de Desarrollo del Municipio de Chinautla. (2010). *Plan de desarrollo municipal de Chinautla 2011-2025*. Dirección de Planificación Territorial.
- Secretaría de Planificación y Programación de la Presidencia y Consejo Municipal de Desarrollo del Municipio de Fraijanes. (2010). *Plan de desarrollo municipal de Fraijanes 2011-2025*. Dirección de Planificación Territorial.
- Secretaría de Planificación y Programación de la Presidencia y Consejo Municipal de Desarrollo del Municipio de San José Pinula. (2010). *Plan de desarrollo municipal de San José Pinula 2011-2025*. Dirección de Planificación Territorial.
- Secretaría de Planificación y Programación de la Presidencia y Consejo Municipal de Desarrollo del Municipio de San Juan Sacatepéquez. (2010). *Plan de desarrollo municipal de San Juan Sacatepéquez 2011-2025*. Dirección de Planificación Territorial.
- Secretaría de Planificación y Programación de la Presidencia y Consejo Municipal de Desarrollo del Municipio de San Miguel Petapa. (2010). *Plan de desarrollo municipal de San Miguel Petapa 2011-2025*. Dirección de Planificación Territorial.
- Secretaría de Planificación y Programación de la Presidencia y Consejo Municipal de Desarrollo del Municipio de San Pedro Sacatepéquez. (2010). *Plan de desarrollo municipal de San Pedro Sacatepéquez 2011-2025*. Dirección de Planificación Territorial.
- Secretaría de Planificación y Programación de la Presidencia y Consejo Municipal de Desarrollo del Municipio de Santa Catarina Pinula. (2010). *Plan de desarrollo municipal de Santa Catarina Pinula 2011-2025*. Dirección de Planificación Territorial.
- Secretaría de Planificación y Programación de la Presidencia y Consejo Municipal de Desarrollo del Municipio de Santa Catarina Pinula. (2018). *Plan de desarrollo municipal y ordenamiento territorial (PDM-OT) Santa Catarina Pinula 2018-2032*.
- Secretaría de Planificación y Programación de la Presidencia y Municipalidad de Mixco. (2020). *Plan de desarrollo municipal con enfoque territorial de Mixco, Guatemala 2020-2032*.
- Unidad de Manejo de la Pesca y Acuicultura. (2008). *Informe de la pesca y la acuicultura en Guatemala* (Documento técnico 1). Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación.
- Universidad Del Valle de Guatemala. (2020). *Modelación hidrológica en la subcuenca del río Las Vacas*. Centro de Estudios Ambientales y Biodiversidad.
- van Tuylen S. (2020). *Estado de los cuerpos de agua de la cuenca del lago de Amatitlán, 2020*. Autoridad para el Manejo Sustentable de la Cuenca y del Lago De Amatitlán. https://www.researchgate.net/publication/348339405_ESTADO_DE_LOS_CUERPOS_DE_AGUA_DE_LA_CUENCA_DEL_LAGO_DE_AMATITLAN_2020
- van Tuylen, S. (2021). *Lake Amatitlán/Guatemala: Experience and Lessons Learned Brief* [Manuscrito no publicado]. International Lake Environment Committee.

CAPÍTULO 6

IMPACTOS



En este capítulo se relatan los impactos sociales del recurso hídrico sobre la salud humana, la incidencia de enfermedades relacionadas con el agua, y la desnutrición crónica y aguda. También se discuten los vínculos entre el agua y la economía, incluyendo costos de producción asociados a la producción de agua potable y al tratamiento del recurso, los impactos causados por eventos naturales extremos, la migración industrial por falta de agua, la reducción de la pesca debido a la contaminación, así como la reducción de la productividad familiar. De igual forma, se habla sobre la degradación de los ecosistemas existentes dentro de la RMG.

6.1 IMPACTOS SOCIALES

6.1.1 SALUD HUMANA

Para 2016, una gran proporción de enfermedades, 3.3 % de las muertes en el ámbito global y 4.6 % de los años de vida ajustados por discapacidad (AVAD), se atribuían a efectos relacionados con el abastecimiento de agua, saneamiento e higiene (WASH, por sus siglas en inglés). Estos datos representan casi 2 millones de muertes prevenibles, y 123 millones de AVAD prevenibles anualmente, en donde los niños menores de cinco años son particularmente vulnerables (World Health Organization [WHO], 2019).

El acceso a fuentes de agua segura para el consumo y uso humano (usos domésticos, producción de alimentos o recreación) juega un papel im-

portante en la salud pública e incide en el desarrollo social y económico de los países (Fondo de las Naciones Unidas para la Infancia [Unicef], 2019).

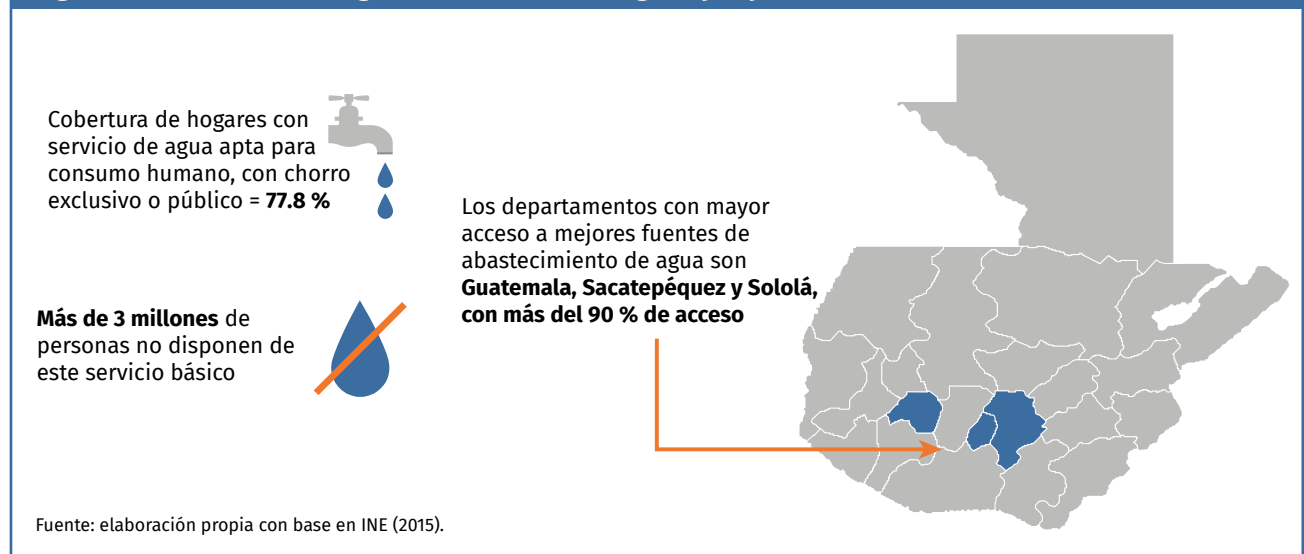
La falta de acceso a suministros de agua y servicios sanitarios, el uso de aguas contaminadas y el manejo inadecuado de aguas residuales producto de actividades urbanas, industriales y agrícolas, se traduce en millones de personas que utilizan agua contaminada con químicos no consumibles o con microorganismos perjudiciales para la salud que producen enfermedades infecciosas, tales como diarrea, hepatitis A, cólera, disentería y fiebre tifoidea, entre otras. A nivel mundial, aproximadamente 829 000 personas fallecen al año como resultado del consumo de agua no segura, deficiente saneamiento e higiene de manos (Unicef, 2019; WHO, 2019).

Aunque estos factores son conocidos ampliamente, más de 2.2 billones de personas en el mundo aún no tienen acceso a agua segura, y más de la mitad de la población mundial aún carece de los medios adecuados de saneamiento (Unicef, 2019).

Los tratados, convenciones, pactos y protocolos internacionales establecen medidas específicas que deben ser adoptadas para garantizar el derecho a la salud de la población en general. A pesar de ello, en Guatemala persiste la desigualdad en el acceso de la población a la atención de salud, así como al agua potable y saneamiento.

Según la Encovi 2014, la cobertura de hogares con servicio de agua apta para consumo humano, con chorro exclusivo o público, era del 77.8 %, tal como se observa en la figura 65 (INE, 2015).

Figura 65. Cobertura de hogares con servicio de agua apta para consumo humano en Guatemala



Los problemas de salud prevenibles causados por contaminación hídrica, saneamiento inadecuado y pobres prácticas de higiene son altamente prevalentes en el país, principalmente en los sectores de mayor pobreza, lo cual agudiza la precariedad de sus condiciones, e incide en el incremento del personal y del gasto público para el tratamiento de enfermedades asociadas a la mala calidad del agua y la falta de saneamiento.

6.1.1.1 Incidencia de enfermedades transmitidas por el agua en el departamento de Guatemala

Las enfermedades transmitidas por alimentos (ETA) se describen en la figura 66.

En el cuadro 11 se presentan los casos y tasas de incidencia de ETA en el departamento de Guatemala, donde se observa que los valores más altos ocurrieron en el área central (ciudad capital) durante los años

Cuadro 11. Número de casos y tasas acumulados de enfermedades transmitidas por alimentos (ETA) por áreas de salud del departamento de Guatemala, Guatemala

Área de salud ^a	2019		2020		2021 ^b	
	No. de casos	Tasa	No. de casos	Tasa	No. de casos	Tasa
Guatemala central	4312	433.31	4529	455.11	1682	169.02
Guatemala sur	3522	313.70	3901	347.46	2006	178.67
Guatemala nororiente	1530	275.12	1792	322.23	1519	273.14
Guatemala noroccidente	2876	335.28	2820	328.75	1373	160.06
Total	12 240		13 042		6 580	

^a Los datos del año 2021 se reportan hasta el mes de abril. Tasa por 100 000 habitantes.

^b **Guatemala central:** zonas 1, 3, 5, 6, 7, 8, 11, 18 y 21. **Guatemala sur:** Amatitlán, Boca del Monte, Peronia, Mezquital, San Miguel Petapa, Villa Canales, Villa Nueva, Ciudad Real. **Guatemala nororiente:** Chinautla, Fraijanes, Palencia, San José del Golfo, San Pedro Ayampuc, San José Pinula, Santa Catarina Pinula, Tierra Nueva. **Guatemala noroccidente:** Mixco, La Comunidad, Ciudad Satélite, San Juan Sacatepéquez, San Pedro Sacatepéquez, San Raymundo, Chuarrañcho.

Fuente: Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social (MSPAS) (2019 a y 2021b).

2019 y 2020. En el 2021 (hasta el mes de abril), la tasa más alta se reportó en la región nororiente del departamento.

A nivel nacional, el grupo más afectado es el que corresponde al rango de edad de 1 a 4 años (MSPAS, 2021b). Esto se

debe a que en este período se logra la madurez inmunológica, y existe mayor vulnerabilidad a enfermedades. Si a esto se suma la malnutrición, la pobreza y condiciones sanitarias insalubres, el riesgo a padecer este tipo de enfermedades es aún mayor.

Figura 66. Enfermedades transmitidas por alimentos

Las enfermedades transmitidas por alimentos (ETA) se originan por la ingestión de alimentos o agua que causan intoxicaciones, infecciones mediadas por toxina o infecciones debido a la presencia de patógenos vivos que liberan toxinas o elementos químicos en cantidades que afectan la salud humana, tales como *Shigella* sp., *Salmonella* sp., *Escherichia coli*, virus de la hepatitis A, *Trichinella spiralis*, *Clostridium botulinum*, entre otros.



Fuente: elaboración propia con base en información de Organización Panamericana de la Salud y Organización Mundial de la Salud (s. f. y 2020).

En el caso de las enfermedades diarreicas, la Organización Mundial de la Salud estima que el 88 % son consecuencia del consumo de agua insalubre y la falta de saneamiento e higiene. Estas, a su vez, producen deshidratación y pueden ocasionar la muerte si no se recibe atención médica adecuada y oportuna (Herrera, 2008; Sesán, 2017). A pesar de que la diarrea es una enfermedad altamente prevenible, su incidencia y mortalidad aún son altas en países en vía de desarrollo (Unicef, 2019; WHO, 2019).

En Guatemala, la incidencia de casos de enfermedad diarreica en menores de cinco años se redujo de 5655 en 2019 a 3620 en 2020 (cuadro 12). Es posible que en el año 2020 las familias mejoraran sus prácticas higiénicas para prevenir el contagio de COVID-19, por lo que los niños tuvieron menos exposición a ambientes insalubres debido a las restricciones para salir de casa, y mejoras en la higiene y saneamiento por parte de las autoridades locales.

En el caso de problemas de salud provocados por contaminantes químicos presentes en el agua, no existe suficiente información a nivel nacional. Un estudio sobre la calidad del agua de chorro en la ciudad de Guatemala brinda datos incipientes, ya que reportó la presencia de aluminio, arsénico y plomo arriba de los límites máximos permisibles en algunas de las muestras analizadas (Hoponick *et al.*, 2022).

Cuadro 12. Número de casos y tasas de enfermedad diarreica en menores de cinco años

Área de salud	2019		2020	
	No. de casos	Tasa*	No. de casos	Tasa
Guatemala central	1990	225.20	1345	152.21
Guatemala sur	1371	137.07	1115	111.48
Guatemala nororiente	842	170.0	625	126.19
Guatemala noroccidente	1452	190.28	535	70.06
Total	5655		3620	

*No. de casos por 100 000 habitantes.

Fuente: MSPAS (2019a).

Estos metales pesados pueden causar daños a la salud en altas concentraciones y, en el caso del arsénico y el plomo, aunque se encuentren en pequeñas cantidades, pueden provocar toxicidad crónica por acumularse en los tejidos humanos, causando daños en varios sistemas del cuerpo humano.

En cuanto al tema de carencia de agua, este factor incide indirectamente en la incapacidad de realizar el lavado de manos adecuadamente, resultando en enfermedades de las vías respiratorias, un desafío que ha sido notable durante la pandemia COVID-19. De los datos disponibles en 2019, se registraron 256 852 casos de infecciones respiratorias agudas (IRA) en el departamento de Guatemala (MSPAS, 2021a). Estas infecciones se transmiten a través de gotitas provenientes de la tos o estornudos que contienen microorganismos patógenos, como el virus sin-

cial respiratorio, adenovirus, virus de la influenza, SARS-CoV-2, streptococos, *Candida* sp., entre otros, que pueden ser eliminados con el lavado adecuado de manos con jabón y agua segura (Centers for Disease Control and Prevention, 2020).

Muchas de las patologías aquí mencionadas son altamente prevenibles, principalmente por medio de la limpieza de alimentos, así como el saneamiento y acceso a agua segura para la higiene de manos e higiene en general, y de allí radica la importancia del acceso a fuentes seguras de agua y el adecuado manejo de aguas residuales (OMS, 2016).

Asimismo, es importante el acceso a la educación y el nivel de escolaridad, especialmente de las mujeres, ya que se ha demostrado que, a mayor educación de la madre, menor es la probabilidad de que los niños presenten problemas de

salud. La educación es fundamental, pues el medio mediante el cual se puede incidir en la modificación de actitudes y prácticas en el hogar relacionadas con higiene, salud infantil y salud reproductiva (MSPAS et al., 2014; Cepal, 2010).

6.1.1.2 Desnutrición crónica y aguda

Guatemala ocupa el primer lugar en América Latina y el sexto en el mundo en cuanto a desnutrición infantil (Unicef, s. f.). En el caso de los municipios del departamento de Guatemala³⁴, los mayores porcentajes de desnutrición aguda y moderada en niños menores de cinco años se presentan en Chinautla y Palencia, tal como se detalla en el anexo 20. Esta situación podría relacionarse con los casos y tasas de ETA en el área nororiente de Guatemala, donde se reporta una incidencia mayor que en otras áreas.

La desnutrición crónica se manifiesta como retardo en el crecimiento infantil, pero además de las consecuencias físicas, Unicef (s. f.) considera que incide en la productividad futura del niño como adulto. Para el periodo 2017-2019, el porcentaje de retardo moderado y severo en los municipios del departamento

de Guatemala ha ido hacia la baja, aunque no se ha logrado una reducción significativa. San Juan Sacatepéquez es el municipio más afectado, y los municipios de San Miguel Petapa y Villa Canales presentan un retardo severo arriba del 5 % (MSPAS, 2019b) (ver en detalle en el anexo 21).

La mortalidad infantil en Guatemala es del 3.4 % (Unicef, s. f.). Las principales causas son las enfermedades diarreicas y la neumonía (que suman el 54 % de las causas), que están asociadas a algún grado de desnutrición.

Existe una relación directa entre la diarrea (infección) y la desnutrición. El niño que padece de diarreas tiende a desnutrirse con rapidez, debido a que disminuye la capacidad de absorber los nutrientes de los alimentos, además de que come en menor cantidad. Esto provoca que sus defensas sean más bajas, agravando la situación. La predisposición a padecer diarreas debido a las malas prácticas de saneamiento ambiental y a agua contaminada reduce las posibilidades de mejorar su estado nutricional, por lo que se convierte en un círculo vicioso entre diarrea y desnutrición, deteriorando su salud (USAID y Wash Plus, 2013; Sesán, 2017).

6.1.2 EDUCACIÓN

La falta de agua puede impactar la educación de los niños, especialmente de las niñas. Por un lado, la población ca-

rente de servicios básicos de higiene sufre con mayor frecuencia enfermedades transmitidas por agua y alimentos, con lo cual los niños se ven imposibilitados de asistir a la escuela. Otro factor de ausencia escolar resulta de las tareas de acarreo de agua que a menudo realizan los niños con sus madres, que puede implicar entre 3 y 4 horas promedio, y que tienden a coincidir con la jornada de estudio (Rasgua, 2007 en Lentini, 2010, p. 21).

La ausencia de servicios sanitarios en la escuela puede llevar a mayores índices de deserción escolar (Bosch y otros, 1999 en Lentini, 2010, p. 21), especialmente en las niñas cuando inician a menstruar, ya que no pueden asearse correctamente.

En 2020, el Ministerio de Educación (Mineduc) realizó un informe en el cual reportó que a nivel nacional 10 mil escuelas no contaban con acceso a servicios sanitarios ni de agua potable, o requerían mejoras en los sistemas de agua potable (Quino, 2020) (figura 67). De esta cifra, a enero de 2021 se había logrado atender únicamente las necesidades de 1200 establecimientos educativos, lo cual pone en riesgo la asistencia a la escuela de al menos 800 000 niños (García y Sapalú, 2021). Dada la prevalencia de la pandemia de COVID-19, los estudiantes de estos establecimientos no podrán retornar a las aulas en el próximo ciclo escolar, debido a que el lavado de manos

³⁴ Dicho análisis se realiza con base en el informe de análisis del registro de control de crecimiento (Sigsa 5A) de los niños de 0 a 59 meses que asistieron a los servicios del MSPAS, tomando como referencia los años del 2017 al 2019 (MSPAS, 2019b).

con agua y jabón es una de las principales medidas de prevención de esta enfermedad, lo cual podría contribuir a aumentar los casos de deserción escolar.

6.2 IMPACTOS EN LA ECONOMÍA

Los vínculos entre el agua y la economía son innegables, y en Guatemala las principales exportaciones están estrechamente relacionadas al aprovechamiento de dicho recurso. Sin embargo, la gestión inadecuada y los problemas asociados señalados en los capítulos anteriores repercuten en la economía de varios sectores y de la población en general, al tener que absorber los costos que implica el mejorar la calidad del agua, su acceso y disponibilidad, además de sufrir los impactos económicos de eventos climáticos extremos



bajo un marco débil de gestión territorial municipal.

En esta sección se incluye información sobre el costo de producción del agua potable en la RMG, los vínculos económicos del agua y el turismo, los eventos naturales extremos y su impacto sobre la

economía, la migración industrial, la reducción de la pesca debido a la contaminación del recurso hídrico y la reducción de la productividad familiar.

6.2.1 COSTOS ASOCIADOS A LA PRODUCCIÓN DE AGUA POTABLE Y TRATAMIENTO DEL AGUA EN LA RMG

Tal como se indicó en el capítulo anterior, las aguas superficiales se encuentran con algún grado de contaminación, por lo que las municipalidades que se abastecen de estas fuentes deben destinar un presupuesto considerable para potabilizar el agua y, además, al disminuir su disponibilidad por la mala calidad, deben invertir en la extracción de agua de los mantos acuíferos.

En el cuadro 13 se presentan los costos de producción de agua potable en la RMG y en la

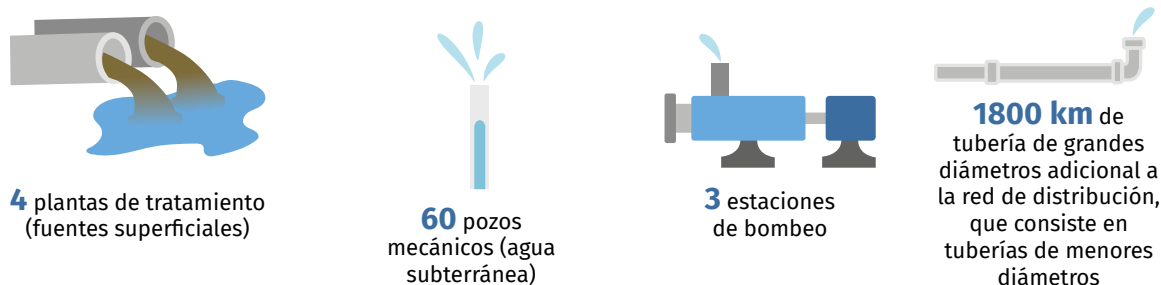
Cuadro 13. Costos de producción de agua potable según fuente de abastecimiento en la RMG (abril 2021)

Fuente	Planta de almacenamiento	Costo promedio (GTQ) de producción/m ³	Cantidad m ³ (promedio mensual)	Total (GTQ)
Xayá-Pixcayá	Lo de Coy	0.48	2 612 405.00	1 253 954.40
Teocinte	Santa Luisa	0.79	529 758.00	418 508.82
Pinula	El Cambray	2.33	247 149.00	575 857.17
Teocinte	Las Ilusiones	2.76	430 484.00	1 188 135.84
Sistema de pozos	Ojo de Agua	2.27	1 761 578.00	3 998 782.06
	Emergencia I	1.77	1 131 078.00	2 002 008.06

Fuente: Empagua (2021)⁴⁰.

Figura 68. Costos asociados a la producción de agua potable y tratamiento del agua en la Región Metropolitana de Guatemala

Para producir agua potable, Empagua utiliza:



Fuente: elaboración propia con base en información proporcionada por Empagua.

figura 68 se incluyen las formas de producción y tratamiento utilizadas por Empagua. Según información proveída por Empagua, el costo de producción por metro cúbico de agua potable oscila entre 25 a 30 centavos de dólar³⁵.

De acuerdo con el Iarna (2006), se estima que se invierte aproximadamente 75 centavos de dólar por metro cúbico para el tratamiento de aguas negras en las plantas de tratamiento, lo que implicaría que para su autosostenibilidad se deberían cobrar tarifas cinco veces más altas por cada conexión, que las que actualmente se cobran por el agua potable. En otros países, como Costa Rica, la tarifa de agua potable incluye, no solo costos de potabilización y saneamiento, sino además una tasa para la conservación

de los bosques que proveen el agua.

6.2.2 Los vínculos económicos del agua y el turismo y recreación

El turismo contribuye con el 10.2 % del PIB nacional (Instituto Guatemalteco de Turismo [Inguat], 2017). La afluencia turística se debe, tanto a la riqueza del entorno cultural como a la natural, donde el agua es un elemento central de belleza escénica, indispensable para la puesta en valor de este servicio (Segeplán, 2006).

Varias actividades y ofertas recreativas en la región metropolitana están asociadas a cuerpos de agua. Por ejemplo, el lago de Amatitlán es un sitio importante de visitación local por su atractivo paisajístico

y por la existencia de varios centros recreativos cuya oferta se basa en la disponibilidad de fuentes de aguas termales. También existen otras ofertas de actividades recreativas en áreas como laguna Calderas, Cerro Alux, Parque Ecológico Deportivo Cayalá, entre otras.

Lentini (2010, p.26) acota que el turismo receptivo «valora fuertemente la calidad del entorno natural, donde el agua se presenta como uno de los principales elementos visuales y estéticos» y, por lo tanto, el atractivo turístico del país se puede ver impactado por la degradación de los ecosistemas acuáticos (lagos y ríos contaminados por descargas de alcantarillado sin tratamiento y basura) y la probabilidad de adquirir alguna enfermedad asociada a la mala calidad del agua o alimentos contaminados.

³⁵ En esta sección únicamente se incluye información proveniente de Empagua, dado a que no se encontró información sobre proveedores de servicio privados, que son los principales proveedores en algunas regiones de la RMG.

Un ejemplo de ello es el lago de Amatitlán, que ha perdido su atractivo turístico y ya no es considerado como un destino de visitación principal debido al grado de contaminación y por ser un sumidero de desechos. En la actualidad, el turismo es principalmente local y en ocasiones de algunos municipios aledaños³⁶.

Es importante mencionar que este sector económico, además de estar potencialmente amenazado por la calidad del agua, también se ve afectado directamente por los efectos del cambio climático. La disminución de la calidad ambiental y la oferta hídrica impactan al sector y, por ende, a la economía del país.

6.2.3 Eventos naturales extremos y economía

Las inundaciones se consideran uno de los desastres más costosos y perjudiciales, cuya frecuencia y gravedad han aumentado en la última década (Flores y Cifuentes, 2019). Los eventos naturales extremos³⁷ se ven exacerbados por la interrupción del ciclo hidrológico y en la región metropolitana se pueden nombrar como algunas de las causas principales: (a) la mala gestión y falta de inversión en ampliación, construcción y mantenimiento

de infraestructura de la red de alcantarillado público y drenajes; y (b) la gestión deficiente y la falta de implementación de medidas para la gestión del riesgo, que se agravan por la impermeabilización de las zonas naturales para infiltración y zonas de amortiguamiento para la disminución de la escorrentía.

Según González (2018), el sistema de aguas y drenajes no ha sufrido mayores cambios en infraestructura y mejoras del servicio desde hace más de dos décadas. Evidencia de esto son los hundimientos de las zonas 6 y 2, los cuales se atribuyen a una recarga excesiva al sistema de colectores de drenajes de la ciudad y a los sistemas de drenaje superficial, sumado a condiciones anómalas del subsuelo (Gobierno de Guatemala, 2010). En el caso de los hundimientos observados durante el 2019 en el sector de la zona 7 y Mixco, se estima que es necesario construir un sistema de drenajes con un costo de GTQ 75 millones (Felipe, 2019).

Los impactos económicos que generan estos eventos van desde el colapso del tránsito, daños en la infraestructura pública (puentes y calles, entre otros) hasta la pérdida de bienes materiales en los hoga-

res y en ocasiones los daños trascienden de lo económico a la pérdida de vidas humanas, tal como sucedió en el 2015 en el Cambray II.

6.2.4 Migración industrial por falta de agua

Aunque no se dispone de información sobre la tasa de traslado de la industria de la región metropolitana a otras áreas del país, o incluso del cierre de operaciones locales para abrir plantas en otros países debido a la escasez de agua, es de esperar que aquellas industrias con un alto índice de requerimientos de agua para sus procesos productivos -que obviamente dependen de la disponibilidad y calidad de esta-, consideren migrar a áreas con mayor disponibilidad hídrica, ante un escenario de estrés hídrico en la RMG.

El cierre o traslado de operaciones traería consigo un impacto en la economía local, si se toma en consideración que el 64 % de la industria está concentrada en la RMG. Los municipios que conforman el Corredor Económico de Guatemala³⁸ dentro de la RMG generaron aproximadamente el 46.76 % del PIB nacional, en donde la ciudad capital de Guatemala re-

³⁶ Juliana Skaggs. Delegada Región V, Inguat. Comunicación personal. 3 de septiembre de 2021.

³⁷ Como el huracán Mitch, ocurrido en 1998, que ocasionó deslaves y derrumbes que dejaron 55 personas fallecidas, 70 lesionadas, además de 2053 evacuadas en la ciudad capital y 2500 en el área metropolitana (Hemeroteca Prensa Libre, 8 de octubre y 29 de octubre; Galicia, 2015).

³⁸ San Pedro Sacatepéquez, San Juan Sacatepéquez, Mixco, Guatemala, Palencia, San José Pinula, Villa Nueva, San Miguel Petapa, Fraijanes, Villa Canales y Amatitlán.

presentó el 38.22 % del PIB del corredor (Córdova, 2019, p. 9).

Si bien es necesaria la descentralización de la industria para generar más oportunidades en ciudades intermedias y brindar soluciones a la migración interna hacia la RMG, esto probablemente desembocaría en la pérdida de empleos y un impacto en la economía del Corredor Económico de Guatemala.

6.2.5 Reducción de la pesca por contaminación

Hace aproximadamente 30 años, la pesca masiva era posible en el lago de Amatitlán, actividad que era regular a pesar del progresivo deterioro de dicho cuerpo de agua; en la actualidad, solo una especie predomina en el lugar. Con el pasar de los años, la cantidad de peces disminuyó, y la introducción de la tilapia acabó con otras especies; dicha especie puede sobrevivir en lugares contaminados y es comercialmente apetecida. En 1992 se prohibieron varias prácticas de pesca, incluyendo el trasmallo y el uso de anzuelo, especialmente en épocas de veda (Galicia, 2018).

Hoy en día, el ecosistema del lago está muy deteriorado, debido a la carencia de acuerdos entre autoridades de los siete municipios que conforman la cuenca y los que producen las aguas residuales de la ciudad capital. Con el fin de prevenir aún más deterioro, AMSA pidió

en 2016 regular la extracción de basura, y así evitar vertederos clandestinos (Galicia, 2018).

En la actualidad, la pesca sigue siendo local con fines de autoconsumo. El recurso pesquero se ha mantenido entre 145 y 180 toneladas métricas (TM) al año, pero los pescadores reportan que ha habido una disminución en las tallas por el deterioro del ecosistema (Unipesca, 2008).

6.2.6 Reducción de la productividad familiar

El acceso limitado a agua potable impacta en el bienestar económico y social de la familia. Por ejemplo, la productividad de los adultos se ve afectada por la cantidad de tiempo que deben invertir en ir a traer agua o por la ausencia de sus labores porque ellos o sus hijos padecen una enfermedad relacionada con el agua (Unicef, s. f.).

6.3 IMPACTOS EN EL AMBIENTE

Los ecosistemas acuáticos de la región metropolitana han sufrido una degradación sistemática derivada del cambio de uso del suelo, así como de la degradación de la cuenca, como de la disposición de aguas residuales urbanas e industriales sin tratamiento en los cuerpos de agua, que aportan altas cargas contaminantes de nutrientes y materia orgánica.

La falta de interés e inversión en la conservación y recuperación del ambiente, así como la ausencia de implementación de acciones contundentes para contrarrestar los impactos derivados de las actividades humanas, han causado la pérdida de la calidad de estos ecosistemas y de los servicios ambientales que brindan.

6.3.1 Degradación de la calidad ecológica de los ecosistemas de ribera

El deterioro de la calidad del agua en áreas urbanizadas se está convirtiendo cada día en un problema más serio, que afecta la ecología regional y el desarrollo de la economía (Zhihui *et al.*, 2022).

Los ecosistemas forestales son los más grandes proveedores de agua de calidad y contribuyen a mantener una mejor distribución de flujos base durante el año. No obstante, estos servicios ambientales han sido afectados negativamente por la presión de actividades antropogénicas debido al declive y al deterioro de áreas forestales, así como a la inadecuada gestión de los recursos hídricos (Laino-Guanes, *et al.*, 2016).

Es de conocimiento general que los ecosistemas de ribera y los ríos de la región metropolitana se encuentran fuertemente degradados e impactados por las distintas actividades que se realizan en el área y por la falta de imple-

mentación de acciones que mitiguen o corrijan los impactos de estas actividades. Se han realizado algunas investigaciones aisladas y discontinuadas

en algunos ríos: río La Campana, río Negro, río Agua Tibia, y un monitoreo más sistemático y constante en algunos puntos de los ríos de la cuenca del

lago de Amatitlán; sin embargo, se requiere generar más investigación e información que permita conocer el estado de estos ecosistemas.

CONCLUSIONES

El impacto de la crisis de gobernanza en el país, la falta de políticas de agua actualizadas, así como una infraestructura deficiente, afectan la mejora de la cobertura y calidad de los servicios. Esto tiene un impacto en las condiciones de salud y educación, que se ve reflejado en las altas tasas de morbilidad por enfermedades transmitidas por alimentos (ETA) y enfermedades diarreicas, respiratorias y cutáneas que afectan principalmente a los menores de 1 a 4 años por su alta vulnerabilidad y un sistema inmune en proceso de madurez. Esta situación se vuelve un círculo-vicioso de salud-enfermedad, en la cual los niños se ven expuestos a déficit de energía y nutrientes que conllevan a la desnutrición aguda, y cuando esto es recurrente y la deficiencia se vuelve constante a lo largo del tiempo, puede afectar el crecimiento y desarrollo adecuado del niño para llegar a clasificar su estado como desnutrición crónica.

Esta situación no solo afecta la salud, si no la educación, ya que un niño con desnutrición crónica también ve afectado su rendimiento escolar, lo que puede influir en las tasas de repitencia o deserción escolar, y ser en un futuro un adulto con baja productividad y baja generación de ingresos. Además, las condiciones de calidad de agua, sanitarios y saneamiento en las escuelas puede ser un factor que promueva la deserción escolar, en especial en las niñas y jóvenes de educación básica. Asimismo, la educación de la población sobre potabilización del agua, higiene y saneamiento es clave para prevenir enfermedades relacionadas con el agua.

El impacto de la crisis de gobernanza en el país, la falta de políticas de agua actualizadas, así como una infraestructura deficiente, afectan la mejora de la cobertura y calidad de los servicios y su acceso. Esto influye en las condiciones de salud, educación, el turismo, la economía y los ecosistemas de la RMG, disminuyendo el potencial del capital natural, el humano y el del acceso a una vida digna con el goce pleno de los derechos humanos.

Los eventos naturales extremos ponen de manifiesto la vulnerabilidad de la población en el país. Estos eventos son de particular importancia dentro de la RMG debido a la mala gestión y falta de inversión y mantenimiento de la red de alcantarillado público y drenajes y de la infraestructura en general, lo cual agrava la situación, dando como resultado pérdidas económicas y humanas. Asimismo, existe otro tipo de pérdidas, causadas por la escasez de agua, entre ellas las que la industria de la RMG sufre al tener que cerrar operaciones locales para abrir plantas en otras regiones.

A partir del año 2020, se presenta otro desafío para el Gobierno de Guatemala a nivel de salud y educación, ya que las condiciones de higiene y saneamiento deben mejorarse, especialmente bajo el contexto de la pandemia de COVID-19. El mayor riesgo es en las escuelas, ya que, sin mejoras en su estructura, miles de niños no podrán estudiar de manera presencial según las disposiciones gubernamentales. Por lo tanto, es necesario contar con políticas de agua actualizadas e implementadas, así como con infraestructura adecuada que provea una cobertura de calidad tanto para los servicios de salud, como los servicios educativos.

RECOMENDACIONES

Debido a que la educación de la población sobre potabilización del agua, higiene y saneamiento es clave para la prevención de enfermedades transmitidas por el agua, se recomienda generar y apoyar iniciativas WASH dirigidas a la población de la RMG, principalmente a las escuelas.

Con respecto a la degradación de los ecosistemas acuáticos en la RMG, se hace necesario que crezca el interés de los gobiernos locales en invertir en la conservación y recuperación del ambiente, y que se implementen acciones contundentes para contrarrestar los impactos derivados de las actividades humanas.

Para finalizar, se hace evidente la falta de información económica, social y ambiental actualizada y relevante para la RMG, por lo que se recomienda llevar a cabo estudios que llenen este vacío de información.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS Y BIBLIOGRAFÍA

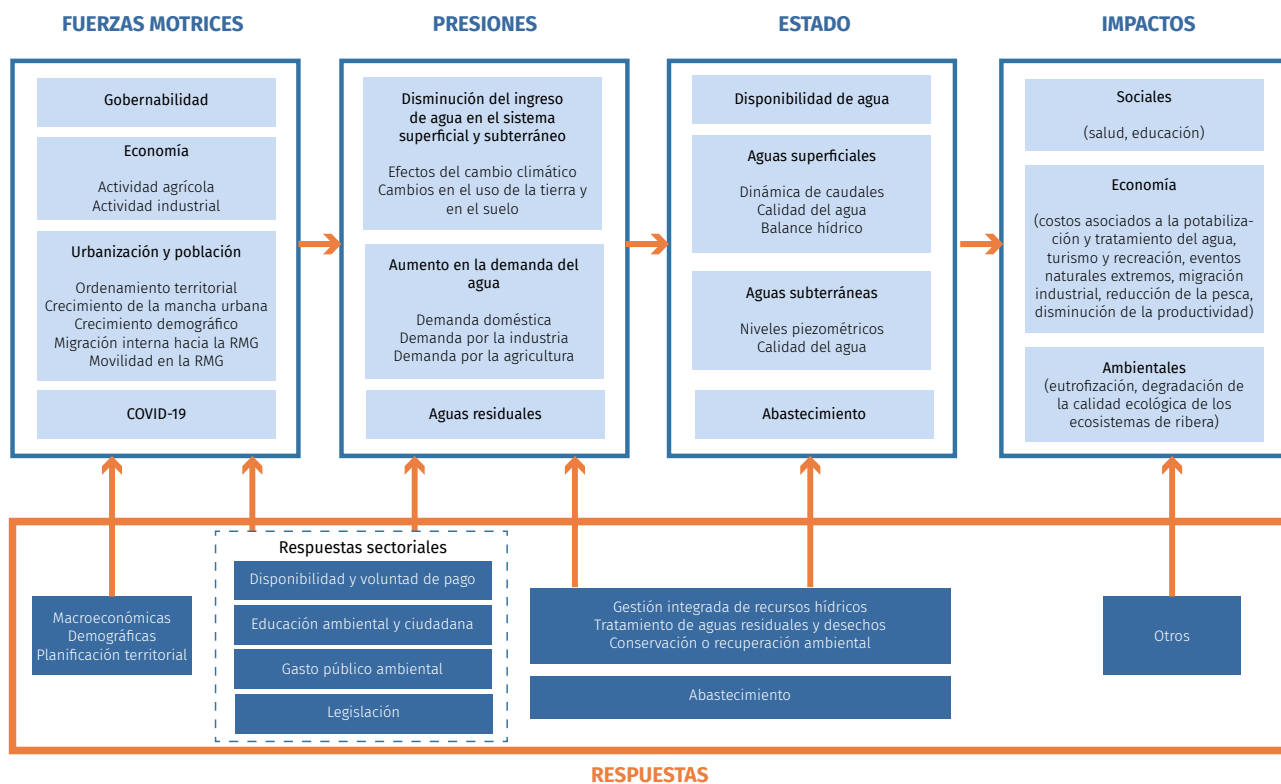
- Banco de Guatemala e Instituto de Agricultura, Recursos Naturales y Ambiente. (2009). *Cuenta Integrada de Recursos Hídricos. Resultados y análisis*.
- Castellanos et al. (2021). *Contenido de metales en muestras de agua del chorro del municipio de Guatemala y alrededores* [Informe de proyecto de investigación pendiente de publicar].
- Centers for Disease Control and Prevention. (2020). *National Center for Immunization and Respiratory Diseases (NCIRD)*.
- Comisión Económica para América Latina y el Caribe. (2010). *Servicios de agua potable y saneamiento en Guatemala: beneficios potenciales y determinantes de éxito. Igarss 2014 (Issue 1)*. https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/3787/LCW335_es.pdf?sequence=1
- Córdova, E. (2019). *Diagnóstico corredores económicos (Resúmenes)*. Proyecto Creando Oportunidades Económicas, Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional.
- Empresa Municipal de Agua. (2011). *Sistemas de producción de agua subterránea* [Presentación en Power Point].

- Felipe, O. (4 de noviembre de 2019). *Buscan solución a problemas de hundimiento en jurisdicción de Mixco*. Congreso de la República. https://www.congreso.gob.gt/noticias_congreso/3660/2019/1#gsc.tab=0
- Flores, O. y Cifuentes, I. (2019). Asentamientos humanos e infraestructura. 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. 192–211). Editorial Universitaria, Universidad Del Valle de Guatemala.
- Fondo de las Naciones Unidas para la Infancia. (s. f.). *En Guatemala el 49,8% de los niños sufre desnutrición crónica*. <https://www.unicef.es/noticia/en-guatemala-el-498-de-los-ninos-sufre-desnutricion-cronica-maria-claudia-santizo-oficial>
- Fondo de las Naciones Unidas para la Infancia. (2019). *Water, Sanitation and Hygiene*.
- Galicia, N. (2018). Amatitlán era un lugar de pesca. *Prensa Libre*. <https://www.prensalibre.com/hemeroteca/amatitlan-era-un-lugar-de-pesca/>
- Galicia, N. (31 de octubre de 2015). Mitch deja destrucción y muerte en 1998. *Prensa Libre*. <https://www.prensalibre.com/hemeroteca/huracan-mitch-deja-destruccion-y-muerte-en-1998/>
- García, E y Sapalú, L. (2021). Mineduc sin avances en el remozamiento de 10 mil escuelas. *El Periódico*. <https://elperiodico.com.gt/nacionales/2021/01/12/mineduc-sin-avances-en-el-remozamiento-de-10-mil-escuelas/>
- Gobierno de Guatemala. (2010). *Evaluación de daños y pérdidas sectoriales y estimación de necesidades ocasionados por desastres naturales en Guatemala entre mayo septiembre de 2010*.
- Gobierno de Guatemala. (2013). *Política nacional del sector de agua potable y saneamiento*. http://www.segeplan.gob.gt/downloads/clearinghouse/politicas_publicas/Salud/Politica_Nacional_del_Sector_de_Agua_Potable_y_Saneamient.pdf
- González, B. (2018). Agua y ciudad: análisis y perspectivas del consumo de agua en el municipio de Guatemala. *Revista Análisis de la Realidad Nacional*, año 7, edición 24, abril-junio. Instituto de Problemas Nacionales Universidad de San Carlos de Guatemala. https://www.academia.edu/40988424/Agua_y_ciudad_análisis_y_perspectivas_del_consumo_de_agua_en_el_municipio_de_Guatemala
- Hemeroteca Prensa Libre. (8 de octubre de 2017). 2005: tormenta Stan, peor que el Mitch. *Prensa Libre*. <https://www.prensalibre.com/hemeroteca/huracan-stan-en-guatemala-2005/>
- Hemeroteca Prensa Libre. (29 de octubre de 2017). Huracán Mitch cae con fuerza sobre Guatemala. *Prensa Libre*. <https://www.prensalibre.com/hemeroteca/el-huracan-mitch-se-ensaa-con-guatemala/>
- Herrera, H. (2008). *Factores de riesgo asociados a morbi-mortalidad por diarrea en menores de 5 años*.
- Hoponick, J., Mulhern, R., Castellanos, E., Herrera, I., Wood, E., McWilliams, A., Liyanapatirana, C., Weber, F., Levine, K., Thorp, E., Bynum, N., Amato, K., Najera, M.A., Baker, J., Van Houtven, G., Henry, C., Wade, C., & Kondash, A. J. (2022). *Evaluating the occurrence of metals and PFAS in Guatemala City, Tap Water with Citizen Scientists*. Documento enviado al Boletín de la Organización Mundial de la Salud.
- Instituto de Agricultura, Recursos Naturales y Ambiente, Facultad de Ciencias Ambientales y Agrícolas e Instituto de Incidencia Ambiental. (2006). *Síntesis del Perfil Ambiental de Guatemala*. Universidad Rafael Landívar
- Instituto de Agricultura, Recursos Naturales y Ambiente. (2008). *Perfil Ambiental de Guatemala 2008-2009. Las señales ambientales críticas y su relación con el desarrollo*. Universidad Rafael Landívar.
- Instituto Guatemalteco de Turismo. (2017). *Ficha técnica de la discusión “Presupuesto multianual 2018-2022, RUTA PAÍS 5 AÑOS”*.
- Instituto Nacional de Estadística. (2015). *República de Guatemala: Encuesta Nacional de Condiciones de Vida 2014. Principales resultados*. <https://www.ine.gob.gt/sistema/uploads/2015/12/11/vjnvdb4izswoj0ztuivpicaaxet8lzqz.pdf>
- Laino-Guanes, R., González-Espinosa, M., Ramírez-Marcial, N., Bello-Mendoza, R., Jiménez, F., Casanoves, Fernando, & Musálem-Castillejos, K. (2016). human pressure on water quality and water yield in the upper Grijalva River Basin in the Mexico-Guatemala Border. *Ecohydrology & Hydrobiology*, 16 (3): 149–59. <https://doi.org/10.1016/j.ecohyd.2015.12.002>.
- Lentini, E. (2010). *Servicios de agua potable y saneamiento en Guatemala: beneficios potenciales y determinantes de éxito*. Comisión Económica para América Latina y el Caribe, División de Recursos Naturales e Infraestructura.
- Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social. (2019a). *Situación epidemiológica enfermedades transmitidas por agua y alimentos (ETAs)*. <http://epidemiologia.mspas.gob.gt/files/2020/salassituacionales/etas/ETASSE92020.pdf>

- Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social. (2019b). *Informe del análisis del registro de control de crecimiento (SIGSA 5A) de los niños y niñas de 0 a 59 meses que asistieron a los servicios del Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social*.
- Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social. (2021a). *Morbilidad por IRAs y ETAs*.
- Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social. (2021b). *Situación epidemiológica enfermedades transmitidas por agua y alimentos (ETAs)*.
- Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social, Instituto Nacional de Estadística y Secretaría de Planificación y programación de la Presidencia. (2014). *VI Encuesta Nacional de Salud Materno Infantil*.
- Organización Mundial de la Salud. (s. f.). *Agua*. Recuperado el 22 de mayo de 2021, <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/drinking-water>
- Organización Mundial de la Salud. (2016). Prevención y control de las infecciones respiratorias agudas con tendencia epidémica y pandémica durante la atención sanitaria. *Enfermedades Pandémicas y Epidémicas*, 1, 1–156.
- Organización Panamericana de la Salud y Organización Mundial de la Salud. (s. f.). *Enfermedades transmitidas por alimentos*. <https://www.paho.org/es/temas/enfermedades-transmitidas-por-alimentos>
- Organización Panamericana de la Salud y Organización Mundial de la Salud. (2020). *Enfermedades transmitidas por alimentos (ETA)*.
- Quino, H. (2020). Covid-19: Mineduc registra 10 mil escuelas sin agua potable ni servicios sanitarios. *La Hora*. <https://lahora.gt/covid-19-mineduc-registra-10-mil-escuelas-sin-agua-potable-ni-servicios-sanitarios/>
- Secretaría de Planificación y Programación de la Presidencia. (s. f.). *Infraestructura de datos espaciales de Guatemala*. Consultado en 2018: <http://ideg.segeplan.gob.gt/geoportal/>
- Secretaría de Planificación y Programación de la Presidencia. (2006). *Estrategia para la Gestión Integrada de Los Recursos Hídricos de Guatemala. Diagnóstico*. Banco Interamericano de Desarrollo.
- Secretaría de Seguridad Alimentaria y Nutricional. (2017). *Agua potable y saneamiento para prevenir la desnutrición crónica*. <http://www.sesan.gob.gt/wordpress/2017/08/28/agua-potable-y-saneamiento-para-prevenir-la-desnutricion-cronica/>
- Unidad para el Manejo de la Pesca y Acuicultura. (2008). *Informe de la pesca y la acuicultura en Guatemala* (Documento técnico 1). Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación. Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación.
- U.S. Agency for International Development, & Wash Plus. (2013). *Integrating Water, Sanitation, and Hygiene into Nutrition Programming | WASHplus*. <http://www.susana.org/resources/documents/default/3-2149-7-1422027201.pdf>
- World Health Organization. (2019). *Drinking-water*.
- World Water Foundation. (2017). *Turismo y agua, una relación difícil que debe ser modélica*. Recuperado de: https://www.wearewater.org/es/turismo-y-agua-una-relacion-difcil-que-debe-ser-modelica_282641
- Zhihui, Y., Wang, Q., Xu, Y., Lu, M., Lin, Z. & Gao, B. (2022). Dynamic impacts of changes in river structure and connectivity on water quality under urbanization in the Yangtze River Delta Plain. *Ecological Indicators*, 135 (February): 108582. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2022.108582>

CAPÍTULO 7

RESPUESTAS



En este capítulo se presentan las respuestas, que se refieren a todas aquellas acciones encaminadas a mitigar el impacto de las fuerzas motrices y presiones, para mejorar el estado de los recursos hídricos y así reducir los impactos de su gestión inadecuada. Dichas respuestas emanan de distintos sectores, como el gubernamental, no gubernamental, privado y la sociedad civil en general.

En el caso de las fuerzas motrices relativas a economía, urbanización y población, algunas respuestas podrían entrar en los campos de la macroeconomía, demografía y planificación territorial. Sin embargo, no se encontró información específica sobre estos temas en la RMG, por lo cual no se incluyen.

De manera general, se presentan algunas respuestas ambientales, es decir, aquellas encaminadas a mejorar el estado de los recursos hídricos en la RMG, como la gestión integrada de recursos hídricos, el tratamiento de aguas residuales y desechos, y la conservación o recuperación ambiental, donde intervienen diversos actores (gubernamentales, no gubernamentales, académicos y sociedad).

Asimismo, se presentan algunas respuestas sectoriales, como las que provienen de parte de los consumidores (disponibilidad y voluntad de pago), la población en general (educación ambiental y ciudadana) y el sector gubernamental (gasto público ambiental y legislación).

7.1 RESPUESTAS AMBIENTALES

7.1.1 GESTIÓN INTEGRADA DE RECURSOS HÍDRICOS (GIRH)

La Gestión Integrada de Recursos Hídricos (GIRH) se define como:

«el proceso que promueve el manejo y la gestión coordinada del agua, la tierra y los recursos relacionados, con el fin de maximizar el bienestar social y económico. Resultante de manera equitativa, sin comprometer la sustentabilidad de los ecosistemas vitales. En un amplio sentido es la integración de visiones, actores y sectores, usos, aprovechamientos y obligaciones de conservación; en manejo de las aguas superficiales, subterráneas y atmosféricas, la cantidad, calidad y comportamiento y su relación con los otros recursos naturales, la sociedad, la economía y el ambiente; y vincular su gestión a los objetivos y metas de las políticas públicas» (MARN, 2015, p. 64).

Este tipo de gestión debe sustentarse en el conocimiento y la comprensión de la disponibilidad del recurso y los usos que se le dan, así como en los desafíos institucionales que se enfrentan a todo nivel (United Nations Environment Programme [UNEP], 2012).

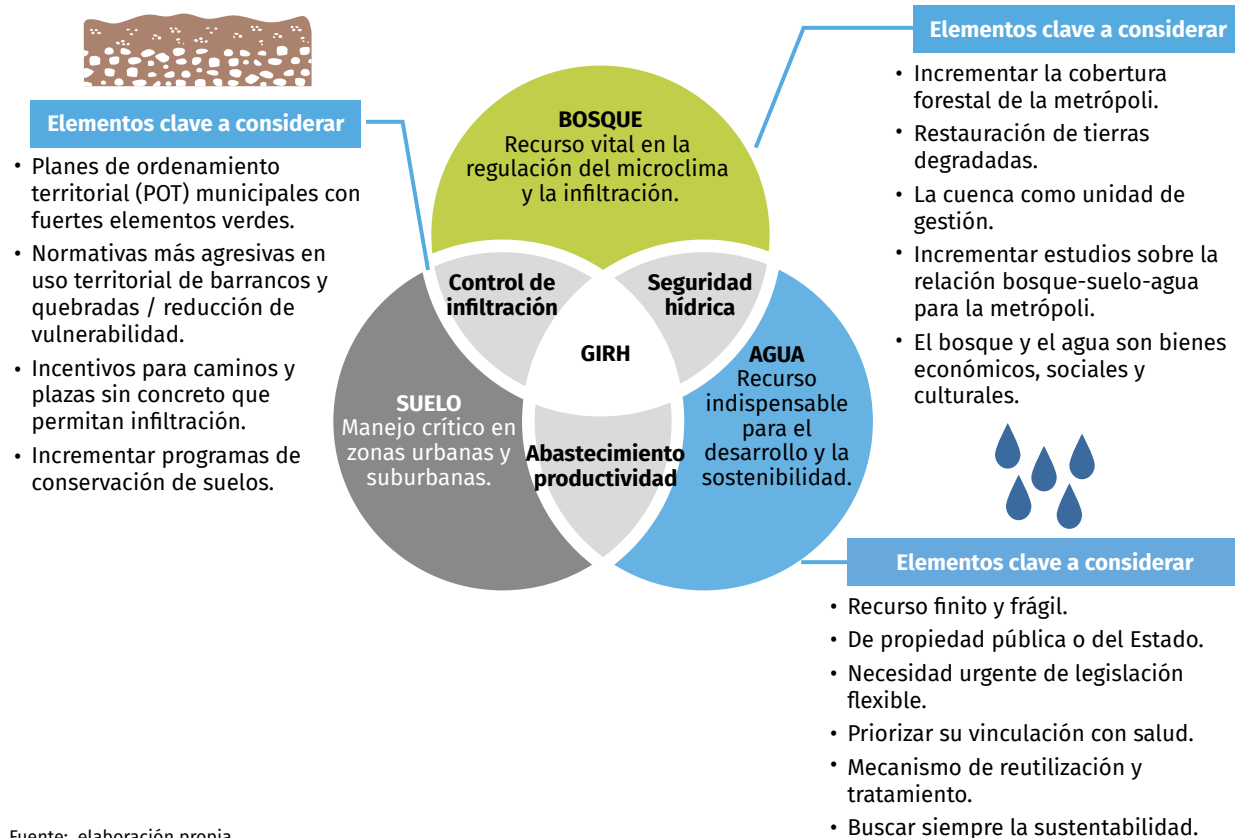
Retomando los conceptos planteados en el capítulo 1, en la figura 69 se puede observar la interrelación de los bosques, el suelo y el agua dentro del marco de la gestión integrada de los recursos hídricos. La relación entre estos tres recursos en un territorio se ve influenciada, no solo por procesos naturales, sino también por las políticas, estrategias, leyes y/o acciones del ser humano y, en las últimas décadas, también por los efectos del cambio climático.

Dentro de los elementos clave a considerar para cada recurso natural, se pueden observar acciones concretas mínimas que podrían aplicarse en la RMG. Asimismo, se aprecia la relación bilateral o codependiente entre los recursos bosque-suelo, y su influencia en el control de la infiltración; bosque-agua en materia de seguridad hídrica y, finalmente, agua-suelo en cuanto al abastecimiento y la productividad.

Los retos para la gestión de recursos hídricos en distintos sectores deben ubicarse dentro del contexto de los cambios económicos, sociales y políticos que se dan constantemente alrededor del mundo. Entre dichos cambios se encuentran: (a) el aumento demográfico y la migración desde zonas rurales a zonas urbanas; (b) el aumento de la demanda de agua como resultado de una mayor demanda de comida y energía; (c) la competencia entre los distintos usos del agua que conlleva a decisiones difíciles para su asignación; (d) el realineamiento geopolítico y el aumento de la fuerza económica de algunos países; (e) el cambio climático y sus implicaciones para la disponibilidad de los recursos hídricos; (f) la reducción del agua disponible debido a actividades extractivas y contaminación; (g) la inestabilidad económica de algunas regiones, y (h) la facilidad de compartir información en el ámbito global a través de los avances en comunicación (UNEP, 2012).

Figura 69. Relación bosque-suelo-agua dentro del marco de la GIRH

Para mantener la relación «bosque-suelo-agua» en perfectas condiciones, la responsabilidad compartida de instituciones del gobierno, sector privado y sociedad civil es trascendental y crítica. Hay que incrementar todos los procesos y mecanismos para una mejor conectividad hidrológica.



La *Evaluación sobre el Estado de la Gestión Hídrica en Guatemala 2017-18 para alcanzar el Objetivo de Desarrollo Sostenible 6 (agua limpia y saneamiento)* (recuadro 4), califica al país con una puntuación de 21/100 (bajo) (Organización de las Naciones Unidas, 2020).

Posteriormente, en el informe sobre el Estado de la

implementación de GIRH en Centroamérica y República Dominicana al 2020, Guatemala ocupaba el penúltimo lugar, solo después de Belice, por lo que se ubica en una categoría «baja»³⁹ (GWP [Global Water Partnership], UNEP [United Nations Environment Programme] y CCAD [Comisión Centroamericana de Ambiente y Desarrollo], 2020).

A pesar de ello, la GIRH se constituye en una oportunidad de respuesta para la adecuada gestión de los recursos hídricos del país y de la RMG. Dado que los avances en el tema son muy limitados, se requiere de una mayor participación e interés por parte de los actores involucrados (GWP, UNEP & CCAD, 2020).

³⁹ Los rangos de puntuación son: nivel de implementación de GIRH muy bajo (0-20 puntos), bajo (11-30), medio bajo (31-50), medio alto (51-70), alto (71-90) y muy alto (91-100) (GWP, UNEP y CCAD, 2020).

Recuadro 4. Estado de la gestión hídrica en Guatemala 2017-2018



Meta 6.5.1 Para 2030, implementar una gestión integrada de recursos hídricos a todos los niveles, incluso mediante la cooperación transfronteriza según proceda.
Indicador ODS 6.5.1: Grado de implementación de gestión integrada de los recursos hídricos (0-100)

Antecedentes de gobernanza hídrica

Instituciones nacionales: Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales (MARN) y otros.

El Acuerdo Gubernativo 18-2021 del MARN del 1 de febrero de 2021 crea el Viceministerio del Agua para darle mayor autoridad y capacidad en su rol de ente rector, e iniciar el proceso de superar los retos existentes.

Política nacional: Política Nacional del Agua (2011, aprobada por Acuerdo Gubernativo No. 517-2011, no publicado por el MARN.)

Ley nacional: No existe una ley general, aunque sí existen múltiples leyes y regulaciones intersectoriales.

Plan Nacional de Gestión Integrada de los Recursos Hídricos (GIRH): Ninguno actual (el Plan Nacional de Desarrollo K'atun de 2010 contiene un plan sectorial plurianual para el medio ambiente y para el tema del agua).

Gestión de cuencas: Existen autoridades y planes de gestión de cuencas para cuatro cuencas de lagos y ríos, aunque la capacidad es limitada. Existe un borrador de directrices para el desarrollo de planes de gestión de cuencas, y se está promoviendo la formación de comités de cuencas y microcuencas a nivel municipal.

Gestión de acuíferos: No existen planes o instrumentos de gestión de acuíferos en el país.

Fuente: elaboración propia con base en Organización de las Naciones Unidas (2020).



banas. Por lo tanto, el GIAU se constituye en un medio para monitorear un subsistema de cuenca, con el fin de lograr la seguridad hídrica, la cual incluye mayor disponibilidad de agua, y la reducción de conflictos y riesgos relacionados con su uso (GWP, 2011).

Aunque en el presente informe no se han utilizado los enfoques de GIRH y la GIAU en su totalidad, el mismo constituye un primer paso para proponer respuestas más integrales para abordar la problemática de los recursos hídricos identificada en la RMG. A mediano y largo plazo, y mediante la entrega de futuros informes, se espera poder abarcar de mejor manera el proceso de gestión coordinada e integrada del agua, en conjunto con su aprovechamiento sostenible y su relación con otros recursos naturales, la sociedad y la economía. La implementación de dicho proceso es un reto para Guatemala, y requerirá de estrategias participativas, institucionales, legislativas y políticas favorables.

7.1.2 TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES Y DESECHOS

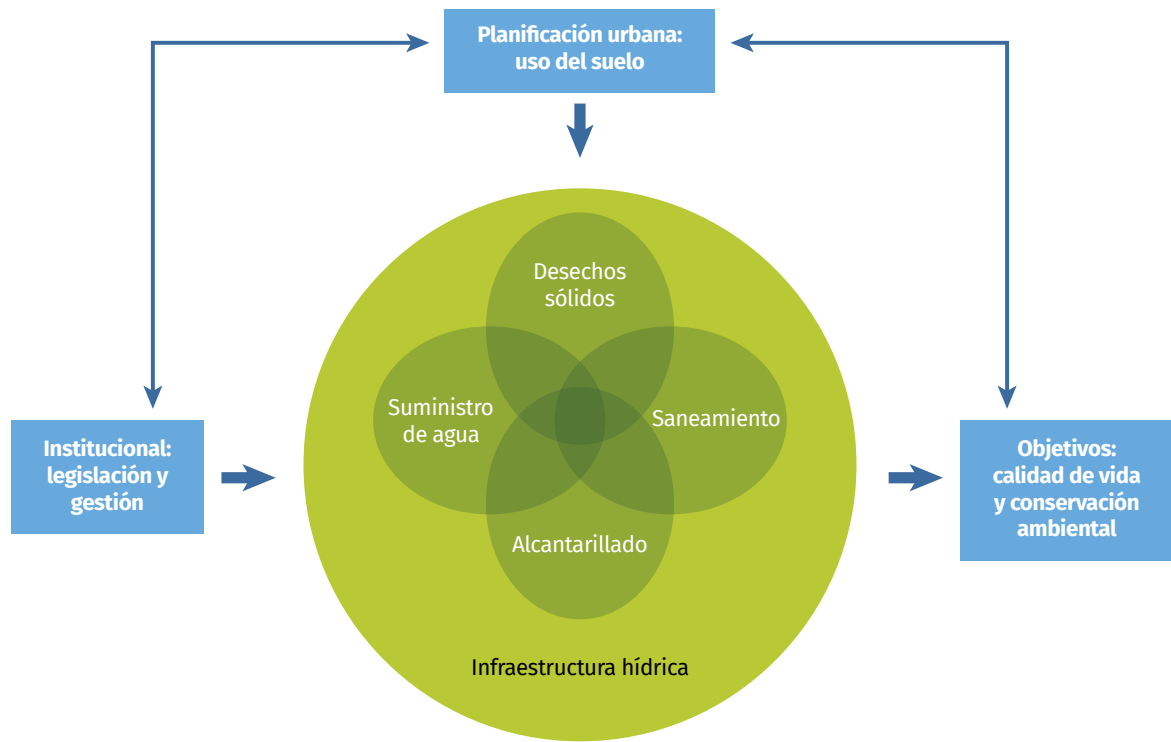
Según Aecid y BID (2021), en el área metropolitana de la ciudad de Guatemala operan diversos sistemas de tratamiento de aguas residuales, que se detallan en el cuadro 14.

Algunas de las iniciativas que se han desarrollado para atender las necesidades de trata-

Por otro lado, la gestión integrada de aguas urbanas (GIAU) (figura 70) consiste en el manejo del sistema de recursos hídricos urbanos como parte de una estructura coherente (Srinivas, 2009 citado en GWP, 2011) y está implantada dentro de una noción más amplia de GIRH.

Mientras que la GIRH utiliza a la cuenca como unidad hidrológica de análisis, la GIAU requiere de la vinculación con los planes y procesos de la GIRH dentro de un contexto de cuenca más amplio, que permita relacionar el sector hídrico urbano con otros sectores más allá de las fronteras ur-

Figura 70. Gestión integrada de aguas urbanas



Fuente: elaboración propia con base en Tucci (2009) en Global Water Partnership (2011).

miento de las aguas residuales son el *Plan maestro 1996: Estudio del mejoramiento del manejo de las aguas residuales en el área metropolitana de Guatemala*, el *Plan Marco de Manejo de Aguas Residuales de Empagua 2003* y el *Programa de Saneamiento Ambiental en el Área Metropolitana de la ciudad de Guatemala (AMCG) 2021* (Aecid y BID, 2021).

En el caso específico del lago de Amatitlán, AMSA ha llevado a cabo proyectos que funcionan con tecnología de punta, como las plantas de tratamiento ubicadas en Villa Nueva y Villa Canales que se encuentran en funcionamiento. Asimismo, en Villa Nueva se

Cuadro 14. Operación de sistema de tratamiento de aguas residuales

Municipalidad	Operados por municipalidad	Operados por privados	% municipalidad
Ciudad de Guatemala	5	966	0.52
Resto MGCS	23	82	28.05
Total	28	1048	2.67

Fuente: Aecid y BID (2021).

ha establecido un sistema de biodigestión en la colonia Solidarista con el fin de tratar las aguas residuales, liberándolas de contaminantes (Ibarra, 2021).

Por otro lado, algunos de los municipios que conforman la RMG realizan actividades para el manejo de desechos y

la mejora del abastecimiento de agua, como Santa Catarina Pinula, que ha enfocado sus esfuerzos en la recuperación, mantenimiento y limpieza de los pozos del municipio, así como en la construcción, reparación y mantenimiento de plantas de tratamiento (Municipalidad de Santa Catarina Pinula, 2020).

En el caso del municipio de Fraijanes, se han realizado diversas obras como la construcción de pozos y sistemas de tratamiento de aguas residuales, así como la mejora del sistema de agua potable. Se realiza un tren de aseo de manera mensual (Municipalidad de Fraijanes, 2020).

7.1.3 INICIATIVAS PARA LA CONSERVACIÓN O RECUPERACIÓN AMBIENTAL

Actualmente, existen diversas iniciativas ambientales para la conservación o recuperación ambiental en la RMG, algunas de ellas se describen en el cuadro 15.

Cuadro 15. Iniciativas ambientales para la conservación o recuperación ambiental en la RMG

Iniciativa	Descripción
Alianza por el agua en Guatemala	Constituida inicialmente por el grupo promotor integrado por The Nature Conservancy (TNC), la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN), la UVG, el Instituto Privado de Investigación sobre Cambio Climático (ICC) y el Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD), aunque actualmente cuenta con al menos 12 instancias participando en dicha iniciativa. Es una plataforma de trabajo que busca colaborar con la seguridad hídrica, mediante la consolidación de una agenda común para una mejor gestión del agua, promoviendo el diálogo y la participación conjunta de diferentes actores y sectores del país (Nájera, 2020).
Proyecto El Cinturón Verde de la Metrópoli de Guatemala	Financiado por el Fondo Francés para el Medio Ambiente (FFEM, por sus siglas en francés) e implementado por la Fundación para el Ecodesarrollo y la Conservación (Fundaeo). Su finalidad es reducir la vulnerabilidad a los efectos del cambio climático, a través de la protección de bosques de la región metropolitana y de la reforestación de zonas de recarga hídrica y de zonas vulnerables a derrumbes (Fundaeo, s. f.).
Fundación para la Conservación del Agua en la Región Metropolitana de Guatemala (Funcagua)	Su misión es contribuir a la disponibilidad del suministro de agua en el largo plazo para la región metropolitana de Guatemala, concienciando sobre su uso responsable, y llevando a cabo acciones eficientes de conservación y de reducción de riesgo, a través de alianzas público-privadas que garanticen la sostenibilidad financiera. Forma parte del grupo de fondos de agua apoyados por la Alianza Latinoamericana de Fondos de Agua (Funcagua, s. f.).
Programa de Seguridad Hídrica de la Región Metropolitana de Guatemala (Prosehigua)	Se desarrolla a través del FCAS de la Aecid, y UICN. Su objetivo principal es propiciar una estrategia de seguridad hídrica para la provisión confiable de agua cuantitativa y cualitativamente aceptable para las poblaciones del valle de ciudad de Guatemala y se focaliza en generar información técnica de calidad que sirva para la gestión integral del recurso hídrico (Aecid, 2019).

Iniciativa	Descripción
Asociación de Reservas Naturales Privadas de Guatemala (ARNPG)	Impulsa el establecimiento de reservas naturales privadas individuales y comunitarias en todo el país. A la fecha se han inscrito 186 reservas ante el (Consejo Nacional de Áreas Protegidas (Conap) que, sumadas a otros modelos de conservación, suman 80 000 ha de conservación voluntaria (ARNPG, 2022).
Asociación pro-Recuperación Integral de las Cuencas de los Ríos Negro y Contreras (Aricneco)	Fue de las primeras plataformas de organización ciudadana que surgieron ante la preocupación por el deterioro de las cuencas de tres ríos tributarios del río Las Vacas: Negro, Contreras y Santa Rosita, ubicados en el sureste del municipio de Guatemala. Esta asociación busca el manejo eficiente, equitativo, equilibrado y eco-sostenible de las áreas tributarias (Aricneco, s. f.).
Mesa de Barranqueros	Esta plataforma de colaboración ciudadana surgió en 2018 para la definición de objetivos comunes e implementación de acciones para la gestión sostenible de los barrancos en la región metropolitana. Está integrada por 16 instancias privadas, entre las cuales se encuentran: Fundación Crecer, Funcagua, ARNPG, TNC, Fondo Mundial para la Naturaleza (WWF) y Fundaeco, dos universidades privadas, por mencionar algunas (Mesa de Barranqueros, s. f.).
Sector privado	Algunas iniciativas privadas que trabajan en pro del desarrollo sostenible del país y que de alguna manera contribuyen a la conservación de los recursos hídricos son el Centro Guatemalteco de Producción más Limpia (CGP+L), el Centro para la Acción de la Responsabilidad Social Empresarial en Guatemala (CentraRSE) y Guatemala Green Building Council (GGBC).
Autoridad para el Manejo Sustentable del Lago de Amatitlán y su Cuenca (AMSA)	Construcción de bardas de retención de desechos sólidos flotantes. En 2008, se construyó una barrera flotante de 4 km de longitud, elaborada con ninfa y/o envases PET, amarrada entre sí con una red. La barrera fue colocada en el lago, justo en el delta del río Villalobos y desde entonces funciona para retener los residuos sólidos flotantes que ingresan al lago de Amatitlán, contribuyendo a mantener limpio el espejo de agua y facilitando la extracción de basura y exceso de plantas acuáticas. Anualmente la barda retiene alrededor de 39 855 m ³ de basura (van Tuylen, 2021).

Fuente: elaboración propia.

7.2 RESPUESTAS SECTORIALES

7.2.1 DISPONIBILIDAD Y VOLUNTAD DE PAGO⁴⁰

Una pregunta clave para los hacedores de políticas de agua es cuál es la disposición a pagar (DAP) por este recur-

so. En algunos casos este valor se revela de forma estándar a través de mercados, como el agua en garrafón, galón u otra presentación que permita al proveedor cubrir sus costos y obtener una rentabilidad normal.

Sin embargo, en cuanto al agua del chorro, los precios

cobrados suelen ser inferiores incluso a lo necesario para cubrir los costos de operación dada su importancia vital, asociación a un derecho, administración pública y otras coyunturas. Esto conlleva su-

⁴⁰ Toda la sección fue construida con base en Observatorio Económico Sostenible (2021).

binversiones y eventuales deterioros de la continuidad y calidad del suministro, lo que puede terminar forzando a usuarios a terminar pagando más por un servicio complementario.

La determinación de la DAP por el agua del chorro ayuda principalmente a entender la rentabilidad social de inversiones para mejorar su suministro, y no necesariamente a cambiar las estructuras tarifarias del servicio. Si el financiamiento proviene de los mismos usuarios al aumentar tarifas a algún nivel menor o igual a la DAP, o de otras fuentes dada la rentabilidad social de la inversión, son aspectos de segundo orden.

En este apartado se presenta la DAP por continuidad del agua del chorro por parte de viviendas en la ciudad capital, estimada mediante una encuesta desarrollada en el municipio de Guatemala entre el 16 al 29 de abril de 2021. El objetivo de la encuesta fue entender la situación actual de las viviendas de la ciudad

con respecto al agua y permitir la valuación económica del recurso (OES, 2021)⁴¹.

Los resultados indican una DAP promedio por reducir un día de interrupción de agua de chorro de GTQ 14.90 al mes por hogar⁴², lo que significa una DAP promedio de GTQ 57.3 al mes por hogar para asegurar un servicio continuo. Este resultado es notoriamente similar al estudio realizado por Iarna y TNC (2013) que emplea otro método, y encontró que la DAP para asegurar la provisión de agua en la ciudad de Guatemala y municipios adyacentes fue de GTQ 56.1 al mes por hogar.

Dada la cantidad de viviendas existentes en la ciudad, la DAP encontrada suma alrededor de GTQ 213 millones al año. Es decir, si el costo de suministro continuo de agua del chorro para toda la ciudad es menor a este monto, es socialmente rentable incurrir en dicho costo.

El consumo de una «vivienda promedio» es de GTQ 272/mes y se divide en: GTQ 153.30 por

agua de chorro, GTQ 103.30 por garrafón, GTQ 12.70 por cisterna, y GTQ 3.00 por tonel. En el anexo 22 se presenta el detalle del gasto promedio mensual en agua y precio medio que se paga por cada presentación de agua.

En la encuesta también se estimaron escenarios de escasez hídrica y mejoras para evitar dicha escasez. La realización de mejoras se ató a un pago mensual adicional en la factura de agua entre GTQ 25 y Q 150 durante 10 años, y se preguntó si votarían a favor o en contra de las mejoras. Ante el pago de GTQ 150, un 44.2 % de los encuestados respondió que votaría a favor. Entre quienes votaron en contra, un 34.2 % respondió que se debía al alto costo, un 21.9 % a la corrupción y un 19.6 % a no tener suficiente dinero. Con porcentajes menores, un 9.5 % respondió que se debía a no confiar en el uso que se daría a los fondos, y un 7.8 % a que el problema no se puede solucionar (figura 71).

⁴¹ Los resultados fueron obtenidos a través del método de valoración sin mercado llamado valoración hedónica. El diseño muestral se basó en el Censo de 2002 con algunos ajustes para corregir por cambios en los últimos 20 años. La representatividad de la muestra se basó en los 1497 sectores censales de la muestra maestra, correspondiente a 210 923 viviendas. El tamaño muestral de 768 viviendas se determinó con base en la encuesta de Evaluación de la Calidad de Servicios Básicos del INE en 2019. Se logró obtener un 97 % de la muestra, correspondiente a 745 encuestas. El error muestral máximo fue del 5 %. El cuestionario contó con 79 preguntas, algunas de ellas con sub-preguntas y los datos fueron colectados por entrevista cara a cara. El modelo se corrió con el logaritmo natural del precio de viviendas como variable dependiente, y días de cortes completos del agua del chorro como variable de interés. Se incluyeron 45 variables de control, entre las que se encuentran: cantidad de dormitorios, baños, chorros, zona de la ciudad, material del piso y techo, antigüedad de la vivienda, remodelaciones recientes, cercanía a mercados, supermercados, colegios y hospitales, presencia de basura en calles, calidad de las calles y cantidad de tráfico, entre otras.

⁴² El parámetro de la variable de interés «días de cortes completos del agua del chorro» fue de -0.0074, el cual es altamente significativo, con una probabilidad de 0.015. Dado que la variable dependiente entró en logaritmo, esto significa que el precio de arriendo cae un 0.74 % por cada día de interrupción. Con un arriendo promedio de alrededor de GTQ 2000, esto se traduce en promedio en GTQ 14.90 por día de interrupción al mes (GTQ 3.00 – GTQ 26.80, intervalo de confianza al 95 %). Dada la cantidad de días de cortes en promedio al mes y viviendas en la ciudad determinadas en la encuesta, esto suma alrededor de GTQ 213 millones al año.

Figura 71. Disponibilidad y voluntad de pago

El consumo por «vivienda promedio» es de **GTQ 272/mes**



GTQ 153.30 por agua de chorro



GTQ 103.30 por garrafón



GTQ 12.70 por cisterna

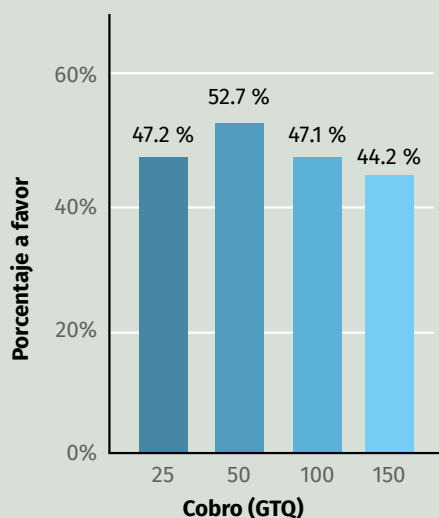


GTQ 3.00 por tonel

La realización de mejoras se ató a un pago mensual adicional en la factura de agua entre GTQ 25 y Q 150 durante 10 años.

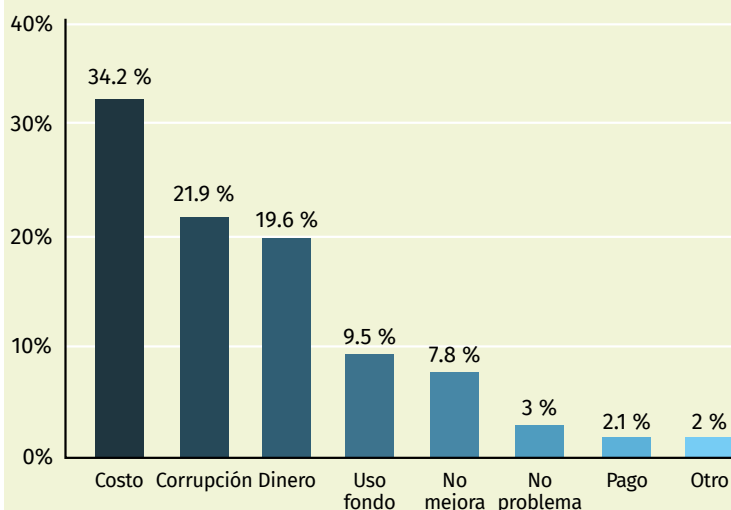
Ante el pago de GTQ 150, un 44.2 % de los encuestados respondió que votaría a favor.

Porcentaje de viviendas que aceptaría un pago adicional para evitar escasez de agua



Entre quienes votaron en contra, un 34.2 % respondió que se debía al alto costo, un 21.9 % a la corrupción, y un 19.6 % a no tener suficiente dinero. Con porcentajes menores, un 9.5 % respondió que se debía a no confiar en el uso que se daría a los fondos y un 7.8 % a que el problema no se puede solucionar.

Motivo para votar en contra del pago adicional



Los rangos de puntuación son: nivel de implementación de GIRH muy bajo (0-20 puntos), bajo (11-30), medio bajo (31-50), medio alto (51-70), alto (71-90) y muy alto (91-100) (GWP, UNEP y CCAD, 2020).

Fuente: elaboración propia con base en Observatorio Económico Sostenible (2021).

7.2.2 EDUCACIÓN AMBIENTAL Y CONCIENCIA CIUDADANA

Existen diversas iniciativas de educación formal, no formal e informal relativas a los recur-

sos hídricos principalmente a nivel nacional, y algunas específicas para la RMG, que se describen a continuación.

En lo que se refiere a educación formal, el currículo nacional base (CNB) contiene el

eje de desarrollo sostenible y seguridad social y ambiental. Actualmente contiene temas relativos al agua, por ejemplo, a nivel preprimario incluye temas de higiene personal (uso adecuado de jabón, agua, toalla y secado después del la-

vado o baño); en primaria temas como el ciclo del agua, y en el nivel básico temas como contaminación de las fuentes de agua naturales y artificiales, así como tecnologías para tratarlas (Mineduc 2003, 2008, 2021 y 2022).

A nivel nacional también se cuenta con otros instrumentos que buscan implementar programas y procesos de educación ambiental formal, no formal e informal, con miras a propiciar actitudes responsables en la conservación de los bienes y servicios ambientales (incluyendo al agua), como el Decreto 38-2010 (Ley de Educación Ambiental), el Acuerdo Gubernativo 189-2017 (Política Nacional de Educación Ambiental de Guatemala) y el Manual de Educación Ambiental del Recurso Hídrico en Guatemala (MARN y JICA, s. f.).

Algunos ejemplos de iniciativas llevadas a cabo específicamente en la RMG son las actividades educativas realizadas por parte de Funcagua en modalidad presencial o virtual, por medio de las cuales se ha brindado educación ambiental a más de 3673 niños, se ha capacitado a más de 2100 profesionales en programas de educación superior y se ha atendido a más de 4000 personas en programas de educación ciudadana.

Otro ejemplo es el Festival del Agua, organizado por la Mesa de Barranqueros en 2019, con el objetivo de evidenciar, comunicar, educar y sensibilizar

a las personas sobre las condiciones actuales y deseables relacionadas al manejo, uso, aprovechamiento y administración del agua.

Entre los esfuerzos que se han llevado a cabo para prevenir la contaminación del lago de Amatitlán se puede mencionar la campaña «Démosle un abrazo al lago de Amatitlán», coordinada por la Autoridad para el Manejo Sustentable de la Cuenca del Lago de Amatitlán. Esta iniciativa se enmarca dentro del Acuerdo Gubernativo 537-2006, donde se instituye el primer domingo de diciembre de cada año como el Día del lago de Amatitlán. Por medio de esta campaña se presentan las obras de saneamiento realizadas cada año y se realizan actividades de concientización dirigidas a los vecinos del lago (Ortiz, 2016; Juárez, 2016).

Sin embargo, hace falta un sistema integrado de monitoreo y evaluación del impacto y un cambio de percepciones, comportamientos, prácticas y actitudes derivadas de la implementación de los programas, y del nivel del conocimiento y concienciación de la población en general con respecto al cuidado de los recursos hídricos y del ambiente en general.

7.2.3 GASTO PÚBLICO AMBIENTAL

Según el Sistema de Contabilidad Ambiental y Económica Integrada (SCAEI) de Guatemala, para el periodo 2001-2010

el gasto público ambiental destinado a la administración de flujos de agua y cuerpos de aguas interiores (en donde se registra el gasto orientado hacia agua potable y saneamiento) fue de 456 millones de quetzales, y representó el 27 % del gasto público ambiental de 2010, principalmente a cargo de los gobiernos departamentales. Este rubro fue el segundo en importancia, precedido por el de bosque y biodiversidad, que representó el 46 % del gasto público en ese mismo año (INE, Banguat y Iarna, 2013).

Por el contrario, la descontaminación de suelos y aguas superficiales y subterráneas fue uno de los rubros más marginados, con un porcentaje mínimo de inversión (INE, Banguat y Iarna, 2013).

Actualmente no existe información específica sobre el gasto público ambiental relativo a los recursos hídricos en la RMG.

7.2.4 EL AGUA EN EL DERECHO Y LA LEGISLACIÓN

La legislación es la respuesta que la sociedad organizada, a través de los organismos del Estado, da a las oportunidades y retos comunes que enfrenta; y que puede nutrirse, tanto de figuras del derecho comparado, como del diseño o adaptación de instituciones propuestas por la doctrina jurídica, acuñadas a lo largo de la historia de la humanidad.

Legislar en materia del agua como recurso y sobre los servicios públicos de agua y saneamiento no es un privilegio de Guatemala, sino una práctica cultural generalizada a nivel mundial. El objeto de regulación de aguas es el ciclo hidrosocial, tal como se detalla en el recuadro 5.

7.2.4.1 Legislación del agua: contenido y extensión

La legislación del agua se refiere al agua dulce que forma parte del territorio nacional de cada Estado. Se distingue del régimen legal de las aguas que por razones naturales se encuentran o discurren por

el territorio de dos o más Estados, lo cual es objeto del derecho internacional de aguas, y de las aguas de los mares y océanos, regidas por el derecho del mar.

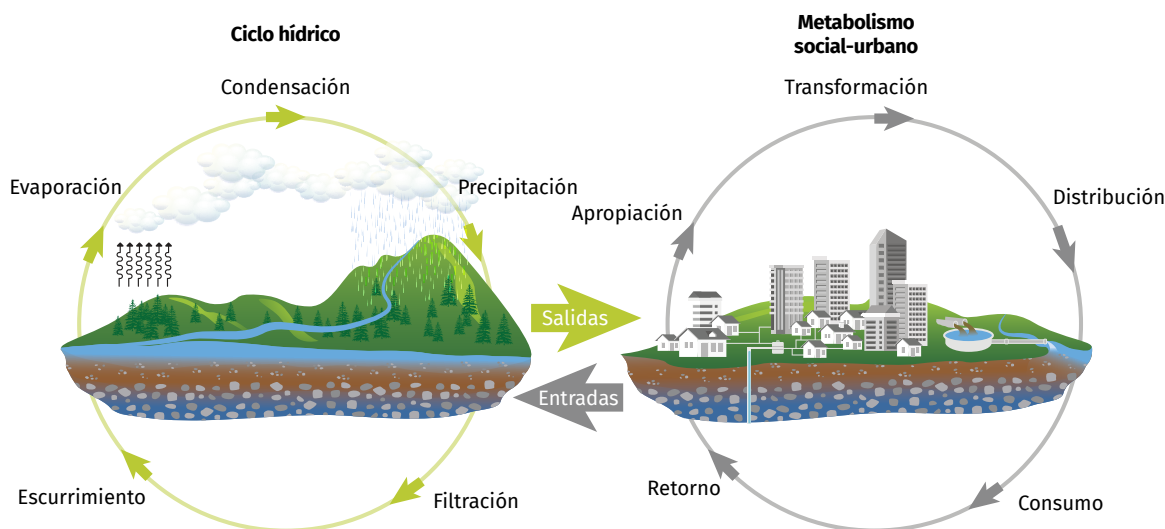
Asimismo, es importante destacar que la legislación del agua se relaciona con

Recuadro 5. El ciclo hidrosocial

El ciclo hidrosocial se resume en la figura 72.

Figura 72. El ciclo hidrosocial

El ciclo hidrosocial se define como la relación entre la sociedad y el agua dulce, comprende a los actores que usan, aprovechan, conservan o depredan el recurso, así como aquellos que se ven afectados por los impactos de eventos extraordinarios, según la posición política, social o económica en que se encuentren respecto a las fuentes de agua de una unidad hidrográfica o territorio.



Fuente: Toledo (2013) y Peniche (2019) en Martínez y Peniche (s. f.).

Respecto al agua, el objeto de regulación de la legislación abarca las diversas formas como se presenta en la naturaleza: atmosférica, pluvial, superficial y subterránea; el modo como estas se distribuyen en el tiempo y en el espacio a lo largo de la cuenca de drenaje.

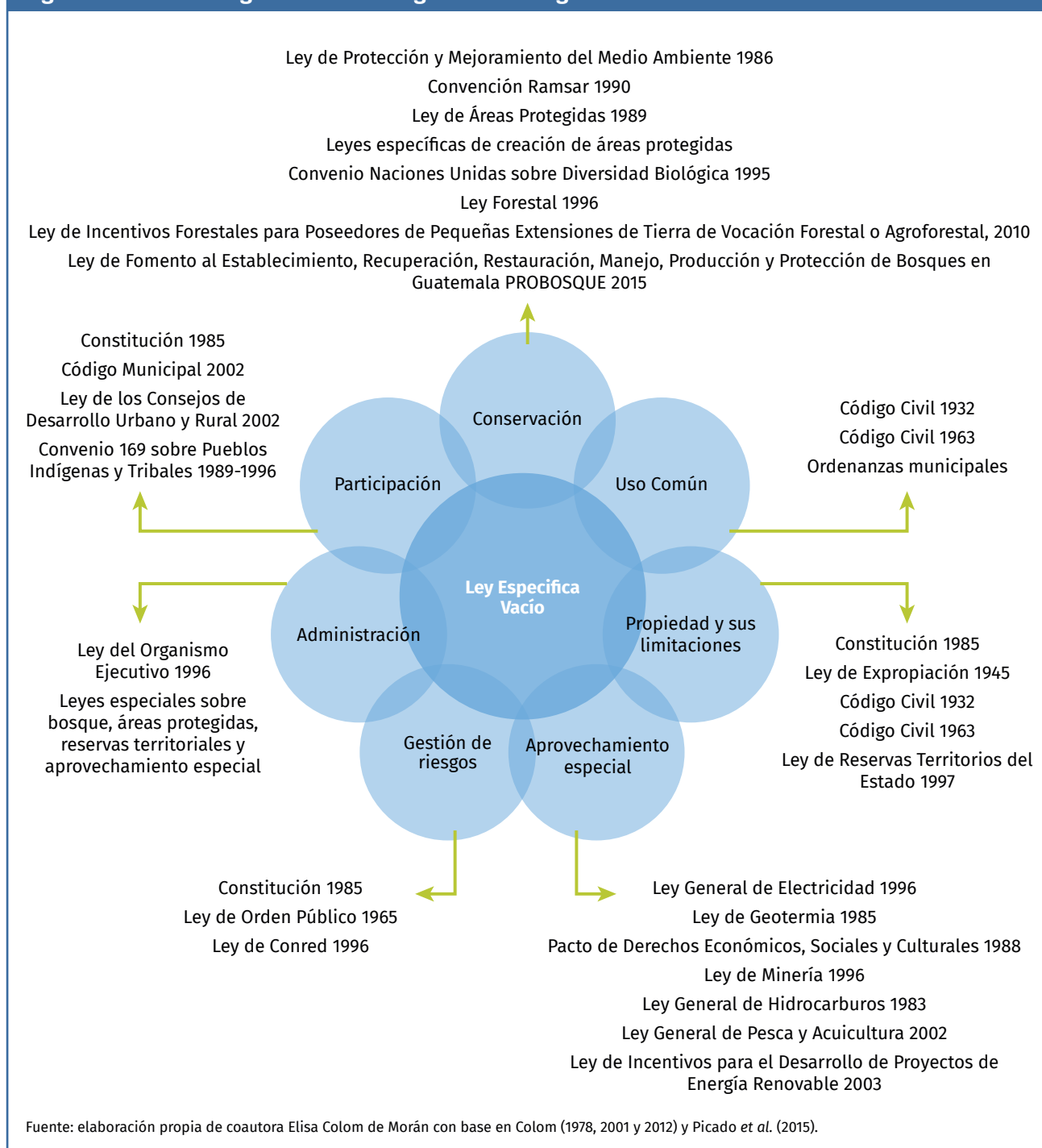
Como el objeto de regulación de la legislación de agua es a su vez, un elemento ambiental, de hecho y por derecho forma parte del sistema jurídico ambiental integrado por el régimen de otros elementos.

el régimen legal de los servicios públicos de agua y saneamiento en cuanto a asegurar su acceso al agua, y respecto a la disposición de las aguas residuales domésticas;

y a la vez se distingue de este, ya que, al tratarse de servicios esenciales, su prestación está regulada por otras ramas del derecho público.

La doctrina y la legislación comparada indican que, en términos generales, la legislación del agua se refiere a los temas destacados en la figura 73, que al estar contenidos en

Figura 73. Contenidos generales de la legislación del agua en Guatemala



una ley específica permiten la definición de objetivos, principios, instituciones y procedimientos comunes que hacen posible contribuir a la seguridad hídrica y al cumplimiento de objetivos de interés público; así como que la ley de aguas es un medio y no un fin por sí misma, cuya aplicación efectiva está determinada por el nivel de gobernanza de cada país (Spota, 1941; Solanes y Getches, 1998; Solanes y Peña, 2003; Colom y Ballester, 2003; Caponera, 2014; Embid y Martín, 2015; Jouralev y otros, 2021).

La figura 73 muestra el conjunto de leyes emitidas a lo largo de los últimos 90 años que actualmente se relacionan con la gestión y gobierno del agua, organizadas por tema. Estas se fundan en principios diversos y su objeto de regulación no es el agua. El anexo 23 contiene una interpretación general y aplicación de la legislación vigente en Guatemala.

Estas circunstancias hacen que la aplicación de la legislación actual sea compleja ante la falta de ley e institucionalidad especializada en la gestión y gobierno del agua, como lo refleja el estado de cosas: en un potencial hídrico por desarrollar y, al mismo tiempo, en la insatisfacción de demandas sociales de agua para fines domésticos y de rie-

go para los medios de vida y producción de alimentos; en la sobreexplotación de las aguas subterráneas; la contaminación de las aguas superficiales y el deterioro de las cuencas hidrográficas; y en los impactos negativos provocados a la sociedad, la economía y el ambiente por eventos hidrológicos extraordinarios.

Sin embargo, también existen experiencias positivas de uso eficiente, prácticas de conservación y resolución de conflictos producto de acuerdos adoptados entre sectores usuarios, organizaciones comunitarias y autoridades locales; pero pareciera que el desorden, el conflicto y el deterioro de las fuentes son las relaciones que prevalecen en el ciclo hidro social.

7.2.4.2 Respuestas del Estado

A. Iniciativas de ley de aguas

A pesar de existir varias iniciativas de ley de aguas en Guatemala, al año 2016 solo la iniciativa de ley 1001 (presentada en 1993) fue objeto de lectura ante el pleno, agotando el segundo debate; sin embargo, debido al golpe de Estado promovido de 1993 se interrumpió definitivamente la labor de la legislatura 1991-1996 y no se aprobó como ley de la República.

Durante las dos últimas legislaturas (2016-2020 y 2021-2024), el Congreso de la República ha registrado 13 iniciativas de ley vinculadas con el agua dulce, como se muestra en el cuadro 16, de las cuales solo tres han obtenido dictamen favorable. Más allá del número de iniciativas, es importante analizar los motivos que subyacen detrás de estas porque expresan posiciones, perspectivas y objetivos diversos, no siempre concordantes.

De estas iniciativas, se podría concluir que el título de las números 5067, 5070, 5061, 5095 y 5253 indica que se refieren a los temas generales señalados en la figura 64; mientras que la iniciativa 5058 responde a la percepción de un uso desmedido de las aguas por parte de un grupo social en detrimento de otros.

Asimismo, la iniciativa número 5091 pareciera ser consecuencia de la visión sectorial del régimen legal vigente que regulariza los derechos de uso minero, energético, de hidrocarburos, acuicultura y pesca, pero no protege los demás aprovechamientos, sistema legal de usos sectoriales que además denota la ausencia de objetivos sociales y ambientales superiores que el potencial hídrico nacional debiera contribuir a alcanzar.

Cuadro 16. Iniciativas de ley de aguas durante el periodo 2016-2021

No.	Año	Iniciativa número	Dictamen	Debate Pleno	Título	Ponente
1	2016	5058	No	No	Ley de Penalización por desvío de ríos	Diputados Sierra López y España Cáceres
2	2016	5067	No	No	Ley de Aguas y Recursos Hídricos	Diputados Hernández, Preciado y compañeros
3	2016	5070	No	No	Ley Marco del Agua	Diputados Juracán, Morán y compañeros
4	2016	5091	Desfavorable	No	Ley Moratoria Minera e Hidroeléctrica	Diputados Juracán, Morán y Velásquez
5	2016	5095	No	No	Ley General de Aguas	Diputados Reyes Lee, Nájera Sagastume y Castillo Martínez
6	2016	5098	Favorable 2017	No	Ley de Concentración de Autoridades sobre Lagos, Lagunas y Ríos y sus Cuencas, Dictamen 5-2017 que unifica las iniciativas 5098 y 5161	Diputados Castañeda Reyes, Romero Segura y Rojas Espina
7	2016	5122	No	No	Ley del Fondo de Regalías de Hidroeléctricas para el Desarrollo Comunitario	Diputado Marvin Orellana
8	2016	5161	Favorable 2017	No	Ley para el aprovechamiento y manejo integral, sostenible y eficiente del recurso hídrico en Guatemala, Dictamen 5-2017 que unifica las iniciativas 5098 y 5161.	Presidente de la República
9	2017	5221	No	No	Ley de Cuencas	Diputado Boris Roberto España Cáceres
10	2017	5253	No	No	Ley del Sistema Nacional del Agua en Guatemala	Diputados Cruz Clavería, Cutzal Mijango y Alonzo Pernilla
11	2017	5316	Favorable 2019	1 er debate	Ley para la creación de la autoridad protectora de las cuencas Xayá-Pixcayá para el Manejo Integral y Sostenido de las cuencas de las subcuencas de los Ríos Xayá y Pixcayá	Diputados de León Maldonado y España Cáceres
12	2018	5386	No	No	Ley para la Descontaminación y el Desarrollo Sostenible de los Recursos Hídricos del País	Diputado Fidel Reyes Lee
13	2018	5460	No	No	Reformas a la Ley de Creación de la Autoridad del Lago de Izabal y Río Dulce	Diputado Cappa Rosales y compañeros

Fuente: elaboración propia de co-autora Elisa Colom de Morán con base en el sitio web de consulta legislativa del Congreso de la República de Guatemala (s. f.).

Cabe llamar la atención sobre el contenido de las iniciativas número 5098, 5221, 5316 y 5460 relativas a cuencas hidrográficas para destacar la tendencia legislativa observada desde finales de la década de 1980-1990, de normar el desarrollo de los recursos naturales contenidos en aquellas mediante la emisión de leyes específicas, sin contar con un régimen legal común (principios, objetivos y procedimientos), así como indicar que estas leyes e iniciativas de cuencas no regulan el desarrollo de las aguas conforme a la tendencia mundial, sino limitan la gestión del agua a ciertos aspectos de la conservación de los recursos naturales y el ambiente.

La técnica jurídica recomienda el menor número de leyes con instituciones jurídicas conceptualmente sólidas, tanto para abordar los aspectos sustantivos como de organización y procedimientos; así como evaluar la factibilidad económica de su aplicación ¿es social, natural y económicamente razonable contar con una ley por cuenca, subcuenca o, inclusive, para un conjunto de microcuencas? Esto significaría que el Congreso emita una ley para cada una de las 38 cuencas superficiales y un número aún desconocido para crear autoridades para las cuencas hidrogeológicas, subcuencas y microcuencas. ¿Es más conveniente contar con un régimen general de gestión y gobierno de las aguas en las cuencas,

resolver las especificidades naturales, sociales y económicas mediante la ejecución de programas y proyectos que respondan a estas y reducir costos de financiamiento de las entidades responsables?

Finalmente, cabe destacar el contenido de las iniciativas 5122 y 5386. La primera, impone el pago de regalía por el uso del agua para fines energéticos del agua sin fundamentarse en estudio económico o social alguno y sin considerar el principio de igualdad ante la ley respecto a los demás usos del agua; y la segunda, se refiere a la contaminación de las aguas y trata de superar la crónica falta de aplicación eficaz del Ejecutivo, al menos, del artículo 15 de la Ley de Protección y Mejoramiento del Medio Ambiente, vigente desde hace 36 años, y particularmente del Reglamento de las Descargas de Aguas Residuales, y de la Disposición de Lodos emitido en el 2006.

Esto último sin dejar de mencionar el incumplimiento histórico de las municipalidades de prestar el servicio de saneamiento de las aguas residuales y desechos sólidos, instituido como obligación desde el Código Municipal de 1957, y de la obligación del Infom de prestar asistencia técnica para lograrlo, entre otras omisiones de cumplimiento de mandatos legales por parte de las autoridades públicas.

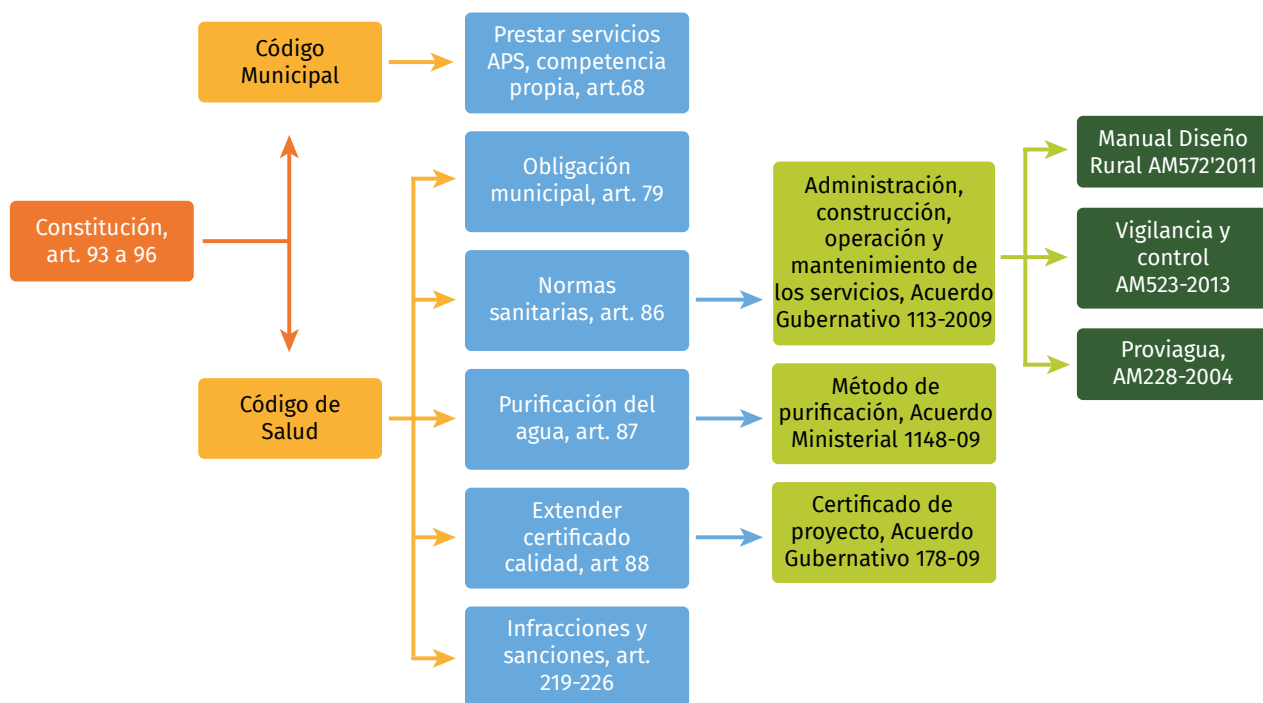
Independientemente de la obvia omisión del Congreso de cumplir con el mandato constitucional contenido en el artículo 127 de emitir una ley específica de aguas, se puede observar que la aplicación de disposiciones vigentes contenidas en otros regímenes legales ha sido extremadamente precaria, como lo demuestra el «estado de cosas», lo que obedece a la falta de visión y voluntad política de los diputados, expresada principalmente en la aprobación del presupuesto nacional, que finalmente es el que permite el cumplimiento pleno o limitado de las atribuciones, obligaciones y deberes asignados por la Constitución y las leyes a las entidades públicas.

B. Reglamentos y regulaciones del Organismo Ejecutivo

El MSPAS ha emitido reglamentos y normas técnicas relativas a los servicios públicos de agua y saneamiento, mediante acuerdos gubernativos y ministeriales derivados de las atribuciones que le asigna el Código de Salud, como se muestra en las figuras 74 y 75.

Con relación al sistema hídrico regulado en el artículo 15 de la Ley de Protección y Mejoramiento del Medio Ambiente, vigente hace 36 años, se presenta el avance en la emisión de reglamentos y regulaciones del agua en el cuadro 17.

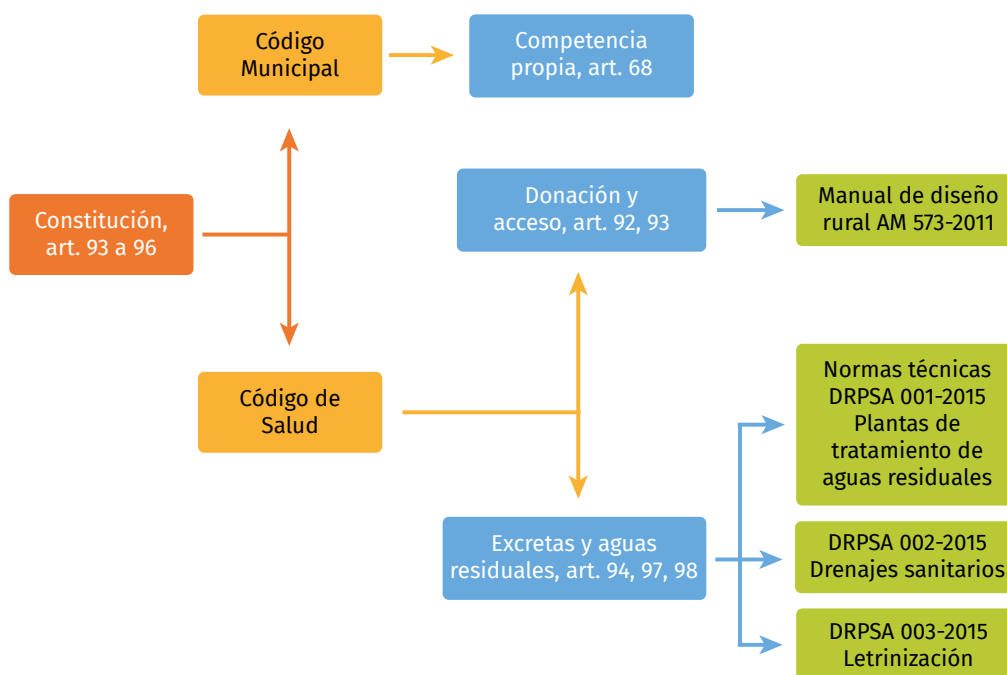
Figura 74. Reglamentos y normas técnicas relativas al tema de agua



Fuente: elaboración propia de coautora Elisa Colom de Morán con base en Vásquez (2016).

AM= acuerdo ministerial

Figura 75. Normas sanitarias para saneamiento



Fuente: elaboración propia de coautora Elisa Colom de Morán con base en Vásquez (2016).

Cuadro 17. Reglamentos y regulaciones ambientales relacionadas con el sistema hídrico

Ley de Protección y Mejoramiento del Medio Ambiente		
Artículo 15. El Gobierno velará por el mantenimiento de la cantidad del agua para el uso humano y otras actividades cuyo empleo sea indispensable, por lo que emitirá las disposiciones que sean necesarias y los reglamentos correspondientes para:		
Disposición específica	Regulación/ norma	Procedimiento administrativo
a) Evaluar la calidad de las aguas y sus posibilidades de aprovechamiento mediante análisis periódicos sobre sus características físicas, químicas y biológicas	No regulada	No establecido
b) Ejercer control para que el aprovechamiento y uso de las aguas no cause deterioro ambiental	No regulada	No establecido
c) Revisar permanentemente los sistemas de disposición de aguas servidas o contaminadas para que cumplan con las normas de higiene y saneamiento ambiental y fijar los requisitos	Regulado	Establecido
d) Determinar técnicamente los casos en que debe producirse o permitirse el vertimiento de residuos, basuras, desechos o desperdicios en una fuente receptora, de acuerdo a las normas de calidad del agua	Regulado	Establecido
e) Promover y fomentar la investigación y el análisis permanente de las aguas interiores, litorales y oceánicas, que constituyen la zona económica marítima de dominio exclusivo	No regulado	No establecido
f) Promover el uso integral y el manejo racional de cuencas hídricas, manantiales y fuentes de abastecimiento de aguas	Regulado	Establecido
g) Investigar y controlar cualquier causa o fuente de contaminación hídrica para asegurar la conservación de los ciclos biológicos y el normal desarrollo de las especies	No regulado	No establecido
h) Propiciar en el ámbito nacional e internacional las acciones necesarias para mantener la capacidad reguladora del clima en función de cantidad y calidad del agua	Regulado	Plan de Acción SNSCC
i) Velar por la conservación de la flora, principalmente los bosques, para el mantenimiento y el equilibrio del sistema hídrico, promoviendo la inmediata reforestación de las cuencas lacustres de ríos y manantiales	No regulado	Pendiente coordinación
j) Prevenir, controlar y determinar los niveles de contaminación de los ríos, lagos y mares de Guatemala	Parcial	Parcial
k) Investigar, prevenir y controlar cualesquiera otras causas o fuentes de contaminación hídrica	No regulado	No establecido

Fuente: elaboración propia de co-autora Elisa Colom de Morán.

De gran relevancia son las disposiciones que crean el Viceministerio del Agua del MARN y definen sus atribuciones, contenidas en los acuer-

dos gubernativos 18-2021 y 73-2021, así como la emisión de las «Disposiciones especiales para promover la protección y conservación de cuencas hi-

drográficas», contenidas en el acuerdo gubernativo 19-2021, resumidos en el cuadro 18.

Cuadro 18. Disposiciones orgánicas y reglamentarias

Viceministerio del agua Acuerdo gubernativo 18-2021 de 01/02/2021	Normativa especial Acuerdo gubernativo 19-2021 del 01/02/2021	Atribuciones del Viceministerio del Agua-ROI Acuerdo gubernativo 73-2021 08/04/2021
Considerandos: - Mandato constitucional ambiental - Ley del Organismo Ejecutivo, MARN rector de la conservación, protección, sostenibilidad y mejoramiento del ambiente y los recursos naturales - Ley de Protección y Mejoramiento del Medio Ambiente, primer párrafo, artículo 15 Dispone: - Crear la plaza de viceministro del agua	«Disposiciones para promover la protección y conservación de cuencas hidrográficas de la República de Guatemala» - Diagnóstico, planes, mesas técnicas, inventario usuarios... Actos administrativos emitidos en fraude de ley MARN y MAGA - Normas para promover la gestión integrada de cuencas a través de la creación y operación del inventario de usuarios del recurso hídrico en las cuencas hidrográficas de la República de Guatemala, acuerdo ministerial, MARN, 2016: declarado inconstitucional en 2019 - Acuerdo ministerial del MAGA, 2000, funciones de la Unidad de Normas y Regulaciones: objeto de acción de inconstitucionalidad en 2020	Objeto: políticas, estrategias de protección, conservación y mejoramiento del recurso hídrico. Atribuciones, planes, programas y proyectos para la sostenibilidad del recurso hídrico...acciones para la conservación y protección... artículo 29. Inconstitucionalidad general parcial ROI 2018, artículo 11, literales: - Impulsar la gestión integral de cuencas en el ámbito nacional, - Impulsar la gestión integrada del recurso hídrico, coordinado con el sector público y sector privado, y - La frase que dice: «y el uso que reciben de las mismas»

Fuente: elaboración propia de co-autora Elisa Colom de Morán.

El acuerdo gubernativo número 18-2021 que crea la plaza de Viceministro del Agua, observa el principio de juridicidad porque no contraría las disposiciones de la Constitución y constituye un avance significativo para promover el cumplimiento de los mandatos legales vigentes establecidos por la Ley del Organismo Ejecutivo y la Ley de Protección y Mejoramiento del Medio Ambiente para la conservación del agua.

Aun cuando las disposiciones administrativas ambientales

contenidas en el Acuerdo Gubernativo 19-2021 tienen por objetivo «promover la protección y conservación de las cuencas hidrográficas... mediante un proceso continuo que permita elaborar y/o actualizar diagnósticos de cuencas hidrográficas como base para la implementación de planes de manejo de recursos naturales enfocados a resolver problemas de degradación ambiental», en el desarrollo del articulado se desmarcan de los fundamentos legales contenidos en los considera-

dos, en la base legal del Por Tanto y del objetivo de estas, antes transcrito.

Desde la perspectiva de la técnica legislativa, se estima que las disposiciones analizadas no regulan de manera equilibrada, proporcional y completa aspectos de la conservación de los distintos recursos naturales de la cuenca. Asimismo, abarcan aspectos de un ámbito reservado por la Constitución para la ley específica del agua, como los relativos a los usuarios y usos del agua, cri-

terio aplicado por la Corte de Constitucionalidad para declarar la inconstitucionalidad de normativa similar, inventario de usuarios y usos del agua, que estaban contenidas en el Reglamento Orgánico del MARN y en disposiciones administrativas ministeriales que ya fueron expulsadas del ordenamiento jurídico nacional.

Conforme a los argumentos generales, especiales y finales, se estima que la aplicación de las disposiciones del AG 19-2021 enfrentará muchas dificultades de interpretación y aplicación, así como que podrá ser objeto de acciones de inconstitucionalidad, a pesar del espíritu que en sus disposiciones priva de adoptar medidas para favorecer la conservación de los recursos naturales, controlar la contaminación y detener el deterioro ambiental observando la delimitación de la cuenca hidrográfica para su definición y aplicación.

La Ley del Organismo Ejecutivo y la Ley de Protección y Mejoramiento del Medio Ambiente establecen que compete al MARN la rectoría del sector ambiental, cumplir y hacer cumplir el régimen concerniente a la conservación, protección, sostenibilidad y mejoramiento del ambiente y los recursos naturales, no así en lo relativo a su uso y aprovechamiento, que es objeto de otras leyes, como la Ley de Áreas Protegidas, la Ley de Bosques, la Ley de Minería, la Ley de Hi-

drocarburos, la Ley General de Electricidad y la Ley de Aguas cuya emisión está pendiente.

Conforme al régimen legal ambiental de Guatemala, cabe mencionar que el modelo de gestión integrada de cuencas y la gestión ambiental del agua están legalmente limitadas a los aspectos de conservación, no así a los usos y a los usuarios, pues son temas expresamente reservados por la Constitución para la emisión de una ley específica, competencia exclusiva del Congreso, como lo expone la Corte de Constitucionalidad en la sentencia que en el 2019 declaró la inconstitucionalidad general parcial de los literales (a y b) del artículo 11 del Reglamento Orgánico del MARN anterior (acuerdo gubernativo número 50-2015).

C. Marco legal del agua potable y el saneamiento

La legislación vigente de los servicios públicos de agua potable y aguas residuales observa modelos consolidados en la década de 1940-1950, y se basa en los principios constitucionales que garantizan la salud, el ambiente y la autonomía municipal; sin embargo, aún no se han emitido regulaciones respecto a los derechos constitucionales relativos a la protección del consumidor-usuario, ni para delimitar el ejercicio del derecho de libertad de industria e impedir el funcionamiento de monopolios asociados con estos servicios, temas fundamentales

para alcanzar cobertura universal con servicios de buena calidad. De hecho, el ejercicio de los derechos humanos al agua y el saneamiento se ven limitados por el propio marco legal existente, aun cuando Guatemala es signataria del Pacto de Derechos Económicos, Sociales y Culturales, y la Constitución concede preeminencia a la normativa internacional de derechos humanos frente a la nacional.

La Constitución, el Código Municipal y el Código de Salud asignan a cada una de las 340 municipalidades la atribución de prestar, establecer y regular los servicios de abastecimiento de agua potable y de aguas residuales; y junto con la Ley Orgánica del Infom, asignan a los ministerios de salud, ambiente y al Infom algunas facultades de regulación y funciones de rectoría. Este modelo se caracteriza por una permanente descoordinación y evidencia fallas fundamentales que no permiten ordenar la prestación de los servicios, ponen en riesgo el interés social y significan acentuar prácticas de exclusión de grupos socialmente vulnerables. En la figura 76 se presenta la organización del subsector de agua y saneamiento.

Una particularidad del actual sistema legal de los servicios públicos de agua y saneamiento es el derecho a la participación del público, pues conforme al Código Municipal puede participar o solicitar a las autoridades municipales que se

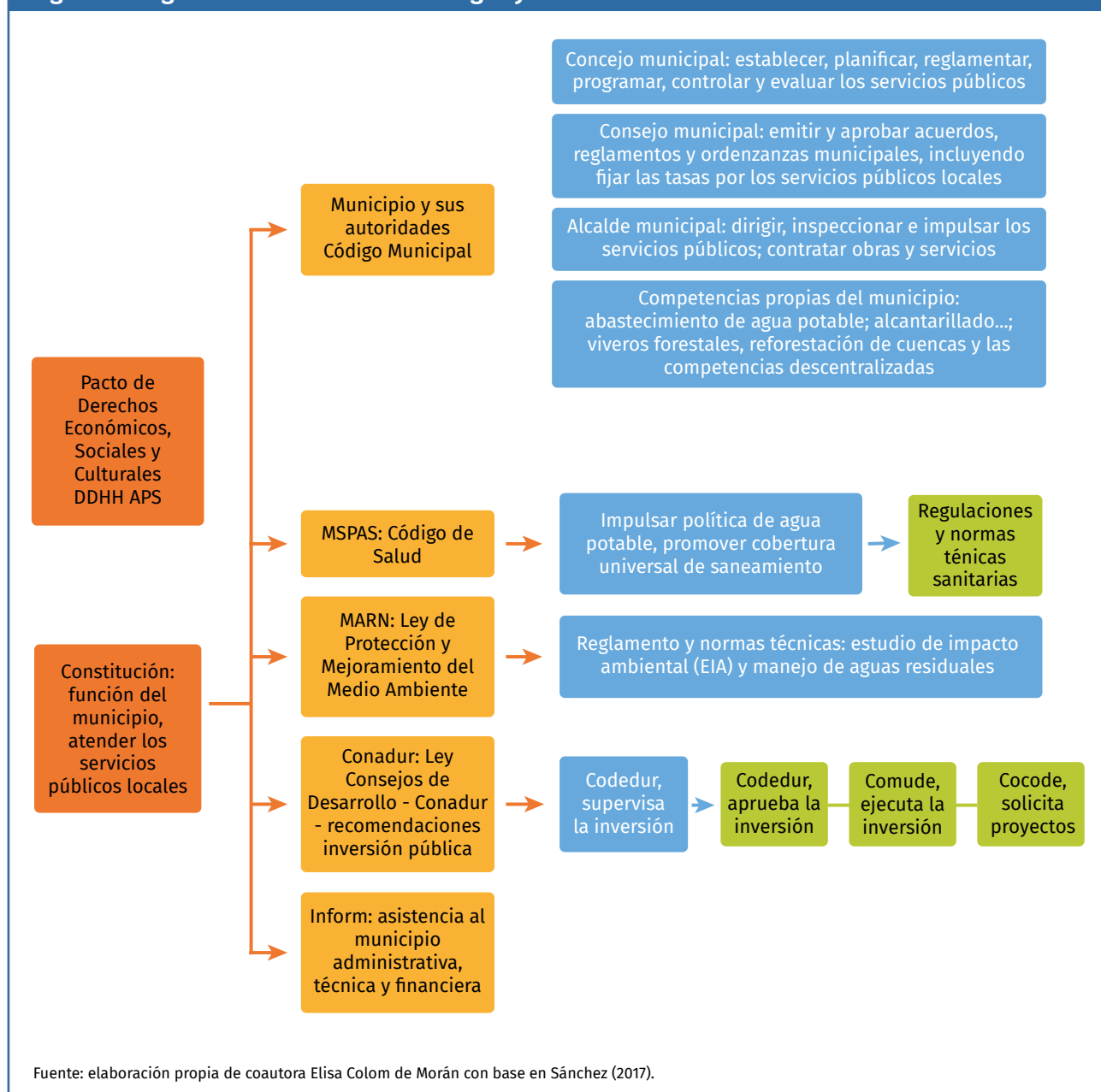
lleven a cabo procesos de consulta sobre aspectos diversos de su prestación, y a través de los consejos comunitarios de desarrollo (Cocode) establecidos por la Ley de los Consejos de Desarrollo Urbano y Rural, pueden exigir que se inviertan fondos municipales provenientes del IVA PAZ en proyectos de agua y saneamiento.

La relación entre la gestión y gobierno del agua como recurso a ser normado por una ley específica de agua, y los servicios públicos de agua potable y saneamiento radica en que el insumo y desecho básico de estos es el agua, mientras la ley de aguas se refiere a todos los usos y aprovechamientos del agua (doméstico, agrícola,

energético y minero, entre otros).

Si al índice de servicios públicos de agua y saneamiento indicado por el *ranking* municipal se adiciona la ausencia de un sistema de derechos de agua que ordene el acceso a las fuentes de agua que individualice derechos

Figura 76. Organización del subsector de agua y saneamiento



y obligaciones que a cada usuario le corresponden, y luego se considera la evidencia empírica o comprobada que destaca la contaminación de las aguas superficiales, la sobreexplotación de las aguas subterráneas para fines domésticos, principalmente en los valles de Guatemala y Quetzaltenango, y la generalizada falta de

tratamiento de las aguas residuales, es posible concluir que el régimen jurídico actual de los servicios públicos de agua y saneamiento, sin olvidar la falta de una ley de aguas, presenta al menos tres grandes fallas (Lentini, 2009):

- la ausencia de un ente regulador de los servicios públicos de agua y

- saneamiento (prestador, operador, usuario);
- la precaria aplicación de las disposiciones sanitarias y ambientales por parte de los ministerios de salud y ambiente, y
- una notable falta de cumplimiento de estas disposiciones por parte de la gran mayoría de las municipalidades del país.

CONCLUSIONES

Es evidente que la problemática del agua en la RMG y la gestión del recurso hídrico es un tema que concierne a todos los actores del área y preocupa a una parte considerable de la población, lo que ha dado como resultado un aumento en la concienciación de las personas y los distintos sectores sobre la importancia del cuidado y manejo adecuado del agua. Esto se ha dado mediante el fomento de incentivos e iniciativas, así como movimientos sociales que buscan sensibilizar y mejorar el medio ambiente y los servicios ecosistémicos que brinda. Asimismo, se busca que las actividades que se realizan tengan menos impacto y se dirijan hacia la sostenibilidad. Algo que vale la pena resaltar, es que muchas personas están dispuestas a asumir los costos necesarios para que se puedan realizar actividades orientadas a garantizar la seguridad hídrica a futuro.

Los retos alrededor de los recursos hídricos en el ámbito mundial para distintos sectores deben ubicarse dentro de un contexto económico, sociopolítico y ambiental cambiante, aprendiendo del conocimiento, desafíos y decisiones tomados en otras regiones del planeta. A nivel centroamericano, se observa gran disponibilidad de agua, con distintas presiones sobre su cantidad y su calidad, y con distintos grados de avance de país a país.

RECOMENDACIONES

La situación que se vive con respecto a los recursos hídricos exige que sea atendida con urgencia, ya que no se puede seguir postergando e ignorando que existe el riesgo de un colapso hídrico y ambiental. Por lo tanto, es necesario introducir al ordenamiento jurídico nacional un régimen legal específico de aguas, como lo manda la Constitución, así como la urgente necesidad de modernizar el régimen legal de los servicios públicos de agua y saneamiento para hacer frente y superar un problema público que impacta la salud de las personas, limita el ejercicio de los derechos humanos al agua y al saneamiento, causa deterioro ambiental, y permite prácticas monopólicas en su prestación e injustas en cuanto a su extracción.

A pesar de la existencia de varias iniciativas para ayudar a la concienciación de la población sobre el uso y conservación de los recursos hídricos, se hace necesario abordar el tema como un esfuerzo conjunto a nivel nacional, regional y de sector, enfocándose en lograr los mismos objetivos, evitando la duplicidad de actividades y mejorando la coordinación entre los actores involucrados. Asimismo, es necesario incluir en estos esfuerzos de participación a los grupos vulnerables más afectados, así como a la industria y a la empresa privada.

Es importante posicionar la gestión de recursos hídricos en el ámbito académico en Guatemala, en donde las universidades pueden y deben jugar un papel crucial, al incluir temas específicos sobre agua en sus cursos, programas y carreras.

REFERENCIAS Y BIBLIOGRAFÍA CONSULTADA

- Agencia Española de Cooperación Internacional para el Desarrollo. (2019). *Ficha técnica GTM-016-B: Bases técnicas para el establecimiento de una estrategia de seguridad hídrica para el área metropolitana de ciudad de Guatemala y municipalidades de la Mancomunidad Gran Ciudad del Sur, compatible con una explotación sostenible del acuífero*.
- Agencia Española de Cooperación Internacional para el Desarrollo y Banco Interamericano de Desarrollo. (2021). *Programa de Saneamiento Ambiental en el Área Metropolitana de la ciudad de Guatemala (AMCG)*.
- Allende, G. (1971). *Derecho de aguas con acotaciones hidrológicas*. EUDEBA.
- Asociación de Reservas Naturales Privadas de Guatemala. (2022). *Asociación de Reservas Naturales Privadas de Guatemala. Conservación voluntaria*. <https://reservasdeguatemala.org/>
- Asociación pro-Recuperación Integral de las Cuencas de los Ríos Negro y Contreras. (s. f.). *Información*. Página de Facebook.
- Calderón, H. (2014). *Teoría general del derecho administrativo (Tomo I)*. Servicios Diversos MR.
- Caponera, D. (2014). *Principios de derecho y administración de aguas, actualización de Marcella Nanni*. Universidad Externado de Colombia.
- Centro Guatemalteco de Producción más Limpia. (2021). Resultados del Programa de Desempeño Ambiental, mayo 2018 a junio 2021. *Revista Tendencias de Desempeño Ambiental*. CGP+L, julio, 13-16 p.

- Colom, E. (1978). *Análisis crítico de la legislación de aguas en Guatemala*. [Tesis, Universidad de San Carlos de Guatemala].
- Colom, E. (2001). *Estado del agua en Guatemala, 2000*. NOVIB, Fundación Solar.
- Colom, E. (2010). *Propuesta de modernización del régimen legal de las aguas territoriales de Guatemala*. Gabinete Específico del Agua y Banco Interamericano de Desarrollo.
- Colom, E. (2012). *Gobernabilidad del agua y gestión integrada de los recursos hídricos*. Asociación Civil no Lucrativa Colectivo Poder y Desarrollo Local.
- Colom, E. y Ballesteros, M. (2003). *Gobernabilidad eficaz del agua: acciones conjuntas en Centro América*. Global Water Partnership.
- Congreso de la República de Guatemala. (s. f.). *Sitio web institucional*. <https://www.congreso.gob.gt/#gsc.tab=0>
- Consejo Nacional de Áreas Protegidas. (2019). *Guía de implementación del Programa “Educación para la Conservación de las Áreas Protegidas y la Diversidad Biológica” -EDUCONAP-* (Documento Educativo No. 03-2019).
- Diez, M. (1975). *Tratado de derecho administrativo*. ULTRA.
- Embid, A. y Martín, L. (2015). *La experiencia legislativa del decenio 2005-2015 en materia de aguas en América Latina*. Comisión Económica para América Latina y el Caribe.
- Fundación para el Ecodesarrollo y la Conservación. (s. f.). *Firman de convenio para la ejecución del proyecto: El cinturón verde de la metrópoli de Guatemala*. https://fundaeco.org.gt/fundaeco.org.gt/noticias/2016/noviembre/convenio_ffem.html
- Fundación para la Conservación del Agua de la Región Metropolitana de Guatemala. (s. f.). *Sitio web institucional*. <https://funcagua.org.gt/>
- Fundación para la Conservación del Agua de la Región Metropolitana de Guatemala. (2020). *Observatorio Ciudadano del Agua (OCA)*. <https://funcagua.org.gt/observatorio-de-buenas-practicas/>
- Gabinete Específico del Agua. (2011). *Política Nacional del Agua, Acuerdo Gubernativo 517-2011* (Manuscrito no publicado).
- Global Water Partnership. (2011). *Hacia una gestión integrada de aguas urbanas* (Documento de perspectiva). https://www.gwp.org/globalassets/global/gwp-cam_files/aguasurbanas.pdf
- Global Water Partnership e International Network of Basin Organizations. (2009). *Manual para la gestión integrada de recursos hídricos en cuencas*. Global Water Partnership, INBO, Ministerio de Relaciones Exteriores de Francia.
- Global Water Partnership, United Nations Environment Programme y Comisión Centroamericana de Ambiente y Desarrollo. (2020). *Estado de la implementación de la GIRH en Centroamérica y República Dominicana al 2020*.
- Ibarra, E. (8 de noviembre de 2021). *Supervisan plantas de tratamiento a cargo de AMSA*. Agencia Guatemalteca de Noticias (AGN). <https://agn.gt/supervisan-plantas-de-tratamiento-a-cargo-de-amsa/>
- Instituto de Agricultura, Recursos Naturales y Ambiente. (2009). *El Sistema de Contabilidad Ambiental y Económica Integrada. Síntesis de hallazgos de la relación ambiente y economía en Guatemala*. Universidad Rafael Landívar.
- Instituto de Agricultura, Recursos Naturales y Ambiente y The Nature Conservancy. (2013). *Bases técnicas para la gestión del agua con visión de largo plazo en la zona metropolitana de Guatemala*. Universidad Rafael Landívar.
- Instituto Nacional de Estadística. (2018). *XII Censo de Población y VII de Vivienda*.
- Instituto Nacional de Estadística, Banco de Guatemala e Instituto de Agricultura, Recursos Naturales y Ambiente. (2013). *Sistema de Contabilidad Ambiental y Económica de Guatemala 2001-2010: Compendio estadístico (SCAE 2001-2010), Tomo I*. Universidad Rafael Landívar.
- Jouravlev, A., Saravia S. y Gil, M. (2021). *Reflexiones sobre la gestión del agua en América Latina y el Caribe*. Textos seleccionados 2002-2020. Comisión Económica para América Latina y el Caribe.
- Juárez, E. (4 de diciembre de 2016). *Gobierno acuerpa campaña «Démosle un abrazo al lago de Amatitlán»*. República. <https://republica.gt/jafeth-cabrera-franco/2016-12-4-20-42-40-gobierno-acuerpa-campana-demosle-un-abrazo-al-lago-de-amatitlan>
- Lentini, E. (2009). *Servicios de agua potable y saneamiento en Guatemala: beneficios potenciales y determinantes de éxito*. Comisión Económica para América Latina y el Caribe, Ministerio de Cooperación Económica y Desarrollo y Sociedad Alemana para la Cooperación Internacional.
- Marienhoff, M. (1971). *Régimen y legislación de aguas públicas y privadas*. Abeledo-Perrot.

- Martín, R. (1991). *Tratado de derecho ambiental*, V. I y II. Trivium, S. A.
- Martínez, G. y Peniche, S. (s. f.). Aproximaciones para caracterizar el ciclo hidrosocial del agua urbana desde la economía ecológica. Edición especial: Diáspora Hídrica. *Implivium*. Publicación digital de la Red del Agua UNAM. <https://www.researchgate.net/profile/Griselda-Martinez-Romero/publication/345978945-APROXIMACIONES-PARA-CARACTERIZAR-EL-CICLO-HIDROSOCIAL-DEL-AGUA-URBANA-DESDE-LA-ECONOMIA-ECOLOGICA/links/5fb3b40aa6fdcc9ae05b61c2/APROXIMACIONES-PARA-CARACTERIZAR-EL-CICLO-HIDROSOCIAL-DEL-AGUA-URBANA-DESDE-LA-ECONOMIA-ECOLOGICA.pdf>
- Mesa de Barranqueros. (s. f.). *Sitio web institucional*. <https://www.barranqueros.org>
- Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales. (2018). *Ministro de Ambiente y Recursos Naturales*. <https://www.marn.gob.gt>
- Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales. (2015). *Política Marco Para La Gestión Integrada Del Recurso Hídrico*.
- Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales y Agencia de Cooperación Internacional del Japón. (s. f.). *Manual de Educación Ambiental del Recurso Hídrico en Guatemala*.
- Ministerio de Educación. (2022). *Currículo Nacional Base*. <https://www.mineduc.gob.gt/portal/index.asp>
- Ministerio de Educación. (2021). *Currículo Nacional Base (CNB). Área de Ciencias Naturales. Nivel medio, ciclo básico*.
- Ministerio de Educación. (2008). *CNB. Currículo Nacional Base. Sexto Grado. Nivel Primario*.
- Ministerio de Educación de Guatemala. (2003). *Relación entre los ejes de la reforma educativa y los ejes del currículo*. http://cnbguatemala.org/index.php?title=Ejes_de_la_Reforma_Educativa_y_su_Relaci%C3%B3n_con_los_Ejes_del_Curr%C3%ADculum
- Municipalidad de Fraijanes. (2020). *Fraijanes Memoria de Labores 2020*.
- Municipalidad de Santa Catarina Pinula. (2020). *Memoria de Labores - Municipalidad de Santa Catarina Pinula 2020*.
- Nájera, A. (2020). Lanzamiento de la Alianza por el Agua en Guatemala: hacia una gestión sostenible de los recursos hídricos. *Revista Mesoamericana de Biodiversidad y Cambio Climático Yu'am*, 2(4). <https://www.revistayuam.com/lanzamiento-de-la-alianza-por-el-agua-en-guatemala-alianza-por-la-gestion-sostenible-de-los-recursos-hidricos/>
- Observatorio Económico Sostenible. (2021). *Encuesta de viviendas sobre el uso y disponibilidad de agua desde el punto de vista económico, de salud y de ambiente* [Manuscrito no publicado]. Gremia-OES, Universidad Del Valle de Guatemala.
- Organización de las Naciones Unidas. (2020). *Evaluación sobre el Estado de la Gestión Hídrica en Guatemala 2017-18 para alcanzar el Objetivo de Desarrollo Sostenible 6 (agua limpia y saneamiento)*.
- Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura. (2003). *Informe mundial de las Naciones Unidas sobre el desarrollo de los recursos hídricos: Agua para la vida agua para todos*.
- Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura. (2006). *Informe mundial de las Naciones Unidas sobre el desarrollo de los recursos hídricos: El agua una responsabilidad compartida*.
- Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura. (2009). *Informe mundial de las Naciones Unidas sobre el desarrollo de los recursos hídricos: Agua en un mundo constante de cambio*.
- Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura. (2012). *Informe mundial de las Naciones Unidas sobre el desarrollo de los recursos hídricos: Gestionar el agua – incertidumbre y riesgo*.
- Ortiz, G. (3 de diciembre de 2016). Un abrazo para el Lago de Amatitlán. *La Hora*. <https://lahora.gt/abrazo-lago-amatitlan/>
- Picado, F., Morán, M. y Colom de Morán, E. (Eds.). (2015). *Seguridad jurídica y cambio climático: Un estudio comparativo del estado de derecho y la gestión del agua, desde lo internacional a lo local*. Centro del Agua para el Trópico Húmedo para América Latina y el Caribe e International Development Research Center.
- Sánchez, E. (22 de agosto de 2017). *Presentación en Power Point ante el Comité de Coordinación Interinstitucional del Programa de Agua y Saneamiento de la Estrategia Nacional de Prevención de la Desnutrición de la Secretaría de Seguridad Alimentaria y Nutricional*.
- Solanes, M. y Getches, D. (1998). *Prácticas recomendables para la elaboración de leyes de agua*. <https://publications.iadb.org/publications/spanish/document/Prácticas-recomendables-para-la-elaboración-de-leyes-y-regulaciones-relacionadas-con-el-recurso-h%C3%ADdrico.pdf>

- Solanes, M. y Peña, H. (2003). *Gobernabilidad efectiva del agua: Acción a través de asociaciones en Sudamérica*. Comisión Económica para América Latina y el Caribe y Global Water Partnership.
- Spota, A. (1941). *Tratado de derecho de aguas* (Tomos I y II). Jesús Menéndez.
- United Nations Environment Programme. (2012). *Status report on the application of integrated approaches to water resources management*. https://www.un.org/waterforlifedecade/pdf/un_water_status_report_2012.pdf
- Valls, M. (1980). *La legislación del agua en los países de la América del Sur* (Estudio legislativo No. 19). Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura.
- Vals, M. (1994). *Recursos naturales, lineamientos de su régimen jurídico* (Tomo I, 3ª edición). Abeledo Perrot.
- van Tuylen, S. (2021). *Lake Amatitlán/Guatemala: Experience and Lessons Learned Brief* [Manuscrito no publicado]. International Lake Environment Committee.
- Vapnek J., Aylward B., Popp C., & Bartram J. (Eds.). (2009). *Law for water management: a guide to concepts and effective approaches* (FAO Legislative Study 101). Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura.
- Vásquez, C. (22 de agosto de 2017). *Presentación en Power Point ante el Comité de Coordinación Interinstitucional del Programa de Agua y Saneamiento de la Estrategia Nacional de Prevención de la Desnutrición de la Secretaría de Seguridad Alimentaria y Nutricional*.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES GENERALES

CONCLUSIONES

El *Informe del Estado del Agua de la Región Metropolitana de Guatemala 2022: el agua nos une*, es un primer esfuerzo para establecer el estado de los recursos hídricos para dicha región. En este sentido, la aplicación del marco FM-PEIR permitió llevar a cabo un análisis a través de las categorías de fuerzas impulsoras, presiones, estado, impactos y respuestas, el cual facilitó poder realizar una evaluación integral de la gestión de los recursos hídricos para el área metropolitana.

No obstante, se hizo evidente a lo largo de la investigación que existe un gran vacío de información confiable y actualizada para la región metropolitana en todas las áreas de estudio relacionadas directa e indirectamente con la gestión de los recursos hídricos. Esto es particularmente preocupante, ya que en este momento no es posible definir con exactitud una línea base de medición de los recursos, que permita a mediano y largo plazo establecer los posibles avances en la implementación de actividades y estrategias para la gestión del agua.

Asimismo, el informe identifica los retos y obstáculos a los que los distintos sectores se enfrentan para el buen uso y conservación de los recursos hídricos en el área metropolitana. La escasez no debe medirse por la falta del recurso, sino por la inversión pública insuficiente para lograr que la distribución de agua a la población sea equitativa, en cantidad suficiente y con la calidad adecuada.

En este sentido, se hace evidente que los procesos de planificación alrededor de la gestión del recurso hídrico en la RMG aún distan de ser esfuerzos permanentes que se traduzcan en procesos conjuntos de mejora y aprendizaje continuos, enfocados en una misma dirección y metas, tanto a nivel nacional, como a nivel metropolitano.

RECOMENDACIONES

A partir de este primer esfuerzo para determinar el estado de los recursos hídricos en la Región Metropolitana de Guatemala (RMG), se hace evidente la importancia de que todos los sectores involucrados, incluyendo al gobierno central y a los gobiernos locales, las organizaciones públicas y privadas, así como las universidades, prioricen la generación de información actualizada y confiable, de carácter público, que sirva como base para la medición del estado de los recursos hídricos, así como para el monitoreo de avances a mediano y largo plazo.

Si bien es importante y urgente una ley de aguas, hay acciones que se podrían empezar a gestionar. Por ejemplo, la elaboración de un código de construcción de pozos y la creación de una base de datos de pozos perforados. Empagua podría caracterizar y analizar sus pozos, pero existen muchos otros de propiedad privada que se construyen sin ninguna regulación. Conocer esta información permitirá saber sobre: niveles estáticos y dinámicos, caudales extraídos, unidades

geológicas atravesadas, armado de pozos y prueba de bombeo. Asimismo, se podría contar con la siguiente información indirecta: construcción de líneas de flujo, espesor de acuíferos, parámetros hidrogeológicos de los acuíferos (conductividad, transmisividad, coeficiente de almacenamiento, entre otros), así como zonas de captura.

La investigación sobre temas relativos al agua debería ser de interés nacional. Para ello, es indispensable priorizar la consecución de recursos humanos y financieros para la investigación y la innovación, así como brindar el respaldo institucional necesario. Con respecto al vacío de información existente, se recomienda identificar de manera específica temas sobre calidad, cantidad, extracción y ubicación (como datos meteorológicos e hidrológicos, inventarios de extractores, entre otros). Finalmente, se considera que toda la información generada debe ser de carácter público.

Es necesario contar con la coordinación y participación de los distintos actores involucrados para facilitar la integración de las distintas visiones e intereses con respecto al uso y conservación de los recursos hídricos existentes para la región, evitar la duplicidad de esfuerzos, enfocarse en alcanzar metas conjuntas, y lograr así superar las brechas y obstáculos que existen actualmente para lograr el acceso de agua de calidad para toda la población.

Por último, este informe es de importancia para dimensionar las presiones a las que están sometidos, no solo los recursos hídricos de la región metropolitana, sino los recursos naturales en general. Estas presiones incluyen el crecimiento poblacional y una expansión urbana desordenada, aunadas a otros factores sociales, políticos, económicos y ambientales. Es por ello que se recomienda llevar a cabo actividades, iniciativas y estrategias para generar conciencia a todo nivel sobre la importancia de la sostenibilidad de los recursos naturales y los recursos hídricos a largo plazo, por sobre los intereses económicos a corto plazo de algunos sectores.

CONSIDERACIONES FINALES

«Responsabilidades compartidas, pero diferenciadas»

Durante la Cumbre de la Tierra celebrada en Río de Janeiro en 1992, la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC) estableció el principio 7 que menciona las «responsabilidades comunes pero diferenciadas»⁴³ en donde todos los países signatarios asumen la responsabilidad, pero comprenden que existe diferencia en las emisiones que emite cada uno.

Aplicando este principio al tema del recurso agua, se puede establecer que «se reconoce que todos los sectores comparten una responsabilidad para abordar los desafíos de la seguridad hídrica (buena cantidad y calidad para todos los usos que sean necesarios), pero se reconoce que no todos los sectores tienen el mismo compromiso respecto de esos desafíos». Este principio reconoce la disparidad de la contribución al problema del recurso hídrico.

Para abordar los desafíos que presenta el recurso hídrico en la RMG debe comprenderse que existe una co-responsabilidad entre sectores y que es indispensable articular para que su aporte contribuya a la anhelada seguridad hídrica que se busca en la región.

El **sector doméstico** es, sin duda, un elemento clave. Estudios demuestran que los cambios de comportamiento que se puedan tener con el consumo de agua en casa, pueden contribuir significativamente en la reducción del estrés hídrico (Koop, Van Dorssen, & Brouwer, 2019)⁴⁴. Algunas de las medidas que propone este estudio para lograr este cambio en el comportamiento son: (I) aumento en la tarifa de agua (lo que lleva implícito el uso de contadores), (II) uso de tecnologías ahorradoras de agua, (III) campañas de comunicación y sensibilización (buenos resultados a corto plazo, pero poco eficiente para cambio de comportamientos a largo plazo), (IV) aumentar la autoeficiencia, lo cual implica empoderar a los residentes sobre su capacidad para lograr un cambio. Este estudio demostró que mediante este empoderamiento se logró una reducción de uso de agua del 23 %, a diferencia de proveer de información impresa (folleto informativo/educativo) en donde no hubo un cambio en el comportamiento (Koop, Van Dorssen, & Brouwer, 2019)⁴⁴. El sector doméstico definitivamente tiene un papel importante en cuanto al consumo de agua y en su aporte en la generación de aguas residuales, ya que hasta el día de hoy no se paga por la limpieza o tratamiento de las aguas residuales domésticas.

El **sector económico** -que incluye el industrial, agrícola y comercial- es el principal consumidor de agua y, por consiguiente, el mayor responsable ante los desafíos que contiene la seguridad hídrica. Su responsabilidad radica en una gestión consciente del agua, en la implementación de instrumentos de eficiencia hídrica como auditorías hídricas, huella de agua y huella hídrica según la necesidad, y sobre todo en el adecuado tratamiento de sus aguas negras y residuales. Por otro lado, la responsabilidad de este sector también radica en retribuirle a la naturaleza por lo que esta provee.

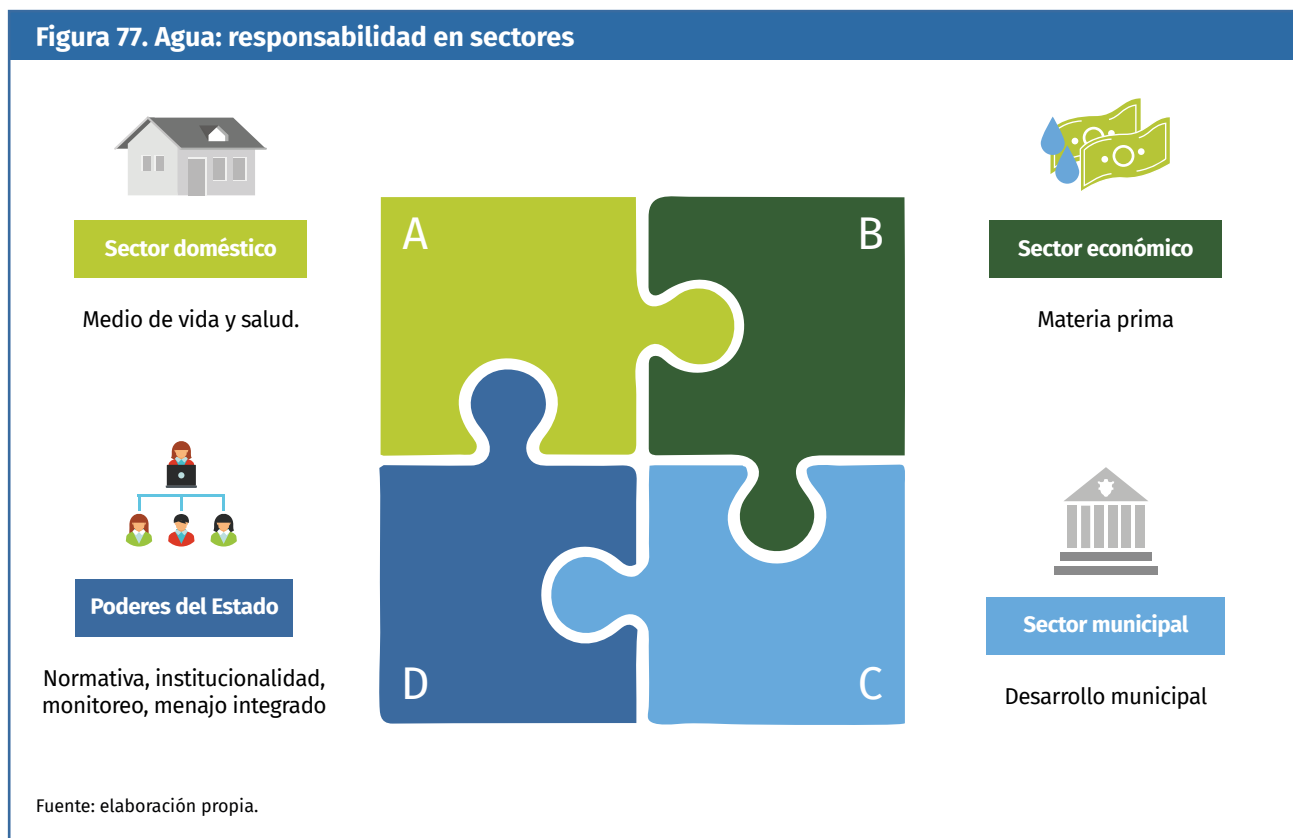
⁴³ <https://www.un.org/spanish/esa/sustdev/agenda21/riodeclaration.htm>

⁴⁴ Koop, S. H., Van Dorssen, A. J., & Brouwer, S. (2019). Enhancing domestic water conservation behaviour: A review on empirical studies on influencing tactics. *Journal of Environmental Management*, 867-876.

El **sector municipal** se relaciona al poder local de cada municipio, el cual recae en los alcaldes y sus concejos municipales. Como líderes municipales, tienen la responsabilidad y obligación de formular los planes de ordenamiento territorial y desarrollo integral del municipio, velando siempre por el uso sostenible de sus recursos (agua, bosques y suelo). Asimismo, tienen la responsabilidad y obligación de controlar el establecimiento, funcionamiento y administración de los servicios públicos entre los que se encuentra la provisión de agua potable y sus correspondientes instalaciones, equipos y red de distribución. Los planes de ordenamiento territorial deben ser elaborados considerando las características hídricas (superficiales y subterráneas) del municipio.

Poderes del Estado: los tres poderes (legislativo, ejecutivo y judicial), con sus respectivas atribuciones, deben considerar e implementar las medidas necesarias para que la población de Guatemala goce de seguridad hídrica y que, por medio de esta seguridad, pueda promoverse el desarrollo económico del país.

La figura 77 presenta un resumen sobre las responsabilidades compartidas y complementarias de todos los sectores para lograr la seguridad hídrica en el país.



ANEXOS

Anexo 1. Características generales de la población total por grupos de edad. Datos del departamento de Guatemala. Municipios de la Región Metropolitana de Guatemala (RMG) (número de personas)

Municipio	Características generales de la población. Población total. Datos del departamento de Guatemala
Amatitlán	116 711
Chinautla	114 752
Fraijanes	58 922
Guatemala	923 392
Mixco	465 773
San Miguel Petapa	135 447
San José Pinula	79 844
San Juan Sacatepéquez	218 156
San Pedro Sacatepéquez	51 292
Santa Catarina Pinula	80 582
Villa Nueva	433 734
Villa Canales	155 422
Total	2 834 027

Fuente: elaboración propia con base en INE (2018).

Anexo 2. Población por área (urbana) para los municipios de la Región Metropolitana de Guatemala (RMG) (número de personas)

Municipio	Población por área (urbana)	Porcentaje dentro del municipio
Amatitlán	98 176	84.12 %
Chinautla	104 972	91.48 %
Fraijanes	44 117	74.87 %
Guatemala	923 392	100 %
Mixco	463 019	99.41 %
San Miguel Petapa	129 124	95.33 %
San José Pinula	67 327	84.32 %
San Juan Sacatepéquez	155 965	71.49 %
San Pedro Sacatepéquez	36 932	72.00 %
Sta. Catarina Pinula	70 982	88.09 %
Villa Nueva	426 316	98.29 %
Villa Canales	124 680	80.22 %
Total	2 645 002	93.33 %

Fuente: elaboración propia con base en INE (2018b).

Anexo 3. Principios de gobernanza del agua de la OCDE



Fuente: OCDE (2015).

Anexo 4. Historial de leyes, planes e iniciativas públicas para la planificación de la Región Metropolitana de Guatemala (RMG)



Fuente: elaboración propia con base en Aragón (2018).

Anexo 5. Detalle de la situación de los planes de ordenamiento territorial (POT) en la Región Metropolitana de Guatemala (RMG)

Municipio	Fase		
	Aprobado	En desarrollo	Sin información*
Guatemala	X		
Villa Nueva	X		
Mixco		X	
Santa Catarina Pinula		X	
Villa Canales			X
Amatitlán			X
San Miguel Petapa			X
San José Pinula			X
Fraijanes			X
Chinautla			X
San Juan Sacatepéquez			X
San Pedro Sacatepéquez			X

*No se cuenta con información de si están desarrollando POT o el estatus del mismo.

Fuente: elaboración propia.

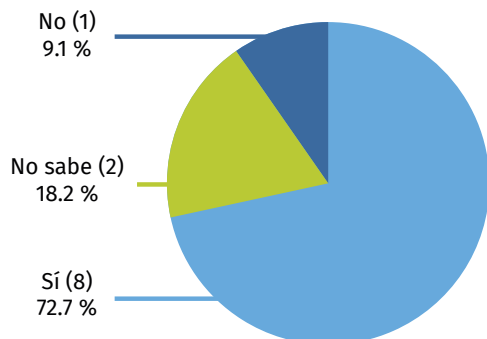
Anexo 6. Estimación del consumo de agua en la ciudad de Guatemala 2002 vs. 2018

2002					2018				
Zona	Viviendas	Porcentaje	Consumo (m ³ /mes)	Total	Zona	Viviendas	Porcentaje	Consumo (m ³ /mes)	Total
1	11 476	5.4 %	30	344 280	1	13 312.16	6.3 %	38.84	517 044
2	5667	2.7 %	30	170 010	2	6573.72	3.1 %	38.84	255 323
3	10 223	4.8 %	30	306 690	3	11 858.68	5.6 %	38.84	460 591
4	405	0.2 %	30	12 150	4	469.8	0.2 %	38.84	18 247
5	14 234	6.7 %	30	427 020	5	16 511.44	7.8 %	38.84	641 304
6	17 421	8.3 %	30	522 630	6	20 208.36	9.6 %	38.84	784 892
7	29 620	14.0 %	30	888 600	7	34 359.2	16.3 %	38.84	1 334 511
8	2541	1.2 %	30	76 230	8	2947.56	1.4 %	38.84	114 483
9	521	0.2 %	30	15 630	9	604.36	0.3 %	38.84	23 473
10	3375	1.6 %	30	101 250	10	3915	1.9 %	38.84	152 058
11	9762	4.6 %	30	292 860	11	11 323.92	5.4 %	38.84	439 821
12	10 232	4.9 %	30	306 960	12	11 869.12	5.6 %	38.84	460 996
13	6188	2.9 %	30	185 640	13	7178.08	3.4 %	38.84	278 796
14	4646	2.2 %	30	139 380	14	5389.36	2.6 %	38.84	209 322
15	3730	1.8 %	30	111 900	15	4326.8	2.1 %	38.84	168 052
16	4071	1.9 %	30	122 130	16	4722.36	2.2 %	38.84	183 416
17	5100	2.4 %	30	153 000	17	5916	2.8 %	38.84	229 777
18	41 447	19.7 %	30	1 243 410	18	48 078.52	22.8 %	38.84	1 867 369
19	5742	2.7 %	30	172 260	19	6660.72	3.2 %	38.84	258 702
21	17 324	8.2 %	30	519 720	21	20 095.84	9.5 %	38.84	780 522
24	3118	1.5 %	30	93 540	24	3616.88	1.7 %	38.84	140 479
25	4080	1.9 %	30	122 400	25	4732.8	2.2 %	38.84	183 821
Total	210 923		Total	6 327 690	Total	244 671		Total	9 503 009

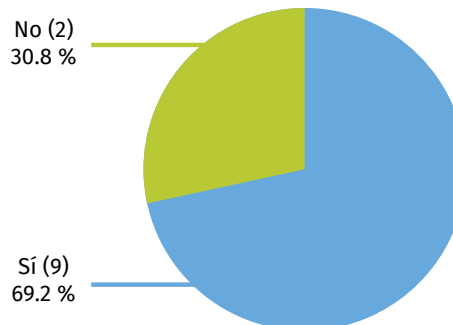
Fuente: elaboración propia con información proporcionada por el Instituto Nacional de Estadística y Empagua; Rodríguez (2014).

Anexo 7. Resultados de la encuesta sobre demanda de agua por la industria en la Región Metropolitana de Guatemala (RMG)

Pregunta: ¿Hace monitoreo al agua del pozo?



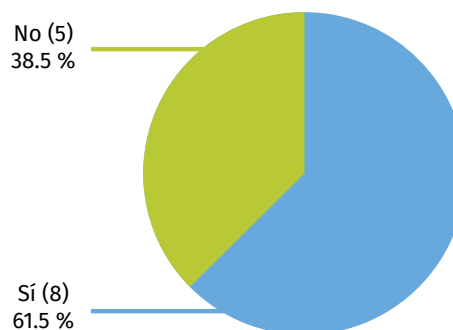
Pregunta: ¿Conoce la intensidad del uso del agua en su empresa? (volumen de agua usada por unidad de producto/servicio)



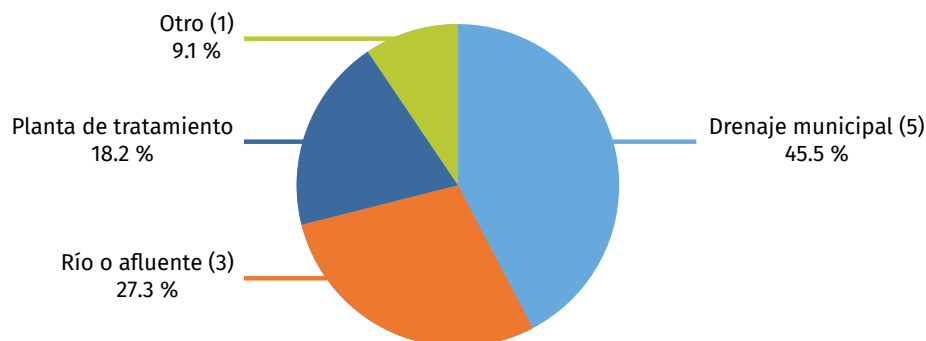
Pregunta: ¿Cuál es el consumo total de agua en su empresa en un mes?

Consumo mensual (m³)
1954
317.9
105
11 000
750
88
2271
130
125
350
Promedio 1709

Pregunta: En el costeo de los productos o servicios que usted brinda, ¿incorpora el costo del agua?



Pregunta: ¿A dónde descarga sus aguas residuales?



Fuente: elaboración propia.

Anexo 8. Situación de las aguas residuales en los municipios de la Región Metropolitana de Guatemala (RMG)

Municipio	Descripción	Características químicas de las aguas residuales
Guatemala	94.10 % de las viviendas tiene acceso a redes de drenaje, 1.9 % utiliza fosas sépticas o sumideros y el 4 % descarga a letrinas o pozos ciegos. - El alcantarillado drena a dos sectores: (I) norte: cuenca del río Motagua, drenada por el río Las Vacas y el río Plátanos y (II) sur: río Villalobos hacia el lago de Amatitlán y el río Michatoya. - El alcantarillado norte tiene una mayor cobertura, recibiendo aguas residuales y pluviales de las zonas 10, 11, 12, 13 y 14. - Los colectores principales en la parte este y oeste desfogon en dos puntos diferentes hacia el río Las Vacas; mientras que las aguas conducidas por el colector identificado como RMR desfogon en el río Villalobos. - Empagua administra tres plantas ubicadas en zona 17 y dos plantas en la zona sur ubicadas en zona 21 y zona 12. El caudal de estas cinco plantas de tratamiento es de 83 l/s o 7717 m³/día.	Las aguas residuales en los afluentes de las plantas de tratamiento del municipio se caracterizan por: - DBO5 promedio de 400 mg/l - DQO de 743.6 mg/l - No se reportaron datos de fósforo y nitrógeno total
Mixco	90.62 % de las viviendas tiene acceso a redes de drenaje, 4.16 % a fosas sépticas o sumideros y 5.23 % utiliza letrinas o pozos ciegos. 687 entes generadores, incluyendo 127 actividades industriales o agroindustriales. - En 2017, la municipalidad no contaba con un inventario de todas las plantas privadas construidas por industrias y empresas privadas.	Datos promedio de cuatro plantas de tratamiento administradas por la municipalidad y tres plantas privadas: - BDO5: 377 mg/l - DQO: 900 mg/l - Fósforo total: 11 mg/l - Nitrógeno total: 55 mg/l - Tres de las siete plantas muestreadas no cumplen con el límite de DBO requerido por el Acuerdo Gubernativo 236-2006 Datos promedio de 64 puntos de desfogue: - BDO5: 391 mg/l - DQO: 842 mg/l - Fósforo total: 15 mg/l - Nitrógeno total: 51 mg/l

Municipio	Descripción	Características químicas de las aguas residuales
Villa Canales	36.3 % de las viviendas tiene acceso a redes de drenaje, un 16.32 a fosas sépticas o sumideros y 47.38 % descarga en letrinas o pozos ciegos. 159 entes generadores desglosados como 21 industrias y el resto son comercios, edificios públicos y religiosos. - Tres plantas de tratamiento de aguas residuales, dos funcionan con el sistema de filtros percoladores y una con sistema de lodos activados convencionales.	Datos promedio de muestras de los afluentes de las plantas de tratamiento del municipio de los años 2017, 2019 y 2020: - Nitrógeno total: 61.10 mg/l - Fósforo total: 8.97 mg/l - DBO₅: 526 mg/l - DQO: 963 mg/l - Coliformes fecales: 2.84 x 10⁷ NMP/100 ml
Amatitlán	68.25 % de las viviendas tiene acceso a red de drenajes, 8.75 % utiliza fosas sépticas o sumideros, 23 % descarga en letrinas o pozos ciegos. - Los drenajes que se encuentran canalizados se conducen por alcantarillado hacia el río Michatoya. - En el municipio existen dos plantas de tratamiento de aguas residuales, pero no son administradas por la municipalidad.	Datos promedio a partir de 10 muestras de aguas residuales de diferentes puntos del municipio analizadas en 2016: 285 mg/l en BDO₅ 506 mg/l en DQO 6.8 mg/l en fósforo total 21.1 mg/l en nitrógeno total 1.86 x 10⁷ en NMP/100 ml de coliformes fecales
Santa Catarina Pinula	55 % de las aguas residuales es generado por colonias residenciales, fincas, urbanizaciones u otros que, según la licencia de construcción autorizada, son entidades privadas responsables del tratamiento de sus aguas. El restante 45 % es responsabilidad municipal, sin embargo, únicamente 31 % es tratada en plantas de tratamiento previo a su desfogue final. - Caudal aproximado de agua residual doméstica al día: 23804 m³/d. 14 plantas de tratamiento de aguas residuales.	Sin datos
San Miguel Petapa	33 descargas de aguas residuales, donde solo una cuenta con tratamiento municipal, tres con tratamiento deficiente por entidades privadas y las 29 restantes no reciben tratamiento alguno. - La municipalidad opera una planta de tratamiento. - La red de alcantarillado sanitario solo sirve a un 40 % de la población. - Al no existir red pluvial, el alcantarillado funciona de forma combinada en época de lluvias.	El valor de DBO ₅ en el efluente de la planta de tratamiento municipal es de 158 mg/l

Municipio	Descripción	Características químicas de las aguas residuales
Villa Nueva	75.52 % de las viviendas tiene acceso a drenajes, 14.4 % tiene fosas sépticas o sumideros y el 10.8 % utiliza letrinas o pozos ciegos. - Más de 400 entes generadores, con aproximadamente 70 industrias, 32 restaurantes y 14 gasolineras. 193 desfuegos a zanjones, quebradas y ríos y al menos 89 desfuegos a plantas de tratamiento de aguas residuales, para un total de 282 desfuegos. 76 plantas de tratamiento de aguas residuales con una capacidad total de 423.5 l/s. Un 55 % de estos sistemas opera en buen estado, 30 % en malas condiciones y 14 % de forma regular.	Datos promedio para efluentes que van a plantas de tratamiento: 569 mg/l en BDO5 13 mg/l en fósforo total 55 mg/l en nitrógeno total 5.37 x 10⁷ en NMP/100 ml de coliformes fecales Datos promedio de puntos que desfogan sin tratamiento: 267 mg/l en BDO5 6.2 mg/l en fósforo total 27 mg/l en nitrógeno total 2.14 x 10⁷ en NMP/100 ml de coliformes fecales

Fuente: Aecid y BID (2021, p. 134-137, 139-157).

Anexo 9. Monitoreo hídrico superficial de la subcuenca Villalobos

No.	Nombre	Lugar	Municipio
1	Río Chilayón	Bosque de San Lucas (parte alta en el Cerro Alux)	San Lucas Sacatepéquez
2	Río Pansalic	Finca Las Hortensias (parte alta en el Cerro Alux)	Santiago Sacatepéquez
3	Río Pansalic	Pista Tinco, El Encinal	Mixco
4	Río Villalobos	Las Charcas (entrada a planta de tratamiento de agua Mariscal)	Ciudad capital
5	Río Villalobos	Antes del puente Villalobos	Villa Nueva
6	Río San Lucas	Puente Villalobos	Villa Nueva
7	Río Pinula	Parque Extremo (Boca del Monte)	Ciudad capital
8	Río Villalobos	Entrada a la planta de tratamiento de aguas residuales de AMSA	Villa Canales

Fuente: Fondo Mundial para la Naturaleza (2016).

Anexo 10. Caudales en litros por segundo (l/s) de los sitios de muestreo en ríos tributarios de la microcuenca del río Villalobos (2016 y 2017)

No.	Río (altitud m s. n. m.)	Lugar	2016						2017			
			Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Feb	Mar	Abr	May
1	Villalobos (1200)	AMSA PTAR	2980	3007	1970	3587	2764	2163	2646	2131	2352	3457
2	Villalobos (1300)	Puente Villalobos	358	1827	660	1271	855	316	238	303	423	409
3	Villalobos (1400)	Las Charcas	682	628	729	912	1172	621	630	398	683	1155
4	Pansalic (1660)	Pista Tinco	129	108	52	345	342	54	69	17	17	132
5	Pansalic (2075)	Las Hortensias	25	90	89	142	152	83	60	23	14	35
6	San Lucas (1300)	Puente Villalobos	255	223	201	389	286	122	99	302	305	229
7	Chilayon (2030)	Bosque de San Lucas	1	6	7	51	42	10	5	4	80	129
8	Pinula (1300)	Parque Extremo	230	237	281	345	429	249	565	172	255	271

Fuente: Fondo Mundial para la Naturaleza (2017).

Anexo 11. Calidad fisicoquímica promedio en ríos de la cuenca sur o del lago Amatitlán

Tributario/ Río	DBO5 (mg/l)	DQO (mg/l)	Nitrógeno (N) (mg/l)	Fósforo (P) (mg/l)	Coliformes fecales (NMP/100 ml)
Frutal/ Zacatal	153	306	34.28	4.06	3.30E+06
Pinula baja	230	445	38.38	4.85	1.70E+06
Platanitos	209	366	37.39	5.02	5.40E+07
San Lucas	94	179	26.05	3.26	2.60E+06
Pansalic	416	1696	92.26	23.44	1.06E+06
Villalobos	86	182	26.07	2.98	4.50E+06

Fuente: AMSA (s.f.) en Aecid y BID (2021, p.9).

Anexo 12. Calidad fisicoquímica promedio del río Las Vacas en la cuenca sur

Ríos	DBO ₅ (mg/l)	DQO (mg/l)	Sólidos totales (mg/l)	Nitratos (mg/l)	Fosfatos (mg/l)	Coliformes fecales (NMP/100ml)
Chinautla	50	90	470	11.88	8.75	1.60E+11
Las Vacas (antes del Río Zapote)	120	170	427	14.52	2.23	1.60E+11
Las Vacas (después del Río Zapote)	125	179	539	10.12	6	1.60E+11
Las Vacas (después de Descarga Colector)	300	410	686	24.2	14	1.60E+11

Fuente: Iarna (2017) en Aecid y BID (2021, p. 9).

Anexo 13. Características fisicoquímicas y calidad del agua de seis ríos tributarios al Villalobos y lago de Amatitlán (periodo enero a noviembre de 2019)

Río	Caudal promedio	Parámetros fisicoquímicos	Índice de calidad del agua (ICA)
Frutal	719 litros por segundo (l/s)	• Demanda biológica de oxígeno (DBO₅): 80-300 mg/l • La demanda química de oxígeno (DQO): 147-508 mg/l • Los valores de nitrógeno total y fósforo total fueron excesivos para corrientes naturales (tasa N/P: 8.4), de manera que se confirma la presencia de descargas de aguas residuales específicamente de origen doméstico	12-16 Calidad pésima
Pinula	622.26 l/s Este caudal varía muy poco entre la época de lluvias y la época de estiaje, confirmando que el origen principal del agua es de descargas de aguas del alcantarillado	• DBO₅: 230.45 - 445.55 mg/l • -QO: 2-3 - 1102 mg/l • Las concentraciones de nitrógeno total y fósforo total fueron típicas de aguas residuales crudas de consistencia media, con valores promedio de 38.38 y 4.85 mg/l respectivamente • Restos de arsénico (As), cromo total (Cr), cobre (Cu) y zinc (Zn) • La concentración de hierro (Fe) se consideró excesiva, con valores superiores a los 50 mg/l. Estas características se asocian con un origen de agua residual industrial	9-11 Calidad pésima
Platanitos	136.53 l/s	• DBO₅: 120-380 mg/l • DQO: 204-636 mg/l • Las concentraciones de nitrógeno total y fósforo total fueron típicas de aguas residuales crudas de consistencia media con valores promedio de 37.39 y 5.02 mg/l respectivamente • Restos de arsénico, cromo total, cobre y zinc • La presencia de hierro se consideró excesiva con valores mayores a 11 mg/l. Estos datos se asocian con descargas de tipo industrial	10-13 Calidad pésima
San Lucas	86.99 l/s Recibe parte de las aguas residuales de San Lucas Sacatepéquez, Mixco y Villa Nueva.	• DBO₅: 24-220 mg/l • DQO: 57-410 mg/l • Las concentraciones de nitrógeno total y fósforo total fueron típicas de aguas residuales crudas de consistencia baja con valores promedio de 26.05 y 3.26 mg/l respectivamente • Las concentraciones de metales pesados estuvieron por debajo de los límites de detección analíticos • La concentración de hierro fue de 0.96 mg/l, considerada baja	12-19 Calidad pésima

Río	Caudal promedio	Parámetros fisicoquímicos	Índice de calidad del agua (ICA)
Pansalic	281.3 l/s Este caudal varía muy poco entre la época de lluvias y la época de estiaje, confirmando que el origen principal del agua es de descargas de aguas del alcantarillado. El río recibe aguas residuales de Mixco, Guatemala y Villa Nueva.	• DBO₅: 52-1200 mg/l • DQO: 99-3223 mg/l • Las concentraciones de nitrógeno total y fósforo total fueron típicas de aguas residuales que solo se producen por actividades industriales y uso de fertilizantes en áreas agrícolas, con valores promedio de 92.3 y 23.4 mg/l respectivamente. La baja de concentración en los meses de septiembre a enero sugiere una actividad intensiva estacional en los meses precedentes, como el procesamiento de alimentos • La concentración promedio de hierro fue excesiva con 241.5 mg/l • Presencia de arsénico, cromo total, plomo, mercurio, zinc y cobre	9-10 Calidad pésima
Villalobos	1901.5 l/s El río nace de la unión de los ríos San Lucas y Pansalic/Molino, que son sus tributarios. Recibe aguas residuales de Villa Nueva, San Miguel Petapa, Villa Canales.	• DBO₅: 28-150 mg/l • DQO: 65-417 mg/l. Es apreciable un efecto de dilución en los meses de abril a octubre, coincidiendo con la época lluviosa, debido al ingreso de quebradas y cauces, así como drenajes pluviales • Las concentraciones de nitrógeno total y fósforo total promedio fueron de 26.07 y 2.98 mg/l respectivamente • La concentración de hierro se reporta en 8.27 mg/l • Presencia de arsénico y zinc	10-16 Calidad pésima

Fuente: Aecid y BID (2021, p. 90-101).

Anexo 14. Calidad fisicoquímica promedio del río Las Vacas en la cuenca norte (2003)

Ríos	pH	Oxígeno disuelto (mg/l)	Sólidos totales (mg/l)	Nitratos (mg/l)	Fosfatos (mg/l)	DQO (mg/l)	DBO ₅ (mg/l)	Coliformes fecales NMP/100ml
Río Chinautla	7.9	7	470	11.88	8.75	90	50	1.60E+11
Río Las Vacas (antes del Río Zapote)	7.7	6.8	427	14.52	2.23	170	120	1.60E+11
Río Las Vacas (después del Río Zapote)	7.7	7.6	539	10.12	6	179	125	1.60E+11
Río Las Vacas (antes de descarga de colector)	7.5	2.2	360	9.24	6	30	16	1.60E+11
Río Las Vacas (después de descarga de colector)	7.2	4.6	686	24.2	14	410	300	1.60E+11

Fuente: Empagua (2003) y Iarna (2017) en Aecid y BID (2021, p. 108).

Anexo 15. Comparación de los resultados obtenidos durante los monitoreos llevados a cabo en 1978 y 2018, por variable

Variable	% de pozos en 1978	% de pozos en 2018
Profundidad	10 % = 300 metros o más 19 % = 200-300 m 49 % = 100-200 m 5 % = 75-100 m 17 % = 30-75 m	36 % = 300 metros o más 33 % = 200-300 m 29 % = 100-200 m 2 % = 30-75 m
Diámetro de tubería	44 % = 0.10-0.30 m (4" a 12" pulgadas) 5 % = 0.20-0.30 m (8" a 12" pulgadas) 51 % = 0.10-0.15 m (4" a 6" pulgadas)	24 % = 0.05-0.10 m (2" a 4" pulgadas) 0 % = 0.20-0.30 m (8" a 12" pulgadas) 62 % = 0.10-0.15 m (4" a 6" pulgadas)
Nivel estático ⁴⁵	52 % = 30-75 m de profundidad 4 % = 300 m o más	47 % = 100-200 m 7 % = 300 m o más

Fuente: elaboración propia.

⁴⁵ La profundidad puede ser un indicador bastante útil, sin embargo, la variable que mejor refleja el comportamiento de un pozo es el nivel estático, el cual se define como la medida de nivel de agua presente en un pozo, cuando este se encuentra en reposo o estancamiento, es decir, cuando la bomba y el motor se encuentran sin operar (apagado); siendo una medida relativa a la superficie del terreno (Funcagua, 2019).

Anexo 16. Pozos monitoreados por la Fundación para la Conservación del Agua en la Región Metropolitana de Guatemala (Funcagua) para la medición de niveles piezométricos por campaña y municipio

Municipio	2018 Época seca	2018 Época lluviosa	2019 Época seca	2019 Época lluviosa	2020 Época seca	2020 Época lluviosa	2021 Época seca
Amatitlán	0	0	1	1	0	1	4
Mixco	41	48	54	55	0	56	58
Santa Catarina Pinula	8	14	18	16	0	0	20
San Miguel Petapa	4	5	8	10	0	9	15
Villa Canales	12	20	26	24	0	27	27
Villa Nueva	26	31	33	32	0	35	39
Total	91	118	140	138	0	128	163

Fuente: elaboración propia.

Anexo 17. Características de los sectores analizados dentro del estudio de calidad del agua subterránea en el noreste del valle de la ciudad de Guatemala

Sector	Características de los acuíferos	Características hidrogeoquímicas de las aguas subterráneas
1: Hacienda Real, zona 16 y Canalitos 2	Acuíferos de relleno volcánico y sedimentos fluviales y lavas, con buena conexión hidráulica entre sí. El agua se encuentra en promedio a una profundidad de 110 m en el centro de la cuenca del río Los Ocotes, y a 30-48 m en la parte norte de la misma. Los ríos de la cuenca reciben aguas subterráneas (son ríos afluentes).	Aguas bicarbonatadas cálcicas, tanto en época lluviosa como en época seca. Uno de los pozos fue la excepción presentando agua bicarbonatada sódica y temperatura del agua de 27 °C a pesar de tener una profundidad de 373.4 m. En el área de Canalitos predominan las aguas de carbonatos y bicarbonatos, y domina el catión de calcio.
2: El Rodeo y Lavarreda zona 18	Se ubica dentro de la cuenca del río Los Vados, el agua fluye con dirección preferente hacia una población denominada El Chato. Se encuentran tres acuíferos con gran complejidad sobre su conexión entre sí: acuífero de relleno volcánico, acuífero de sedimentos fluviales y lavas, y acuífero de calizas del cretácico. Estas últimas son el acuífero más importante de la cuenca.	Aguas de tipo cálcico. Predominancia del catión calcio y aniones carbonatos y bicarbonatos.
3: Vista Hermosa, San Gaspar, zona 15 y zona 16	Ubicados dentro de la cuenca del río Las Vacas. El agua subterránea fluye preferencialmente con dirección a la altura de Chinautla, buscando la salida de la cuenca hidrográfica. Se encuentran tres acuíferos con gran complejidad respecto a su conexión entre sí: uno de relleno volcánico, otro de sedimentos fluviales y lavas, y el último de calizas del cretácico (que es el acuífero más importante de la cuenca).	Aguas de tipo cálcico sódicas y magnésico sódicas. En el área de Vista Hermosa predominan las aguas de carbonatos y bicarbonatos, y dominan los cationes sodio y potasio.
4: Sector norte y zona 6		Aguas de tipo cálcico.

Fuente: Ramírez (2003).

Anexo 18. Contaminación de aguas subterráneas con arsénico en la Región Metropolitana de Guatemala (RMG)

En junio de 2007, se identificó la contaminación de aguas subterráneas con arsénico en nueve pozos dentro de los límites de la microcuenca del río Tzajá, en parte de los municipios de Chinautla y Mixco, afectando el norte de la ciudad de Guatemala en un área de influencia de al menos 25 km². Las concentraciones de este elemento en agua se encontraban hasta seis veces mayores que los lineamientos establecidos por la Organización Mundial de la Salud (y también de la Norma Coguanor 29001), que fijan una concentración máxima de 10 µg/l.

Un nuevo estudio realizado en 2018 determinó que el número de pozos de agua contaminados con arsénico había aumentado en la misma zona. Para ello, se identificaron tres acuíferos⁴⁶ y se analizaron estadísticamente 149 muestras de agua subterránea. El agua con presencia de arsénico fue clasificada, según su origen, en tres tipos: aquella proveniente de fuente termal (con temperatura promedio de 70.4°C), la de acuífero terciario volcánico (temperatura promedio de 28.6°C) y la de acuífero cretácico carbonatado (temperatura promedio de 22.1°C). También se discriminaron tres ambientes hidrogeológicos en los que ocurre el arsénico.

Con los datos obtenidos se concluyó que las altas concentraciones de arsénico se asocian a altas temperaturas, que incrementan la capacidad solvente del agua y la presencia de minerales sulfurosos con arsénico en los acuíferos. Sin embargo, en aquellas aguas subterráneas donde la temperatura no tenía relación fundamental con el aumento de las concentraciones de arsénico, los autores destacaron la importancia de evaluar el sistema regional del flujo y la geología, tanto regional como local, para poder identificar la fuente de contaminación por este elemento.

Fuente: Machorro y Cortez (2018, p. 139, 144-145).

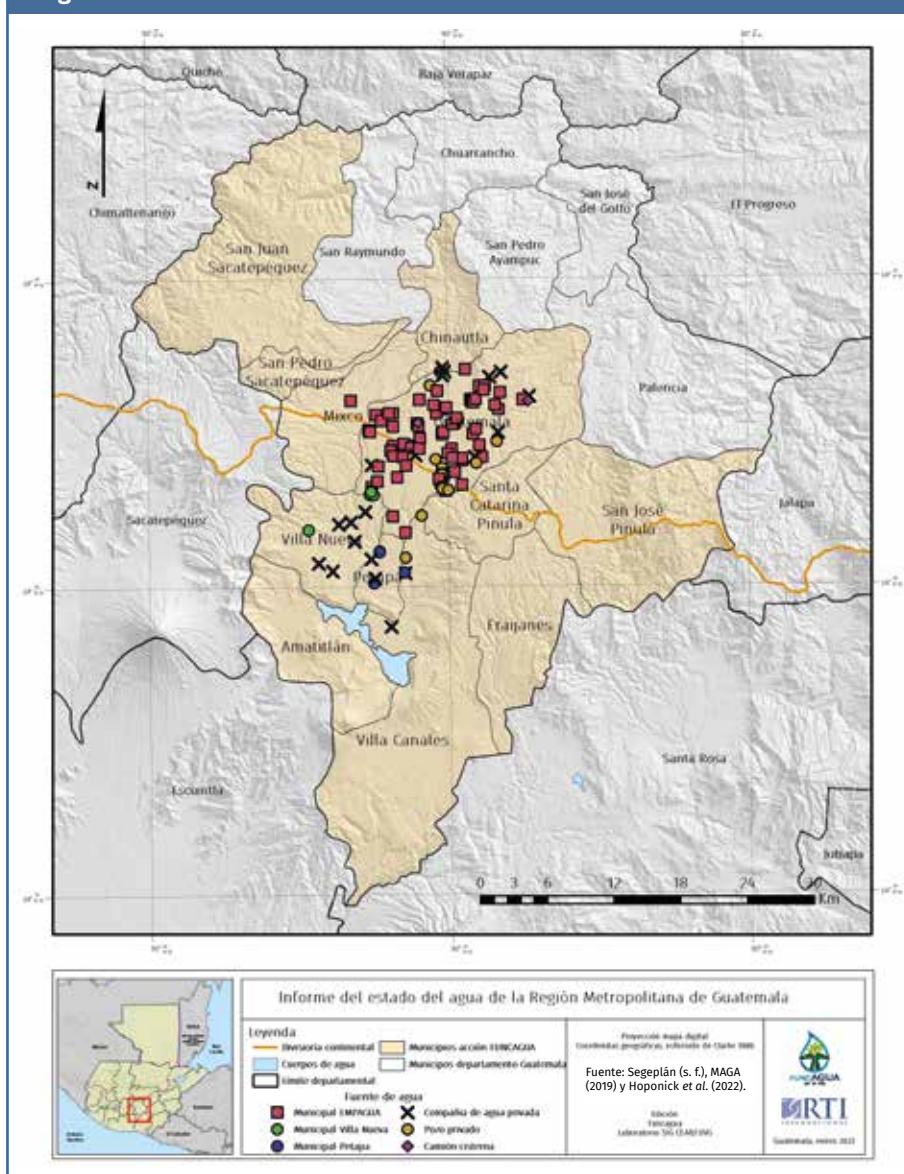
46 Acuífero 1: piedra pómez y tefra cuaternaria (Qtd-Qp), ocupando un 80 % de las zonas superficiales. Acuífero 2: lavas andesíticas cuaternarias (Qt) ubicadas en la zona central. Acuífero 3: rocas carbonatadas cretácicas (Kc) que afloran al norte. Dicha información se obtuvo revisando el mapa geológico de Guatemala en escala 1:50 000, útil como primera aproximación. Sin embargo, confirmaron la necesidad de contar con datos por cada pozo en particular, para tener una buena descripción de la naturaleza hidrogeoquímica de una zona, situación complicada, dado que la información relacionada con pozos de agua no es de libre acceso al público (Machorro y Cortez, 2018).

Anexo 19. Contenido de metales en muestras de agua del chorro del municipio de Guatemala y alrededores

El estudio «Agua Limpia para la Ciudad de Guatemala», fue desarrollado por el Observatorio Económico Sostenible de la Universidad del Valle de Guatemala en colaboración con RTI International, con el fin de determinar si existía contaminación por veinte diferentes metales pesados en el agua de chorro de residencias de la ciudad de Guatemala (municipio de Guatemala y algunos alrededores).

Para ello, se obtuvieron 113 muestras de agua de chorro en hogares ubicados en 20 zonas del municipio de Guatemala, con algunas obtenidas en Villa Nueva, San Miguel Petapa y Villa Canales⁴⁷. El número de muestras por zona buscó reflejar el número total de viviendas reportadas por el censo 2002 para esa zona. El mapa en la figura 78 muestra la ubicación de las muestras obtenidas, indicando la fuente correspondiente.

Figura 78. Localización de las muestras y fuente de la cual obtienen el agua los hogares muestreados



Con relación a la fuente de agua de dichas muestras, 70 hogares reportaron que la empresa que les brinda el servicio es Empagua. Otras viviendas obtienen su agua de empresas privadas, pozos privados, agua en cisterna y aguas de otras municipalidades.

Las muestras de agua fueron colectadas siguiendo estrictos protocolos de muestreo definidos en un documento y en un video que fue compartido con las viviendas. La colecta se hizo durante la primera muestra salida del chorro por la mañana, después de 8 horas sin correr agua en ningún chorro. Las muestras se mantuvieron en refrigeración para posteriormente ser preparadas en cajas térmicas con hielo seco, y así ser enviadas a Estados Unidos para su análisis en los laboratorios de RTI, usando la técnica ICP-MS, que permite analizar simultáneamente una serie de metales.

De los veinte metales analizados, solamente tres sobrepasaron el límite máximo permisible (LMP) para agua potable, según la norma Coguanor 29001, en algunas de las muestras: aluminio (Al), arsénico (As) y Plomo (Pb) (cuadro 19)⁴⁸.

Cuadro 19. Número de muestras que sobrepasan el límite máximo permisible según Coguanor NTG 29001

Zona	Número de muestras total	Aluminio	Arsénico	Plomo
1	4	0	1	0
2	7	2	4	1
3	5	2	3	0
5	6	0	1	0
6	1	0	0	0
7	6	4	0	0
8	3	0	2	0
9	1	0	0	0
10	6	2	0	0
11	8	5	2	1
12	3	1	2	0
13	1	1	0	0
14	7	0	1	1
15	7	1	0	1
16	8	0	1	1
17	2	2	0	0
18	13	5	7	2
19	1	1	0	0
21	2	0	1	0
San Miguel Petapa	7	0	6	1
Villa Canales	2	0	0	0
Villa Nueva	13	1	7	2

Se encontró aluminio en valores arriba del LMP en 24 % de las muestras. El aluminio puede quedar de forma residual en aguas superficiales tratadas con sulfato de aluminio como coagulante para remover sólidos. Aunque los niveles de aluminio encontrados están arriba del LMP establecido por la norma Coguanor, no hay un vínculo fuerte entre aluminio en el agua potable y daños a la salud. Estas muestras evidencian una posible ineficiencia al momento de adicionar el anticoagulante en las plantas de tratamiento de agua, que podría estar siendo agregado en cantidades arriba de lo necesario.

Las concentraciones de arsénico encontradas no presentan toxicidad aguda, pero sí pueden resultar en toxicidad crónica. Un tercio de las muestras colectadas mostró arsénico arriba del LMP, y su distribución espacial indica que se concentra principalmente en las áreas al norte (zonas 6, 18, 24, y 25), centro (zonas 1, 2, 3, 4, 5, 8, 9) y al sur (zonas 12, 13, 21), debido a que estas zonas se proveen por aguas subterráneas donde se encuentra al arsénico de forma natural. No hubo evidencia estadística de acumulación de arsénico en los tanques.

El plomo, que puede causar daños neurológicos a largo plazo, se encontró en 9% de las muestras. Su distribución aleatoria por la ciudad indica que la contaminación no proviene del sistema de potabilización y distribución del agua. Más bien, su alta concentración puede deberse a contaminación por las tuberías y el chorro dentro de ciertas viviendas. La edad de la casa no fue un factor significativo en el análisis.

Es importante notar que muchos de los hogares donde se colectaron las muestras indicaron que no usan el agua de chorro para consumo humano. En vez de ello, usan agua embotellada o agua filtrada por algún filtro comercial. Desafortunadamente, la mayoría de filtros disponibles en el mercado nacional no están diseñados para remover metales y, por lo tanto, no son efectivos para este tipo de contaminación. En el corto plazo, los hogares con altos niveles de arsénico o plomo pueden considerar el uso de agua embotellada para el consumo humano (aunque no hay muchos datos sobre la calidad del agua embotellada tampoco). En el caso del plomo, también se puede dejar correr el agua del chorro un minuto antes de usarla, lo cual puede reducir sus concentraciones en muchas instancias y/o instalar un chorro nuevo que no contenga plomo en el material. En el mediano plazo, será importante identificar soluciones a la problemática del arsénico, lo que puede incluir mejoramientos de los procesos de tratamiento para remover el arsénico al punto de distribución, o expandir el uso de aguas superficiales para la ciudad.

Fuente: Hoponick *et al.* (2022).

47 Dadas las restricciones impuestas por la pandemia, las muestras fueron obtenidas en hogares de personas vinculadas a la UVG (catedráticos, estudiantes o administrativos), por lo que no se colectaron en las zonas 24 y 25, ya que no se encontró personas que residieran en dichas áreas.

48 En este recuadro se presenta un resumen general de la investigación, cuya metodología y resultados detallados se encuentran en proceso de publicación por parte de los autores.

Anexo 20. Porcentaje de desnutrición aguda moderada y desnutrición aguda severa en menores de cinco años de los municipios del departamento de Guatemala, Guatemala (%)

Municipio ^a	2017		2018		2019	
	Desnutrición aguda moderada (%)	Desnutrición aguda severa (%)	Desnutrición aguda moderada (%)	Desnutrición aguda severa (%)	Desnutrición aguda moderada (%)	Desnutrición aguda severa (%)
Chinautla	2.94	2.04	1.81	1.6	2.88	0.7
Fraijanes	1.08	2.07	1.02	0.5	1.31	0.69
Guatemala	1.89	2.03	1.66	1.09	1.55	0.77
Mixco	2.23	1.21	1.40	1.02	1.35	0.70
Palencia	3.53	1.80	2.16	1.21	3.44	1.26
San José del Golfo	1.65	0.78	0.72	0.90	0.76	0.76
San José Pinula	1.36	0.86	1.7	0.71		

^a Los municipios de San Miguel Petapa, San Pedro Ayampuc, San Pedro Sacatepéquez, San Raymundo, Santa Catarina Pinula, Villa Canales y Villa Nueva no reportan datos.

Fuente: elaboración propia con base en MSPAS (2019).

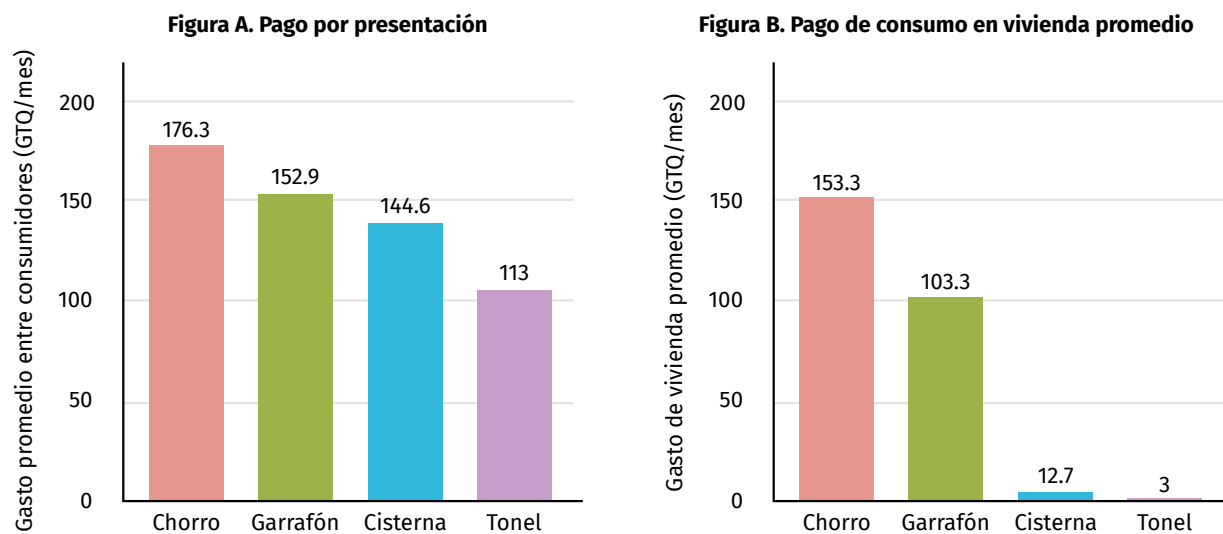
Anexo 21. Porcentaje de retardo moderado y retardo severo del crecimiento en los municipios del departamento de Guatemala

Municipio	2017		2018		2019	
	Retardo moderado %	Retardo severo %	Retardo moderado %	Retardo severo %	Retardo moderado %	Retardo severo %
Amatitlán	9.37	3.36	8.45	2.57	8.20	2.98
Chinautla	14.47	6.99	13.70	6.58	12.16	5.53
Fraijanes	14.41	6.91	12.97	5.01	10.33	5.04
Guatemala	10.38	5.43	10.18	4.60	9.38	3.76
Mixco	13.36	5.20	12.41	4.90	10.57	4.03
Palencia	15.18	8.18	14.15	6.65	11.36	5.61
San José Pinula	13.76	6.52	11.51	4.61	9.24	3.80
San Juan Sacatepéquez	21.31	12.82	21.09	12.42	19.98	11.21
San Miguel Petapa	14.14	8.70	12.50	8.47	11.03	7.14
San Pedro Sacatepéquez	20.98	8.41	17.76	6.21	16.66	5.27
Santa Catarina Pinula	14.42	5.74	12.71	4.75	10.35	4.17
Villa Canales	15.12	10.95	15.30	8.85	12.32	7.72
Villa Nueva	13.5	7.56	12.29	7.48	11.02	4.91

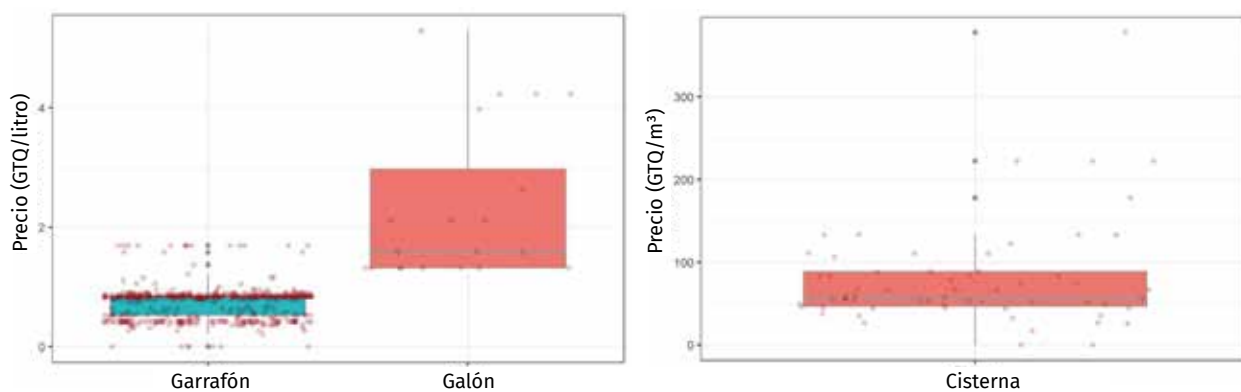
Fuente: MSPAS (2019b).

Anexo 22. Gasto promedio mensual en agua y precio medio que se paga por presentación de agua

El gasto promedio mensual en agua de cada presentación de agua fue de: GTQ 176.30 por agua de chorro, GTQ 152.90 por garrafón, GTQ 144.60 por cisterna y GTQ 113.00 por tonel (figura A). No obstante, muchos hogares solo consumen algunas de estas presentaciones. Así, el consumo de la «vivienda promedio» de GTQ 272/mes se descompone en: GTQ 153.30 por agua de chorro, GTQ 103.30 por garrafón, GTQ 12.70 por cisterna y GTQ 3.00 por tonel (figura B).



El precio medio que se paga por litro de agua en garrafón es de GTQ 0.85. Esto es varias veces menos que el precio medio por litro de agua en galón, el que asciende a GTQ 1.59 (figura C). Por su parte, el precio medio de agua en cisterna (agua no necesariamente potable) es considerablemente menor que el agua embotellada, llegando a GTQ 57.80 por m³ (figura D), pero mucho mayor que el precio por agua de chorro que tiene un precio promedio de GTQ 5.88 por m³ asumiendo un consumo promedio de 30 m³ por vivienda.



Fuente: Observatorio Económico Sostenible (2021).

Anexo 23. Interpretación general y aplicación de la legislación vigente

A. Propiedad y sus limitaciones

En cuanto a la propiedad y sus limitaciones, la interpretación general es que todas las aguas son bienes del dominio público con carácter de inalienables e imprescriptibles, porque ninguna ley es superior al mandato constitucional contenido en los artículos 127 y 128.

Respecto a las limitaciones al dominio, cabe destacar las servidumbres de agua, cuya función es trasladar las aguas del lugar en donde naturalmente nacen o escurren, hacia los puntos que permiten satisfacer las demandas de uso o bien hacer operativas medidas de gestión de riesgos; y consisten en la construcción, operación y mantenimiento de obras de captación, conducción, almacenamiento y distribución de aguas, o bien para la recolección, tratamiento y reúso de aguas residuales, así como obras para laminar la fuerza natural de agua. Sin un régimen de servidumbres de agua es muy difícil cumplir con objetivos de interés público, así como ampliar los derechos de agua y protegerlos frente a terceros.

B. Uso común

El uso común se refiere a las aguas cuyo uso no requiere autorización previa porque puede ser ejercido por cualquier persona, en los lugares específicamente habilitados para lo mismo; sin alterar la calidad, cantidad y comportamiento de las aguas ni excluir a otros de ejercer el mismo derecho.

C. Aprovechamiento especial

El aprovechamiento especial se expresa en un derecho de agua extendido o reconocido por autoridad competente, importa un beneficio directo para una persona determinada, individual o colectiva, que tiene por objeto usar una cantidad de agua de manera exclusiva, proveniente de fuente determinada, para un destino pre definido; este derecho se ejerce en la forma, modo y tiempo que la disposición legal que lo individualiza determine. El título que ampara el derecho de agua se incorpora al patrimonio de su titular, queda sujeto a las limitaciones de la ley y puede ser expropiado por razones de utilidad pública.

Guatemala carece de un sistema de derechos de agua, parte fundamental de la ley y causa importante de la conflictividad existente entre los usuarios.

En cuanto a la posibilidad de transmitir derechos de agua, el siglo XX nos deja principalmente dos experiencias: un sistema legal administrativo, sujeto a la autorización previa de la autoridad con base en criterios preestablecidos por la ley, y otro sujeto a las leyes de la oferta y demanda del mercado. En uno y otro caso se requiere contar con un sólido sistema de información, catastro de usos y registro de derechos de agua, por un lado, para llevar un balance técnico-jurídico de entradas y salidas por fuente de agua, y por el otro, para proteger los derechos de agua y exigir el cumplimiento de las obligaciones que estos conllevan.

Debido a las condiciones del régimen jurídico nacional, la precariedad en la aplicación de la ley y los conflictos presentes, para Guatemala se recomienda un sistema administrativo de derechos de agua que incluya la prohibición de transmitir los derechos de agua reconocidos u otorgados a favor de los pueblos indígenas, comunidades campesinas o grupos socialmente vulnerables.

D. Conservación

El mayor número de disposiciones vigentes del ordenamiento jurídico nacional se refieren a la conservación, y están contenidas principalmente en la legislación forestal, de áreas protegidas, sanitaria y en la ambiental, que se comenta como parte de las respuestas planteadas por el Estado.

La evidencia empírica pareciera indicar que el régimen de bosques se ha aplicado de manera más ordenada y eficaz desde la emisión de la Ley Forestal de 1996 y que, a través de los incentivos forestales contemplados en este régimen legal destinados a la protección de bosques y de zonas de recarga hídrica, se ha contribuido a la conservación y mejoramiento de las fuentes de agua; mientras que está pendiente la emisión de regulaciones para operativizar la disposición del subsistema nacional para la conservación de los bosques pluviales contenida en la Ley de Áreas Protegidas, aun cuando, de hecho, al abarcar este sistema más del 30 % del territorio nacional e incluir un número significativo de fuentes de agua, protege indirectamente el patrimonio hídrico. En estos dos casos, se estima que está pendiente asegurar que la aplicación de la normativa forestal y de áreas protegidas contribuya al cumplimiento de objetivos superiores relacionados con el desarrollo de los recursos hídricos.

E. Gestión de riesgos

La administración de riesgos derivados de eventos hidroclimatológicos extraordinarios ha estado presente a lo largo de la historia legal del país; aun cuando durante los últimos 50 años ha sido mediante la adopción de medidas de emergencia y reconstrucción, hasta que, con la creación de la Coordinadora para la Reducción de Desastres (Conred), se inició el proceso de adoptar medidas de prevención, a través de un sistema administrativo descentralizado desde lo nacional hasta lo comunitario. La gestión de riesgos requiere ser complementada por el ordenamiento territorial, y medidas de mitigación y adaptación al cambio climático.

F. Administración

La administración del agua refleja la ausencia de una entidad especializada, así como la existencia de normas dispersas e incompletas, con una visión sectorial que no logra organizar el desarrollo del potencial hídrico para cumplir fines superiores ni conservar las fuentes de agua, a pesar de la vigencia de la respectiva normativa ambiental para hacerlo.

G. Participación

La participación en la gestión y gobierno del agua aún no ha sido legalmente estructurada; el Código Municipal contempla formas de participación referidas a las funciones propias municipales, entre estas, las de prestar los servicios públicos de agua y saneamiento y la obligación municipal de reforestar las cuencas en donde se ubican las fuentes de agua. La Ley de los Consejos de Desarrollo Urbano y Rural establece formas para la participación comunitaria empleadas para solicitar la ejecución de proyectos, así como para asumir la operación y mantenimiento de servicios públicos de agua y saneamiento, principalmente en el área rural.

Fuente: elaborado por Elisa Colom.

REFERENCIAS DE LOS ANEXOS

- Agencia Española de Cooperación Internacional y Banco Interamericano de Desarrollo. (2021). *Programa de Saneamiento Ambiental en el Área Metropolitana de la Ciudad de Guatemala* (AMCG).
- Aragón, J. (2018). El territorio metropolitano en Guatemala: expansión, planificación, gestión. *Revista Análisis de la Realidad Nacional*, 24(il), año 7. Instituto de Problemas Nacionales, Universidad de San Carlos de Guatemala.
- Fondo Mundial para la Naturaleza. (2016). *Producto No. 5. Base de datos con la integración de datos e información climática, hidrogeológica e hidroquímica recopilada durante muestreo de campo de al menos 05 subcuencas seleccionadas de los sitios de estudio*. Proyecto “Monitoreo climático e hidrológico de campo, con énfasis en muestreo y análisis de isótopos estables del agua (D y 18O), en las cuencas Motagua y región metropolitana”.
- Fondo Mundial para la Naturaleza. (2017). *Informe final. Documento conteniendo balance hídrico de suelos y propuesta de modelos hídricos conceptuales de los sitios seleccionados*. Proyecto “Monitoreo climático e hidrológico en la región metropolitana de Guatemala”.
- Hoponick, J., Mulhern, R., Castellanos, E., Herrera, I., Wood, E., McWilliams, A., Liyanapatirana, C., Weber, F., Levine, K., Thorp, E., Bynum, N., Amato, K., Najera, M.A., Baker, J., Van Houtven, G., Henry, C., Wade, C., & Kondash, A. J. (2022). *Evaluating the occurrence of metals and PFAS in Guatemala City, Tap Water with Citizen Scientists*. Documento enviado al Boletín de la Organización Mundial de la Salud.
- Instituto Nacional de Estadística. (2018). *XII Censo de Población y VII de Vivienda. Características generales de la población. Población total por grupos de edad. Datos del departamento de Guatemala*. <https://www.censopoblacion.gt/graficas>
- Instituto Nacional de Estadística. (2018b). *XII Censo de Población y VII de Vivienda. Resultados Departamento de Guatemala*. <https://www.censopoblacion.gt/mapas>
- Machorro, R. y Cortez, S. (2018). Contaminación de aguas subterráneas con arsénico en Guatemala. En García, R., Mariño, E., Martínez, D. y Blarasin, M. (Eds.). *El agua subterránea recurso sin fronteras: Química, calidad y contaminación del agua* (Volumen II). Editorial de la Universidad de Salta.
- Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación. (2009). *Mapa de cuencas hidrográficas a escala 1:50 000 República de Guatemala método de Pfafstetter (primera aproximación)*. Unidad de Planificación Geográfica y Gestión del Riesgo.
- Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social. (2019). *Situación Epidemiológica Enfermedades Transmitidas por Agua y Alimentos (ETAs)*. <http://epidemiologia.mspas.gob.gt/files/2020/salassituacionales/etas/ETASSE92020.pdf>
- Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social. (2019b). *Informe del análisis del registro de control de crecimiento (SIGSA 5A) de los niños y niñas de 0 a 59 meses que asistieron a los servicios del Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social*.
- Observatorio Económico Sostenible. (2021). *Encuesta de viviendas sobre el uso y disponibilidad de agua desde el punto de vista económico, de salud y de ambiente* [Manuscrito no publicado]. Gremia-OES, Universidad Del Valle de Guatemala.
- Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos. (2015). *Principios de gobernanza del agua de la OCDE*. <https://www.oecd.org/cfe/regionaldevelopment/OECD-Principles-Water-spanish.pdf>
- Ramírez, L. (2003). *Estudio sobre la calidad del agua subterránea del área noreste del valle de la ciudad capital de Guatemala*. [Tesis de Ingeniería Civil, Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala].
- Rodríguez, M. (2014). *Evaluación del consumo de agua potable en la zona 10 de la ciudad de Guatemala en los años 2008-2010*. [Tesis de licenciatura, Universidad de San Carlos de Guatemala].
- Secretaría de Planificación y Programación de la Presidencia. (s. f.). *Infraestructura de datos espaciales de Guatemala*. Consultado en 2018: <http://ideg.segeplan.gob.gt/geoportal/>

El Observatorio Económico Sostenible (OES) es el centro de investigaciones más reciente del Instituto de Investigaciones de la Universidad del Valle de Guatemala (UVG). Fue creado para apoyar los esfuerzos de la sociedad civil, el Gobierno de Guatemala y otros actores nacionales en la construcción, análisis e implementación de políticas y programas basados en evidencia científica, con un enfoque en el desarrollo económico sostenible del país y de la región.

El Centro de Estudios Ambientales y Biodiversidad (CEAB) busca soluciones a la problemática ambiental de Guatemala con un enfoque integral e interdisciplinario, bajo un concepto de equidad y respeto a la vida. El CEAB es pionero a nivel nacional en el mapeo de la cobertura forestal, la estimación del contenido de carbono, la evaluación de ecosistemas y la investigación climática; asimismo, tiene amplia experiencia ejecutando proyectos conjuntos con organizaciones gubernamentales y no gubernamentales.



Universidad
Rafael Landívar
Tradición Jesuita en Guatemala



La Vicerrectoría de Investigación y Proyección (VRIP) es la dependencia de la Universidad Rafael Landívar (URL) encargada de definir y concretar la visión universitaria respecto a la investigación, buscando la mayor y mejor sintonía con los procesos de formación formal e informal y de acción pública para garantizar una proyección institucional inspirada por la realidad compleja y apegada a la identidad landivariana y la tradición jesuítica.

La investigación que impulsa la VRIP, en sintonía con la misión y la visión universitaria landivariana, se caracteriza por una calidad sustentada en el rigor científico y la pertinencia sociocultural y natural. Sus capacidades humanas, físicas, financieras y sus condiciones de trabajo están orientadas a gestionar prácticas investigativas interdisciplinarias e integrar la ciencia en contextos específicos y complejos de manera sistémica.



El Fondo Mundial para la Naturaleza (WWF por sus siglas en inglés) ha estado activo en Centroamérica por más de 30 años. La oficina regional de Guatemala dirige proyectos en toda América Central, cuyo principal enfoque es la conservación del Sistema Arrecifal Mesoamericano (SAM). Su trabajo es apoyar la misión global de WWF: construir un futuro donde los seres humanos puedan convivir en armonía con la naturaleza. Asimismo, combaten las mayores amenazas de la biodiversidad y al mismo tiempo colaboran con mejorar la vida de las comunidades vulnerables, con el fin de minimizar la huella ecológica que pueda dejar el ser humano en el planeta.



La Gremial de Empresas para el Manejo Integral del Agua (GREMIA), fue conformada por la Cámara de Comercio en julio de 2018, por iniciativa de un grupo de empresarios que desarrollan actividades relacionadas con el acceso al agua potable, quienes teniendo plena conciencia de que ninguna actividad económica puede desarrollarse de manera sostenible sin las cantidades y calidades adecuadas de agua, sometieron a la consideración de la Cámara la conformación de un grupo gremial que contribuyera a temas relacionados con el recurso hídrico.

La misión de Gremia es fomentar, promover e impulsar todas aquellas iniciativas que contribuyan a la seguridad y aprovechamiento del recurso hídrico del país, con especial énfasis en el valle de Guatemala.

Y su visión consiste en fortalecer la responsabilidad empresarial, social y ambiental de las empresas, a través de las buenas prácticas relacionadas con un manejo integral y sostenible del recurso hídrico, tomando en cuenta que es fundamental para el ODS 6.



Pacto Global
Red Guatemala

Pacto Global de Naciones Unidas es la iniciativa de sostenibilidad más grande del mundo, que reúne al sector empresarial y otros actores, como sociedad civil y academia. Con presencia en más de 69 países, la organización promueve que los miembros puedan alinear sus operaciones y estrategias a diez principios universales en las áreas de derechos humanos, estándares laborales, medio ambiente y anticorrupción; así como contribuir a la consecución de los objetivos de desarrollo sostenible (ODS).

A través de prácticas de sostenibilidad, los miembros del Pacto Global asumen la responsabilidad compartida de contribuir a la generación de un mercado global más estable, equitativo e incluyente, fomentando sociedades más prósperas.

Su visión en Guatemala es ser la instancia líder y referente de ciudadanía corporativa sostenible para la promoción del cambio a través del diálogo y la participación multisectorial, promoviendo los principios y valores del Pacto Global y los ODS de Naciones Unidas.



Pacto Global
Red Guatemala

