



Universidad
Rafael Landívar
Identidad Jesuita en Guatemala

VRIP

VICERRECTORÍA DE
INVESTIGACIÓN Y PROYECCIÓN
UNIVERSIDAD RAFAEL LANDÍVAR

AGUA

Serie

Perfil Ambiental de Guatemala

2023



Guatemala, septiembre de 2023

iarna

INSTITUTO DE INVESTIGACIÓN EN
CIENCIAS NATURALES Y TECNOLOGÍA



Universidad
Rafael Landívar
Identidad Jesuita en Guatemala

EDITORIAL
**CARA
PARENS**
UNIVERSIDAD RAFAEL LANDIVAR

AGUA

Serie Perfil Ambiental de Guatemala

Jaime Luis Carrera y Virginia Mosquera

Guatemala, septiembre de 2023

VRIP

VICERRECTORÍA DE
INVESTIGACIÓN Y PROYECCIÓN
UNIVERSIDAD RAFAEL LANDIVAR

iarna

INSTITUTO DE INVESTIGACIÓN EN
CIENCIAS NATURALES Y TECNOLOGÍA
Departamento de Ciencias Ambientales

333.9117

A282 Agua. / Jaime Luis Carrera y Virginia Mosquera ; colaboración técnica Sara Ortiz ; editores: Juventino Gálvez, Pablo Prado y Cecilia Cleaves -- Guatemala : Universidad Rafael Landívar, Editorial Cara Parens, 2023.

ISBN de la versión física: 978-9929-54-560-1

ISBN de la versión digital, PDF: 978-9929-54-561-8

x, 60 páginas ; ilustraciones en color (Serie Perfil Ambiental de Guatemala, 2023)

1. Uso del agua – Guatemala
2. Gestión del agua
3. Recursos naturales – Guatemala
 - i. Carrera, Jaime Luis, autor
 - ii. Virginia Mosquera, autora
 - iii. Ortiz, Sara, colaboradora
 - iv. Gálvez, Juventino, editor
 - v. Prado, Pablo, editor
 - vi. Cleaves, Cecilia, editora
- vii. Universidad Rafael Landívar, Vicerrectoría de Investigación y Proyección (VRIP), Instituto de Investigación en Ciencias Naturales y Tecnología (Iarna), Departamento de Ciencias Ambientales.
- vi. título

SCDD 22

Agua

Serie Perfil Ambiental de Guatemala

Edición, 2023



Universidad Rafael Landívar, Vicerrectoría de Investigación y Proyección (VRIP)
Instituto de Investigación en Ciencias Naturales y Tecnología (Iarna), Departamento de Ciencias Ambientales
Universidad Rafael Landívar, Editorial Cara Parens

Está autorizada la reproducción total, parcial y de cualquier otra forma de esta publicación, para fines educativos o sin fines de lucro, sin ningún otro permiso especial del titular de los derechos, bajo la condición de que se indique la fuente de la que proviene. El Iarna agradecerá que se le remita un ejemplar de cualquier texto cuya fuente haya sido la presente publicación.

D. R. ©

Universidad Rafael Landívar, Editorial Cara Parens
Vista Hermosa III, Campus San Francisco de Borja, S. J., zona 16, Edificio G, oficina 103
Apartado postal 39-C, ciudad de Guatemala, Guatemala 01016
PBX: (502) 2426 2626, extensiones 3158 y 3124
Correo electrónico: caraparens@url.edu.gt
Sitio electrónico: www.url.edu.gt

Revisión y edición por la Editorial Cara Parens

Las opiniones expresadas en esta publicación (textos, figuras y tablas) son de exclusiva responsabilidad de los(as) autores(as) y no necesariamente compartidas por la Universidad Rafael Landívar.

Universidad Rafael Landívar

Autoridades institucionales

RECTOR

P. Miquel Cortés Bofill, S. J.

VICERRECTORA ACADÉMICA

Dra. Martha Pérez de Chen

VICERRECTOR DE INVESTIGACIÓN Y PROYECCIÓN

Dr. José Juventino Gálvez Ruano

VICERRECTOR DE IDENTIDAD UNIVERSITARIA

P. José Antonio Rubio, S. J.

VICERRECTORA ADMINISTRATIVA Y FINANCIERA

Mgtr. Silvana Guisela Zimeri Velásquez de Celada

SECRETARIO GENERAL

Dr. Larry Andrade-Abularach

Instituto de Investigación en Ciencias Naturales y Tecnología

Mgtr. Juan Pablo Castañeda

Director

Créditos del documento

Autores

Mgtr. Jaime Luis Carrera

Mgtr. Virginia Mosquera

Colaboración técnica

Mgtr. Sara Ortiz

Comité editorial

Dr. Juventino Gálvez

Dr. Pablo Prado

Mgtr. Cecilia Cleaves

Revisoras

Claudia Gordillo

Elena Reyes

Mapa

Mgtr. Gerónimo Pérez

Revisión de textos, edición general, diseño y diagramación

Mgtr. Cecilia Cleaves

Fotografías

Shutterstock

Acerca del *Perfil ambiental de Guatemala*

El *Perfil ambiental de Guatemala* es una obra documental que permite difundir sistemáticamente resultados de investigación sobre la situación del ambiente natural en Guatemala y sus tendencias, considerando los contextos históricos y político-económicos prevalecientes. Es uno de los principales instrumentos del Instituto de Investigación en Ciencias Naturales y Tecnología (Iarna) para provocar la reflexión y la acción integral en favor de la vida en todas sus formas y el bien común. También, contribuye a nutrir los procesos de formación, acción pública y, en general, de proyección que impulsa la Universidad Rafael Landívar, frecuentemente en redes de colaboración con múltiples actores, como estrategia misional.

En 2010, el *Perfil ambiental de Guatemala* fue catalogado por el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (Pnuma) como una de las mejores prácticas latinoamericanas para realizar evaluaciones ambientales integrales. Este reconocimiento tiene sustento en los siguientes elementos destacables:

- la relación virtuosa entre marcos analíticos pertinentes, métodos rigurosos y hallazgos confiables y reveladores;
- el abordaje sistémico e interdisciplinar de la compleja realidad, aportando síntesis iluminadoras de soluciones;
- la vinculación entre los hallazgos académicos y las opciones de abordaje de desafíos ambientales y sociales, por intermedio de la política pública; y
- el potencial formador de los hallazgos, ligado a la calidad de las figuras (mapas, gráficas, cuadros, fotografías, entre otras).

Esta entrega es parte de la nueva modalidad modular en la presentación del *Perfil ambiental de Guatemala*. Este, junto a los módulos complementarios, serán compilados y puestos a disposición en los espacios virtuales bajo el dominio de la Universidad que serán anunciados en cada caso. Con este conjunto de módulos, se alcanzan dieciocho años de trabajo continuo de la serie *Perfil ambiental de Guatemala* bajo la tutela del Iarna y treinta y cinco años desde que se hizo la primera entrega bajo esta denominación en 1987.

Contenidos

Acerca del <i>Perfil ambiental de Guatemala</i>	IV
Abreviaturas, acrónimos, siglas y símbolos	IX
1. Antecedentes inmediatos	1
2. Hallazgos de la presente entrega	2
3. El estado del agua y las dinámicas que lo explican desde el enfoque FI-PEIR	3
3.1 Estado	3
3.1.1 Disponibilidad del agua	3
3.1.2 Calidad de los bienes hídricos	7
3.2 Presiones hacia el agua	16
3.2.1 En función de las demandas de agua	17
3.2.2 En función de la dinámica del uso de la tierra	19
3.2.3 En función de las dinámicas que afectan la calidad del agua	19
3.2.4 En función de las nuevas condiciones que impone el cambio climático	22
3.3 Fuerzas impulsoras de las presiones	23
3.4 Respuestas	23
3.4.1 Respuesta institucional	23
3.4.2 Respuesta social	28
3.5 Impactos	30
3.5.1 Subsistema económico: Economía y medios de vida	30
3.5.2 Subsistema sociocultural: Salud	32
3.5.3 Subsistema natural	35
3.6 Síntesis de la situación actual y tendencias	37
4. Tensiones estructurales y cursos de acción	40
5. Consideraciones finales	43
Referencias	44
Anexos	53

Lista de tablas

Tabla 1. Balance hídrico a nivel de las vertientes de Guatemala en millones de metros cúbicos al año (datos promedio para el periodo 1950-2000)	4
Tabla 2. Categorías de calidad de agua según el ISQA	8
Tabla 3. Extracción, recarga y relación recarga/extracción de agua subterránea en las microcuencas vinculadas al área metropolitana de la ciudad de Guatemala	19
Tabla 4. Uso de la tierra en las tierras forestales de muy alta, alta y media importancia para la captación y regulación hidrológica en 1991, 2001, 2010 y 2014	20
Tabla 5. Resultados generales de la evaluación de la implementación de la GIRH en Guatemala, de acuerdo con las cuatro dimensiones evaluadas	24
Tabla 6. Afectación a personas por distintos tipos de amenazas en la República de Guatemala (número), periodo 2008-2021	31
Tabla 7. Parámetros cualitativos del agua de consumo humano en comunidades de la Franja Transversal del Norte y sur de Petén en 2021	33
Tabla 8. Tensiones estructurales en torno al agua en los ámbitos internacional y nacional y propuestas de cursos de acción	40

Lista de recuadros

Recuadro 1. La gestión inadecuada de los bienes hídricos: El caso de la zona metropolitana de Guatemala	10
---	----

Lista de figuras

Figura 1. Disponibilidad anual de agua (millones de m ³ /km ² /año) e importancia relativa de la escorrentía y la recarga subterránea (porcentajes) por subcuenca	5
Figura 2. Distribución promedio mensual (mm/mes) y acumulación anual (mm/año) de la precipitación por vertiente hidrográfica con base en datos del periodo 1950-2000	6
Figura 3. Agua azul disponible por unidad de área (Ml/ha/año) y por persona (Ml/persona/año) para Guatemala y regiones de referencia	7
Figura 4. Índice simplificado de calidad de agua de los principales ríos de Guatemala	9
Figura 5. Calidad de agua de los ríos de la zona metropolitana de acuerdo al ISQA para el 2017	11
Figura 6. Transparencia Secchi de los principales lagos de Guatemala	12
Figura 7. Clorofila «a» de los principales lagos de Guatemala	12
Figura 8. Perfil de oxígeno del lago de Amatitlán, 2017	13
Figura 9. Perfil de oxígeno del lago de Atitlán, 2017	14
Figura 10. Perfil de oxígeno del lago Petén Itzá, 2017	15
Figura 11. Perfil de oxígeno de la laguna de Ayarza, 2015	16
Figura 12. Distribución del uso de agua azul por diferentes actividades económicas y de consumo para el periodo 2005-2010 (millones de m ³)	17

Figura 13. Distribución del uso del agua para riego agrícola y para la industria manufacturera en 2010 (%)	18
Figura 14. Comportamiento de la generación de aguas residuales por la actividad económica y por los hogares a nivel nacional durante el periodo 2001-2010 (millones de m ³)	20
Figura 15. Composición de las aguas residuales por tonelada (%)	21
Figura 16. Hogares con acceso a fuentes mejoradas de abastecimiento de agua potable a nivel nacional, urbano y rural, periodo 2000-2014 (%)	26
Figura 17. Tendencia en el acceso a distintos tipos de saneamiento en los hogares guatemaltecos (%), nivel nacional (2000, 2006 y 2014)	27
Figura 18. Tendencia en el acceso a distintos tipos de saneamiento en los hogares guatemaltecos (%), ámbitos urbano y rural (2006 y 2014)	27
Figura 19. Inversión en agua potable y saneamiento durante el periodo 2010-2015 (% del PIB): (a) según fuente de financiamiento (gobierno central vs. gobierno municipal) y (b) según tipo de gasto (capital vs. recurrente)	28
Figura 20. Hogares que compran agua embotellada para beber por departamento (porcentaje de hogares), 2014	29
Figura 21. Organigrama sobre la gestión comunitaria del agua en el altiplano occidental de Guatemala	30
Figura 22. Contaminación microbiológica en la fuente mejorada de abastecimiento dentro de los hogares y en la fuente para beber en municipios del altiplano occidental (porcentaje de fuentes con presencia de contaminantes), 2015-2016	32
Figura 23. Contaminación microbiológica en la fuente mejorada de abastecimiento dentro de los hogares en municipios del departamento de Guatemala (porcentaje de hogares), 2016	34
Figura 24. Incidencia de enfermedades transmitidas por alimentos y agua en departamentos seleccionados y resto del país (número de casos), periodo 2012-2020	34
Figura 25. Comportamiento de los niveles estáticos del agua subterránea en tres sectores de pozos del sistema Emergencia I de Empagua para el periodo 2001-2011 (datos en metros)	36
Figura 26. Profundidad comparada de pozos monitoreados en los municipios de la Mancomunidad Gran Ciudad del Sur (porcentajes), 1978 y 2018	36
Figura 27. Comportamiento del nivel estático del agua subterránea por municipio, periodo 2018-2021	37
Figura 28. Síntesis de indicadores FI-PEIR y relaciones causa-efecto de la situación del agua en el sistema socioecológico	39



Abreviaturas, acrónimos y siglas

AMPI	Autoridad para el Manejo y Desarrollo Sostenible de la Cuenca del Lago Petén Itzá
AMSA	Autoridad para el Manejo Sustentable de la Cuenca y el Lago de Amatitlán
Amsclae	Autoridad para el Manejo Sustentable del Lago de Atitlán y su Entorno
Cepal	Comisión Económica para América Latina y el Caribe
Coguanor	Comisión Guatemalteca de Normas
CSIRO	Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization
DBO	demanda bioquímica de oxígeno
DQO	demanda química de oxígeno
Encovi	Encuesta Nacional de Condiciones de Vida
ETA	enfermedades transmitidas por alimentos
FAO	Food and Agriculture Organization of the United Nations (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación)
FI-PEIR	fuerzas impulsoras, presión, estado, impacto y respuesta
Funcagua	Fundación para la Conservación del Agua de la Región Metropolitana de Guatemala
GEA	Gabinete Específico del Agua de la Presidencia de la República de Guatemala
GEMS/Water	Global Environment Monitoring System for Freshwater
GIRH	gestión integrada de los recursos hídricos
GWP	Global Water Partnership
Iarna	Instituto de Investigación en Ciencias Naturales y Tecnología ¹
IIA	Instituto de Incidencia Ambiental
INAB	Instituto Nacional de Bosques
INE	Instituto Nacional de Estadística
Insivumeh	Instituto de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología
IWMI	International Water Management Institute
ISQA	índice simplificado de calidad del agua
LMP	límite máximo permisible
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
MSPAS	Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social
NMP	número más probable
NTU	unidad nefelométrica de turbidez (<i>nephelometric turbidity unit</i>)
OECD	Organization for Economic Cooperation and Development (Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos)

¹ «Iarna» es la sigla que se utiliza indistintamente de las denominaciones anteriores que tuvo el Instituto de Investigación en Ciencias Naturales y Tecnología.

PNUD	Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo
PSA	pagos por servicios ambientales
Segeplán	Secretaría de Planificación y Programación de la Presidencia
Sigsa	Sistema de Información Gerencial en Salud
TNC	The Nature Conservancy
TSS	sólidos en suspensión totales
UNEP	United Nations Environment Programme (Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente)
Unesco	United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization (Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura)
URL	Universidad Rafael Landívar
Usaid	Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional
WHO	World Health Organization (Organización Mundial de la Salud)

Símbolos

ha	hectárea
kg	kilogramo
km ²	kilómetro cuadrado
l	litro
m	metro
m ³	metro cúbico
mg	miligramo
ml	mililitro
MI	millones de litros
mm	milímetro
Mm ³	millones de metros cúbicos
µg	microgramos

1. Antecedentes inmediatos

Desde inicios de la década de los 2000, el proceso de elaboración del *Perfil ambiental de Guatemala* ha servido para constatar, con base en los diferentes balances hídricos desarrollados a nivel nacional, que la oferta hídrica anual de agua supera significativamente las demandas del recurso que surgen desde la economía y la sociedad. El Instituto de Investigación en Ciencias Naturales y Tecnología (Iarna) indica que los usos consuntivos y no consuntivos del agua representan menos de una cuarta parte de la oferta hídrica total. No obstante, también se ha sostenido que esta relativa abundancia de agua es ilusoria (Gálvez, 2021), pues en muchos casos el acceso y la disponibilidad de agua se ven limitados, entre otros, por su distribución temporal y espacial, su calidad y por la falta de capacidades e infraestructura para almacenarla y conducirla adonde se requiera.

Los distintos datos e informes muestran que la calidad del recurso se ha deteriorado paulatinamente (Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales [MARN], Instituto de Agricultura, Recursos Naturales y Ambiente [Iarna] y Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (2009); Iarna e Instituto de Incidencia Ambiental [IIA], 2004, 2006; Iarna, 2009, 2012). Durante el periodo 2001-2004, ya se reportaban algunos ríos con valores por encima de los límites máximos permisibles de turbidez y de concentración de aluminio, manganeso, boro, nitratos, nitritos, cianuro y cromo. Para el 2010, se mencionaba que al menos dieciocho de los treinta y cuatro ríos principales y cuatro de los grandes lagos del país presentaban altos niveles de contaminación física, materia orgánica, microorganismos, contaminantes tóxicos y materiales cancerígenos (MARN *et al.*, 2009, como se citó en Iarna, 2012). El Iarna (2012) indicaba que los principales entes generadores de contaminantes al agua son la agroindustria, las actividades agrícolas y las aguas servidas provenientes de los hogares.

En síntesis, el país, por medio de su institucionalidad y sus agentes económicos y sociales, no ha

sabido atender los desafíos que plantea la gestión integrada del recurso. La pérdida de cobertura vegetal en áreas estratégicas para la regulación del ciclo hidrológico, por un lado, y la urbanización sin consideración de criterios ambientales de planificación, por el otro, han afectado la regulación de los flujos del recurso, con lo cual disminuye la infiltración y aumenta la escorrentía.

Además, la deficiente gestión de los sistemas de agua potable y de drenaje, la sobreexplotación del agua subterránea y el escaso interés por generar información sistemática sobre la disponibilidad y calidad del agua a nivel local son signos inequívocos de una gestión incoherente con la búsqueda del bien común y el bienestar de las generaciones presente y futuras. Los impactos negativos de esa gestión se expresan tanto en la salud como en las posibilidades de desarrollo de las personas y las comunidades, afectando también a los sectores económicos, que ven menguadas sus oportunidades de producción, y a la biodiversidad, que resulta deteriorada en ecosistemas acuáticos contaminados.

La administración del agua está regulada por un «conjunto disperso de leyes generales, ordinarias y especiales, creadas en contextos y con fines muy concretos, que presentan ambigüedades, contradicciones y vacíos que no permiten la gobernanza eficaz, pues atienden la gestión del recurso de manera parcial y sectorial» (Gabinete Específico del Agua de la Presidencia de la República de Guatemala [GEA], 2011, p. 10). Según la Fundación para la Conservación del Agua de la Región Metropolitana de Guatemala (Funcagua) (2022), un desafío relevante para la gestión del recurso es que, a lo largo de los últimos noventa años, se han emitido diferentes instrumentos legales que norman diversos aspectos vinculados al agua, pero sin que dicho recurso sea el objeto específico de regulación.

Estos instrumentos se pueden agrupar temáticamente según los siguientes aspectos: (I) propiedad del recurso y sus limitaciones; (II) aprovechamientos especiales;

(III) conservación y protección; (IV) uso común; (V) gestión de riesgos; (VI) administración; y (VII) participación. Esta situación, aunada a la falta de una institucionalidad especializada en la gestión y gobierno del agua, conduce a que la aplicación de la legislación vigente sea compleja y redundante en la falta de condiciones adecuadas para satisfacer las demandas sociales y económicas del recurso.

Pese a la validez de estas consideraciones, el meollo de la carencia de regulaciones e incentivos conducentes a una gestión del ciclo hidrológico y la garantía de derechos humanos asociados al agua

es la predominancia de una estrategia implícita de acaparamiento del agua para actividades económicas, en detrimento del uso garantizado para consumo humano y la observancia de caudales ecológicos. Esta situación ocurre en el seno de unas tensiones entre diferentes sectores con asimetrías de poder, donde se imponen los más fuertes desde el punto de vista económico y político (Gálvez, 2021). Todo indica, entonces, que el estado de las cosas no es casual, sino parte de esa estrategia de uso privilegiado, ilimitado e irresponsable en términos ambientales y sociales (Padilla, 2019).

2. Hallazgos de la presente entrega

Los hallazgos que se presentan en este módulo muestran que las dinámicas de degradación del recurso hídrico se han sostenido e intensificado en los últimos años, sin que se hayan implementado respuestas en la escala apropiada para detener o revertir las tendencias históricas observadas.

Por un lado, la calidad de las fuentes de agua se ha seguido deteriorando, como se evidencia en los siguientes datos: (I) en el 80 % de los ríos para los que existe la posibilidad de comparar información sobre calidad del agua respecto al 2021, los valores del índice simplificado de calidad de agua han empeorado; y (II) hay evidencia inequívoca de una contaminación microbiológica generalizada (presencia de coliformes fecales) en todas las fuentes de agua, independientemente del territorio del país, tipo de fuente (entubada, río, manantial, pozo) y tipo de área (urbana o rural).

Por otro lado, las presiones dirigidas sobre el agua subterránea, principalmente en el área metropolitana y otras áreas urbanas, muestran la sobreexplotación de muchos acuíferos, sin que se logren regular las dinámicas de las fuerzas impulsoras (tales como la urbanización, la deforestación, la falta de manejo de áreas de importancia para la regulación del ciclo hidrológico, el uso ineficiente del recurso por parte de las actividades económicas y la migración hacia las

ciudades), lo que conlleva la intensificación de las demandas localizadas del recurso.

Los niveles de eutrofización cultural de los principales sistemas lacustres del país ilustran uno de los principales impactos ambientales de la gestión inadecuada del agua. El lago de Amatitlán y la laguna de Chichoj, por ejemplo, presentan altos valores de hipoxia (concentraciones muy bajas de oxígeno para sostener la vida) que impactan en la dinámica ecológica de dichos ecosistemas. Se proyecta que esta situación se verá agravada por condiciones climáticas adversas para el país en los siguientes años, como temperaturas cada vez mayores y reducciones significativas de las precipitaciones (en un rango entre el 12 % y el 30 %, de acuerdo con los diferentes escenarios de cambio climático construidos para la región centroamericana y Guatemala).

Las principales respuestas institucionales se han dirigido hacia atender los impactos sociales asociados al consumo humano de agua de calidad pobre. En el periodo de 2012-2020, el sistema de salud gubernamental atendió alrededor de seis millones de casos de enfermedades transmitidas por contaminantes en alimentos y agua (ETA), donde el grupo de niñas y niños menores de cinco años fue de los más afectados, presentando una tasa de 9441 casos por cien mil habitantes en el

2020. La diarrea constituye el 17 % del total de las defunciones atribuibles a factores ambientales y el 94 % de los episodios se asocian al consumo de agua sin condiciones de potabilidad, ausencia de saneamiento e higiene inadecuada.

Los resultados de los balances hidrológicos desarrollados para Guatemala muestran una abundancia «teórica»² de agua, lo que manifiesta la incapacidad y voluntad política que el Estado de Guatemala ha tenido para gestionar un recurso fundamental para las personas y la economía guatemalteca, considerado de dominio público y

cuyo aprovechamiento, uso y goce debe ordenarse de acuerdo con el interés social (artículo 127 de la Constitución Política de la República de Guatemala).

Para implementar una gestión integrada del recurso, es fundamental la puesta en marcha de mecanismos participativos e inclusivos que permitan generar consensos sociales y territoriales alrededor de su uso y protección, basados en información oportuna y en el respeto a las diferentes visiones y valores culturales asociados al vital líquido.

3. El estado del agua y las dinámicas que lo explican desde el enfoque FI-PEIR

3.1 Estado

3.1.1 Disponibilidad del agua³

El balance hídrico nacional a nivel de microcuenca y agregado a nivel de subcuenca se presenta en la **tabla 1**. Esta estimación permite una desagregación nacional y a nivel de vertiente. Conforme al modelo utilizado⁴, la principal entrada de agua es la precipitación pluvial, la cual se estimó en un «promedio anual de 213 062 millones de metros cúbicos» (Iarna, 2015, p. 52), tomando como referencia los datos de lluvia del periodo 1950-2000.

El fenómeno de la evapotranspiración es el responsable de que el 56 % del agua (119 407 millones de metros cúbicos) retorne a la atmósfera, ya sea por evaporación directa o por la transpiración de la cobertura vegetal. El agua disponible es la que queda como agua superficial (escorrentía), como flujo subsuperficial (flujos horizontales que ocurren debajo de la superficie y alimentan la

escorrentía superficial), como aguas subterráneas (al infiltrarse y percolarse alimentando acuíferos) o en el suelo (humedad en este).

Hay que mencionar que en cálculos previos de balances hídricos, se ha reportado una menor disponibilidad (Iarna e IIA, 2006), debido principalmente a que los modelos anteriores consideraban únicamente la llamada «agua azul», que corresponde a la suma de la escorrentía superficial, subsuperficial y recarga subterránea (Falkenmark y Rockstrom, 2006). Sin embargo, para el balance hídrico presentado en esta publicación, la disponibilidad de agua azul corresponde a 93 658 millones de metros cúbicos, similar a los datos presentados en otras ediciones del *Perfil ambiental de Guatemala*.

De acuerdo con el Iarna (2015), con respecto al potencial hidrológico diferenciado a nivel de las distintas cuencas del país, las que presentan los mayores volúmenes de oferta hidrológica están ubicadas en el suroccidente del país (cuencas de

² Se considera «teórica» toda vez que el agua está presente espacial y temporalmente de forma heterogénea e irregular. La disponibilidad, en la práctica, requiere del desarrollo de infraestructura gris y verde que permita almacenar y conducir el recurso de forma estratégica y oportuna.

³ Basado en el balance hídrico generado por el Iarna (2015).

⁴ El Iarna (2015) utilizó como modelo hidrológico para estimar la disponibilidad de agua por subcuenca el módulo «hidrología» de la plataforma Sistema de Evaluación y Planificación del Agua (WEAP, por sus siglas en inglés), el cual se presenta como un sistema de apoyo a la toma de decisiones en materia de gestión integrada de recursos hídricos.

los ríos Ocosito, Naranjo y Suchiate), así como en la parte central y en la zona de la Franja Transversal del Norte (cuencas de los ríos Cahabón, Chixoy, Ixcán, Xaclbal, Tzea, Icbolay, Sebol, Sarstún y Río Dulce en Livingston) [ver **figura 1**]. En esas cuencas, la oferta hidrológica anual es superior a 1.5 millones de metros cúbicos por kilómetro cuadrado por año. Las cuencas con menor potencial de oferta hidrológica (por debajo del millón de metros cúbicos por kilómetro cuadrado por año) se encuentran en la parte norte del departamento de Petén, en el área del corredor seco (p. 30).

Asimismo, las hay ubicadas alrededor de la cadena volcánica. La mayoría de las subcuencas de la vertiente del Pacífico, así como varias cuencas del río Polochic y del sur del Petén, muestran valores intermedios en cuanto a su potencial hidrológico.

El balance hidrológico indica que, a nivel nacional, el 64 % de la disponibilidad total de agua corresponde a escorrentía superficial, el 18 % es recarga subterránea, el 3 % es flujo subsuperficial y un 15 % se queda almacenado en el suelo (humedad). Sin embargo, la forma en la que se configura la disponibilidad del recurso en las distintas cuencas no es uniforme (**figura 1**). En las

cuencas ubicadas en la Franja Transversal del Norte y en el sur del Petén, al menos el 60 % del agua disponible corresponde a la escorrentía superficial y, en buena parte de estas, el valor supera el 75 %.

Las cuencas con mayor recarga subterránea (entre el 30 % y el 45 % de la disponibilidad) se encuentran principalmente en la vertiente del Pacífico (cuencas de los ríos Nahualate, Madre Vieja, Coyolate, Acomé, Achiguate, Naranjo y lago de Atitlán). El potencial de recarga subterránea es también relativamente importante para el resto de las cuencas de la vertiente del Pacífico y para las que están ubicadas en la cadena volcánica y las del río Motagua.

La planificación territorial de las cuencas, así como la gestión integral del recurso, deberían considerar estas dinámicas para optimizar el uso del agua y asegurar su sostenibilidad presente y futura.

Al considerar la disponibilidad del agua, se debe tomar en cuenta también que la precipitación pluvial tiene una distribución temporal. La **figura 2** muestra que entre los meses de mayo a octubre ocurre alrededor del 80 % de la precipitación pluvial, indistintamente de la vertiente que se trate.

Tabla 1

Balance hídrico a nivel de las vertientes de Guatemala en millones de metros cúbicos al año (datos promedio para el periodo 1950-2000)

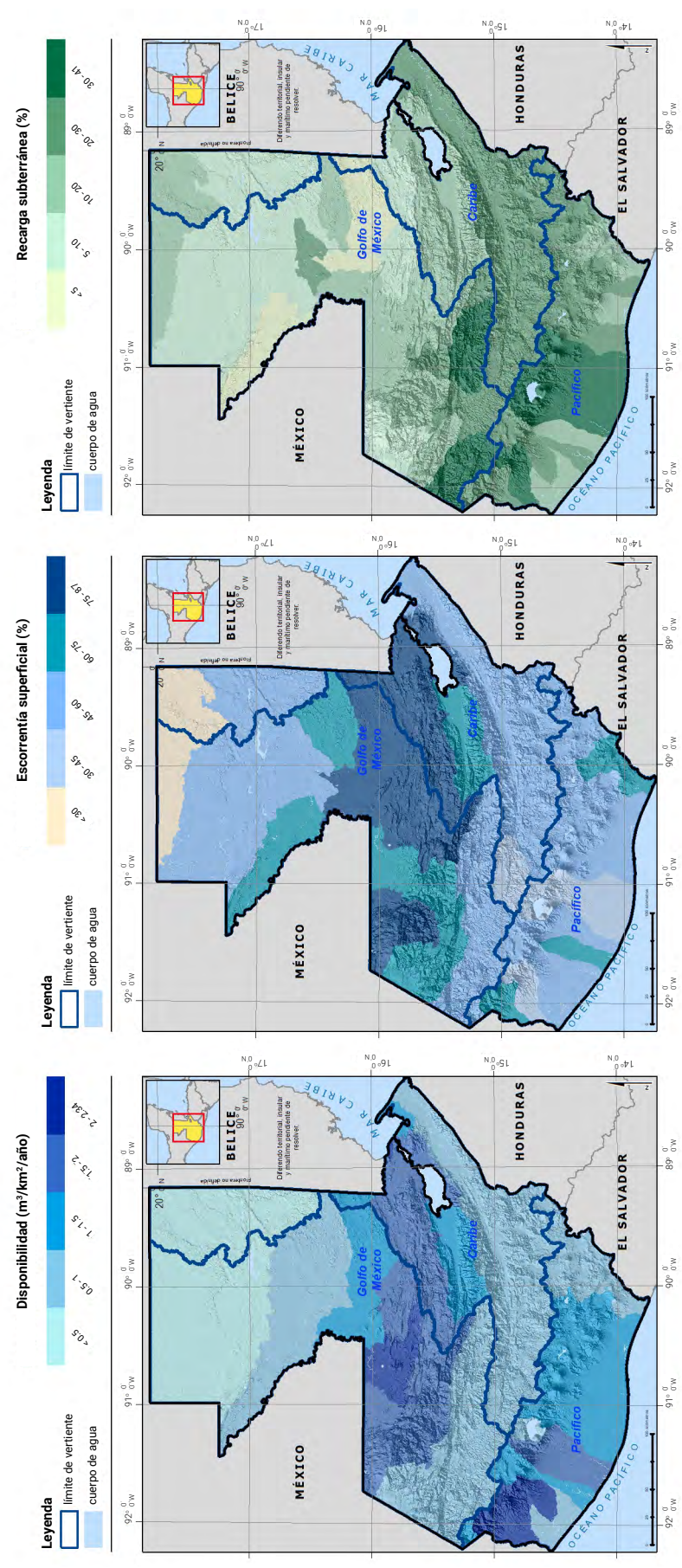
Categoría hídrica	Nacional (millones de m³/año)	Vertientes		
		Caribe (millones de m³/año)	Golfo de México (millones de m³/año)	Pacífico (millones de m³/año)
(A) precipitación	213 062	62 304	101 832	48 926
(B) evapotranspiración	119 407	36 249	60 429	22 728
(C) escorrentía superficial	70 193	20 047	33 899	16 247
(D) flujo subsuperficial	3520	901	1126	1493
(E) recarga subterránea	19 946	5108	6379	8459
(F) humedad en suelo (almacenada)*	16 682	4385	7322	4975
disponibilidad: (C+D+E+F) = (A+F-B)	110 340	30 441	48 725	31 174

Nota.

* El modelo considera el agua almacenada en el suelo del año anterior como un flujo de entrada en el balance hídrico, además de la precipitación. Dados los datos utilizados, el valor de este flujo equivale al agua almacenada en el suelo en el año siguiente, por lo que queda disponible para su uso. Fuente: elaboración propia con base en Iarna (2015).

Figura 1

Disponibilidad anual de agua (millones de m³/km²/año) e importancia relativa de la escorrentía y la recarga subterránea (porcentajes) por subcuenca



Perfil ambiental de Guatemala 2023

Universidad Rafael Landívar (URL)
Vicerrectoría de Investigación y Proyección
Instituto de Investigación en Ciencias Naturales y Tecnología (Iarna)
Departamento Interdisciplinar de Ambiente y Economía
Unidad de Datos e Información Estratégica (UIE/VRIP)
Fecha de elaboración: julio de 2023

Fuente: elaboración propia con base en mapas topográficos del Instituto Geográfico Nacional a escala 1:50 000 y 250 000. Unidad de Planificación Geográfica y Gestión de Riesgo del Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación (2005 y 2009), Iarna (2015)



Fuente: elaboración propia con base en mapas topográficos del Instituto Geográfico Nacional; Unidad de Planificación Geográfica y Gestión de Riesgo (UPGGR-MAGA) (2005, 2009) e Iarna (2015)

En ese contexto, Iarna e IIA (2006) afirman que, durante los meses de la época lluviosa, casi ninguna área del país enfrenta serios problemas en cuanto al abastecimiento del recurso, en tanto que en la época seca, alrededor del 50 % del territorio nacional exhibe dificultades para atender las demandas de los distintos usuarios.

La precipitación pluvial anual acumulada a nivel de vertiente hidrográfica presenta extremos. Por ejemplo, en las depresiones orográficas de los ríos Cuilco, Chixoy y Motagua, alcanzan en promedio entre quinientos y mil milímetros (mm) de lluvia anualmente. Por el contrario, los territorios con mayor precipitación promedio anual (entre cuatro mil y 5600 milímetros por año) se encuentran en las partes montañosas del país, en particular en zonas de la boca costa y las cordilleras montañosas del norte (Iarna e IIA, 2004).

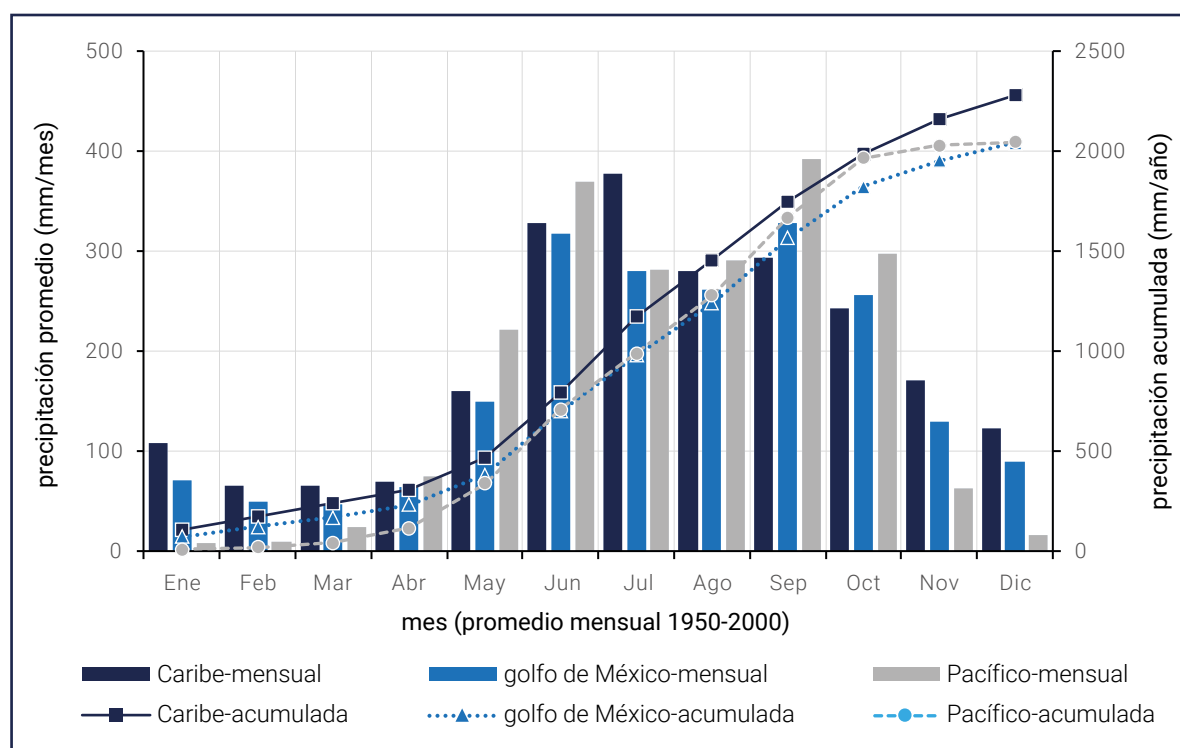
A partir de los datos analizados para el periodo

1950-2000 y de acuerdo con el Iarna (2015), se puede afirmar que la precipitación pluvial promedio anual acumulada por vertiente superó los dos mil milímetros por año, con valores ligeramente mayores en la vertiente del Caribe (**figura 2**). Es relevante mencionar que la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (Cepal) (2011) reporta la disminución de la precipitación promedio anual a nivel nacional para Guatemala desde 1950, la cual habría pasado de 2795 milímetros durante el periodo 1950-1979 a 2719 milímetros entre 1980-2006, lo que representa una reducción del 2.7 %.

Sobre la base de estas consideraciones, es posible analizar la situación hídrica del país desde diferentes ángulos. Por un lado, Guatemala es un país con alta disponibilidad de agua por unidad de superficie⁵ (superior al promedio mundial y de otras regiones vecinas) (**figura 3**). Sin embargo, al evaluar la disponibilidad de agua por persona, el país se encuentra por debajo del

Figura 2

Distribución promedio mensual (mm/mes) y acumulación anual (mm/año) de la precipitación por vertiente hidrográfica con base en datos del periodo 1950-2000



Fuente: elaboración propia con base en Hijmans et al. (2005)

⁵ Esto, considerando únicamente la disponibilidad de agua azul a nivel territorial.

promedio mundial e incluso de regiones áridas, como Australia. No obstante, el país contaría con más de 5000 m³/agua/año por persona, lo que supera sobradamente los 1700 m³/agua/año por persona que los hidrólogos han convenido como el umbral mínimo necesario para la producción de alimentos, el mantenimiento de las industrias y el sostenimiento de las dinámicas de la naturaleza (Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo [PNUD], 2006).

Entonces, ¿por qué cada año tantas personas, comunidades y sectores enfrentan problemas de acceso al agua en el país? La respuesta tiene que ver, no solo con este conocimiento preciso, sino más bien con: (I) la ausencia de una disposición de orden ético-político que permita democratizar y garantizar el acceso al recurso; (II) la insuficiente inversión estratégica y planificada de recursos en infraestructura, tanto verde como gris, que permita la adecuada regulación del ciclo hidrológico,

el almacenamiento y la conducción oportuna del recurso hacia los sitios donde ocurren las demandas; y (III) la falta de cuidado de la calidad del recurso que permita su uso sin poner en riesgo la salud humana y la de la biodiversidad.

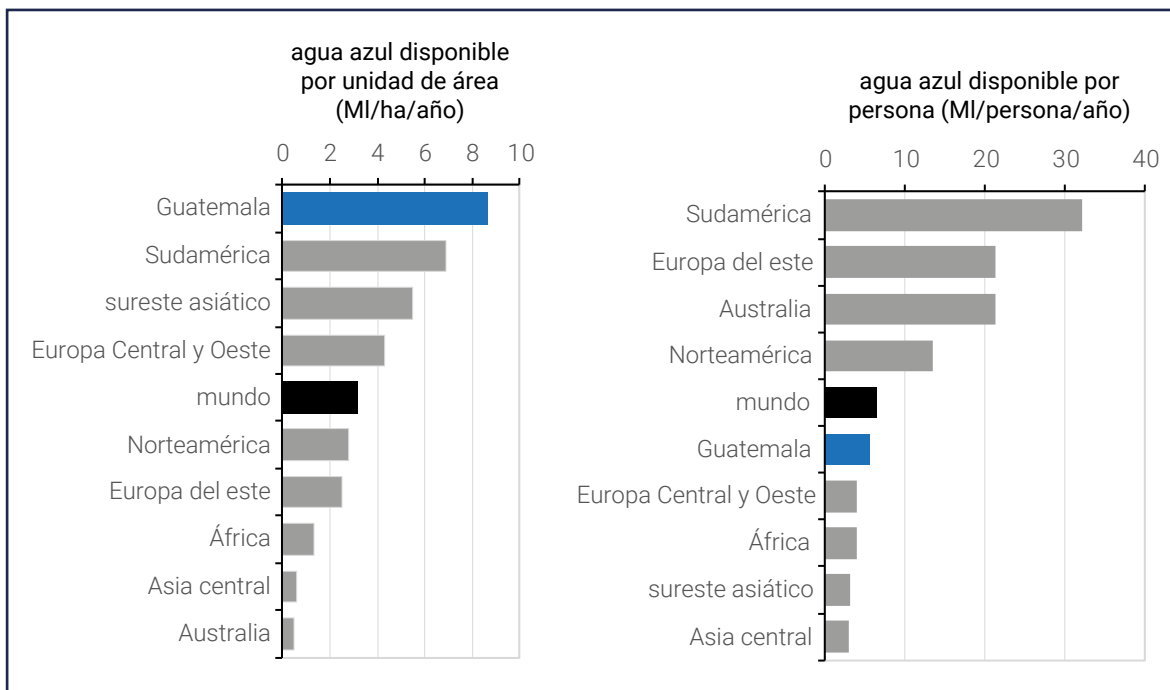
3.1.2 Calidad de los bienes hídricos

A. Calidad del agua de los ríos de Guatemala

Los diferentes usos del agua (consumo humano, agrícola, industrial, recreativo, ecológico, entre otros) requieren que la misma se evalúe frente a diferentes parámetros químicos, físicos y biológicos. A pesar de la necesidad de pruebas específicas⁶ —ya que no existe una única medida (World Health Organization [WHO], United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization [Unesco] y United Nations Environment Programme [UNEP], 1996)—, es posible cierta simplificación para brindar una interpretación

Figura 3

Agua azul disponible por unidad de área (Ml/ha/año) y por persona (Ml/persona/año) para Guatemala y regiones de referencia



Fuente: elaboración propia con base en Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization (CSIRO) (2011)

⁶ Por ejemplo: pH, conductividad, oxígeno, nutrientes, demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅), metales pesados, entre otros, y según el tipo de uso.

integrada de los datos a través de índices compuestos. Con estos, sería posible informar sobre una calidad de referencia normal, esperada o ideal de un cuerpo de agua en condiciones naturales (UNEP y Global Environment Monitoring System for Freshwater [GEMS/Water], 2007). Un índice compuesto de calidad de agua ofrece, entonces, un valor único que se expresa mediante la integración de las mediciones de un conjunto delimitado de parámetros (Torres *et al.*, 2009).

Actualmente, no existe un índice de calidad de agua globalmente aceptado, por lo que se elige aquel que mejor responde a la disponibilidad de datos y a objetivos particulares. En esta sección, se presenta un índice simplificado de calidad del agua (ISQA) con base en datos de treinta y un ríos de diecinueve cuencas del país y treinta y ocho puntos de muestreo (ver **anexo 1**). El ISQA se ha estimado con base en cinco parámetros fisicoquímicos registrados periódicamente por el

Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología (Insivumeh) entre el 2002 y el 2021.

Los parámetros considerados valoran la cantidad de materia orgánica degradable presente en el agua (demanda química de oxígeno o DQO, mg/l), la conductividad (mg/l), la turbiedad (unidad nefelométrica de turbidez o NTU)⁷ o sólidos en suspensión totales (TSS)⁸, el oxígeno (mg/l) y la temperatura (°C). Este ISQA se expresa en valores de 0 a 100 y permite separar la calidad del agua en las cuatro categorías que se describen en la **tabla 2** (Bonilla *et al.*, 2010; Torres *et al.*, 2009).

Los resultados del ISQA para el periodo 2002-2016 (**figura 4**) muestran que ningún punto de muestreo tenía una calidad de agua considerada «buena», el 74 % de los puntos contaban con una calidad de agua clasificada como «regular» (lo que implica que no debería destinarse para

Tabla 2

Categorías de calidad de agua según el ISQA

Categoría	Clasificación	Descripción
75-100	buena	Las condiciones son muy cercanas o rara vez se apartan de los niveles naturales de calidad. El agua es apta para cualquier uso y adecuada para la sostenibilidad de una alta diversidad de vida acuática. Existen pocas presiones que amenacen la calidad del recurso.
50-75	regular	Las condiciones a menudo no cumplen con los niveles socialmente deseados, pero son aceptables. El agua es apta para consumo humano con tratamiento especial, riego y procesos industriales. Posee menos condiciones para procurar una alta diversidad de organismos acuáticos. La calidad del agua se ve frecuentemente afectada.
26-50	mala	Las condiciones no cumplen con los niveles socialmente deseados. El agua no es apta para consumo humano, puede ser utilizada para riego y procesos industriales con tratamiento. Puede sostener una diversidad limitada de vida acuática. La calidad de agua se ve afectada continuamente.
0-25	pésima	Las condiciones no cumplen con los niveles socialmente deseados y con los niveles naturales de calidad. El agua no es apta para su utilización en ninguna actividad productiva y es un medio viable para un número muy limitado de formas de vida acuáticas. La calidad de agua se ve constantemente afectada.

Fuente: elaboración propia con base en Bonilla *et al.* (2010), Rivera (2008) y Torres *et al.* (2009)

⁷ Por sus siglas en inglés: *nephelometric turbidity unit*.

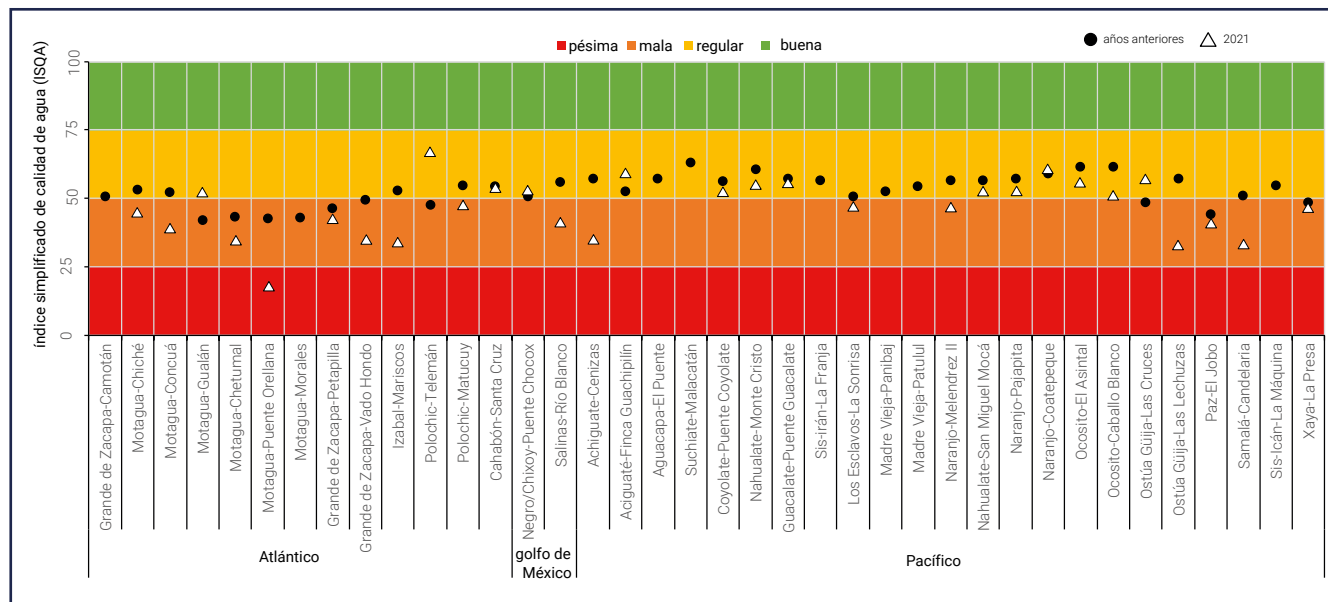
⁸ El ISQA incluye sólidos totales en suspensión (TSS), parámetros no evaluados por el Insivumeh en los monitoreos de 2002-2016, por lo que, para ese periodo, se adoptó la turbiedad a través de la curva de Brown, Macclelland, Deininger y Tozer (1970) (aún en revisión). Para el 2021, se utilizó el parámetro de TSS, ya incluido por el Insivumeh en sus análisis.

el consumo humano sin tratamiento previo) y el restante 26 % de los ríos se encontraba en la categoría de calidad «mala», por lo que ya no era

apta para el consumo de las personas, aunque podría emplearse en la agricultura y la industria luego del tratamiento correspondiente.

Figura 4

Índice simplificado de calidad de agua de los principales ríos de Guatemala



Nota. Los datos utilizados de años anteriores en el ISQA corresponden a: 2002 (Motagua-Concuá, Aguacapa-El Puente, Los Esclavos-La Sonrisa, Madre Vieja-Panibaj, Xaya-La Presa); 2003 (Guacalate-Puente Guacalate, Ocosito-Caballo Blanco, Ostúa-Las Cruces, Ostúa-Las Lechuzas, Paz-El Jobo, Samalá-Candelaria); 2006 (Motagua-Puente Orellana, Icán-La Franja, Sis-La Máquina); el resto se evalúa en el 2015-2016. Fuente: elaboración propia con base en datos de Insivumeh (2021).

El cálculo actualizado del ISQA con base en los muestreos realizados en el 2021 para treinta de los treinta y ocho puntos considerados en el análisis 2002-2016 sugiere que la calidad del recurso ha continuado deteriorándose de forma preocupante; así:

- veinticuatro de los treinta puntos de muestreo (80 %) evidenciaron una peor calidad del agua a la obtenida anteriormente;
- el 50 % de los puntos de muestreo presenta una calidad del recurso clasificada como «mala» (en contraste con el 26 % obtenido en el análisis 2002-2016);
- se obtuvo un resultado de calidad «pésima» en un punto de muestreo en el río Motagua, lo que implica que el recurso ya no es apto para su utilización en ninguna actividad productiva; y
- la contaminación fisicoquímica ha sido constante desde el 2016 y ningún río ha presentado calidad de agua «buena» (para el caso de los ríos que atraviesan la región metropolitana, véase el **recuadro 1**).

Es importante subrayar que los resultados presentados a través del ISQA no toman en cuenta la contaminación microbiológica ni la que originan los metales pesados. En el caso de la primera, se estima que existe presencia de contaminación microbiológica en por lo menos el 90 % de las aguas superficiales (Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social [MSPAS], 2013), por lo que su consumo humano sin tratamiento previo supone riesgos asociados a enfermedades gastrointestinales.

En el caso de los metales pesados, no existe información a nivel nacional. En el 2003, no obstante, se encontraron concentraciones de plomo en el tejido de peces del río Motagua que superaban los valores recomendados por el «Codex Alimentarius para productos marinos de la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación» (León, 2003, p. 25). Esta es una alarma que requiere de un seguimiento serio por parte de las autoridades responsables de estos ámbitos, ya que el plomo

es un metal bioacumulable, biomagnificable y altamente dañino para la salud de los seres vivos.

B. Calidad del agua de los principales lagos del país

El estado de la calidad del agua de los lagos también refleja su viabilidad ecológica, la calidad del agua de los ríos tributarios y, en general, informa sobre la capacidad de gestión de la sociedad. Una de las principales herramientas para evaluar el estado de un lago consiste en la determinación de su estado trófico, el cual

relaciona los niveles de nutrientes en el agua (principalmente fósforo y nitrógeno) con la proliferación de algas (fitoplancton) y otras plantas acuáticas, la cantidad de oxígeno en distintos niveles de profundidad y los niveles de transparencia (Zouiten, 2012).

La eutrofización es un proceso que se produce lentamente de forma natural, pero que se acelera gracias al aporte de nutrientes a través de materia orgánica y sedimentos provenientes de centros urbanos, actividades industriales y diversas prácticas agrícolas, principalmente.

Recuadro 1

La gestión inadecuada de los bienes hídricos: El caso de la zona metropolitana de Guatemala

La zona metropolitana de la ciudad de Guatemala es atravesada por los ríos Villalobos (que drena hacia el lago de Amatitlán) y Las Vacas (que es un tributario del río Motagua). La subcuenca del Villalobos está conformada por ocho microcuencas: Villalobos, San Lucas, Parrameño y Platanitos (ubicadas al noroeste y que pertenecen a la unidad hidrológica del cerro Alux); y Pinula, Las Minas, El Molino y El Bosque (ubicadas al noreste en la unidad hidrológica del cerro Pinula). El río Villalobos es el mayor afluente del lago de Amatitlán (Funcagua, 2022).

Los resultados obtenidos con el ISQA en distintos puntos de monitoreo a lo largo de ambos ríos (**figura 5**) permiten concluir que estos tienen los peores niveles de calidad a nivel nacional. En general, la mayoría de los ríos de la cuenca del lago de Amatitlán presenta valores de ISQA clasificados como calidad «pésima», lo que implica que el recurso no tiene la calidad para ser utilizado en ninguna actividad ni propiciar la sobrevivencia de la mayoría de especies acuáticas. Además, estos ríos movilizan grandes cantidades de desechos sólidos. Solo en 2016 se extrajeron veintiséis mil metros cúbicos de desechos acumulados en el lago (Autoridad para el Manejo Sustentable de la Cuenca y el Lago de Amatitlán [AMSA], 2016a). Los ríos de dicha cuenca se ven afectados por las actividades de los municipios de Guatemala (sur), Mixco (sur), Santa Catarina Pinula (sur), Villa Nueva, Petapa, Villa Canales y Amatitlán.

Los ríos que desembocan en el río Las Vacas, por otra parte, se ven afectados por las actividades que ocurren en los municipios que se ubican hacia el norte de la zona metropolitana, principalmente el norte de Mixco, Chinautla, Palencia, San Pedro Ayampuc y San José del Golfo. El río Las Vacas llega a Chinautla con una calidad «mala» tendiente a «pésima». Sin embargo, su calidad mejora al recorrer el resto de la cuenca gracias a los procesos de autodepuración del mismo río y a la incorporación de otros ríos con mejor calidad, por lo que el ISQA sigue manteniéndose en una clasificación «mala», pero muy cercana a «regular».

Una consideración por resaltar es que en ambos ríos, los niveles de contaminación microbiológica se encuentran muy por encima de los niveles máximos para descargas de aguas residuales. En su desembocadura, el río Villalobos presenta niveles de coliformes fecales de 2.8×10^6 NMP/100 ml (AMSA, 2016b), en tanto que el río Las Vacas presenta más de 1.6×10^5 NMP/100 ml de *Escherichia coli* al abandonar la zona metropolitana de la ciudad de Guatemala (Iarna, 2017).

La mala gestión de estos ríos supone graves riesgos a la salud humana y amenaza la sobrevivencia de los ecosistemas acuáticos. En términos prácticos, es inviable utilizar el agua de ambos ríos.

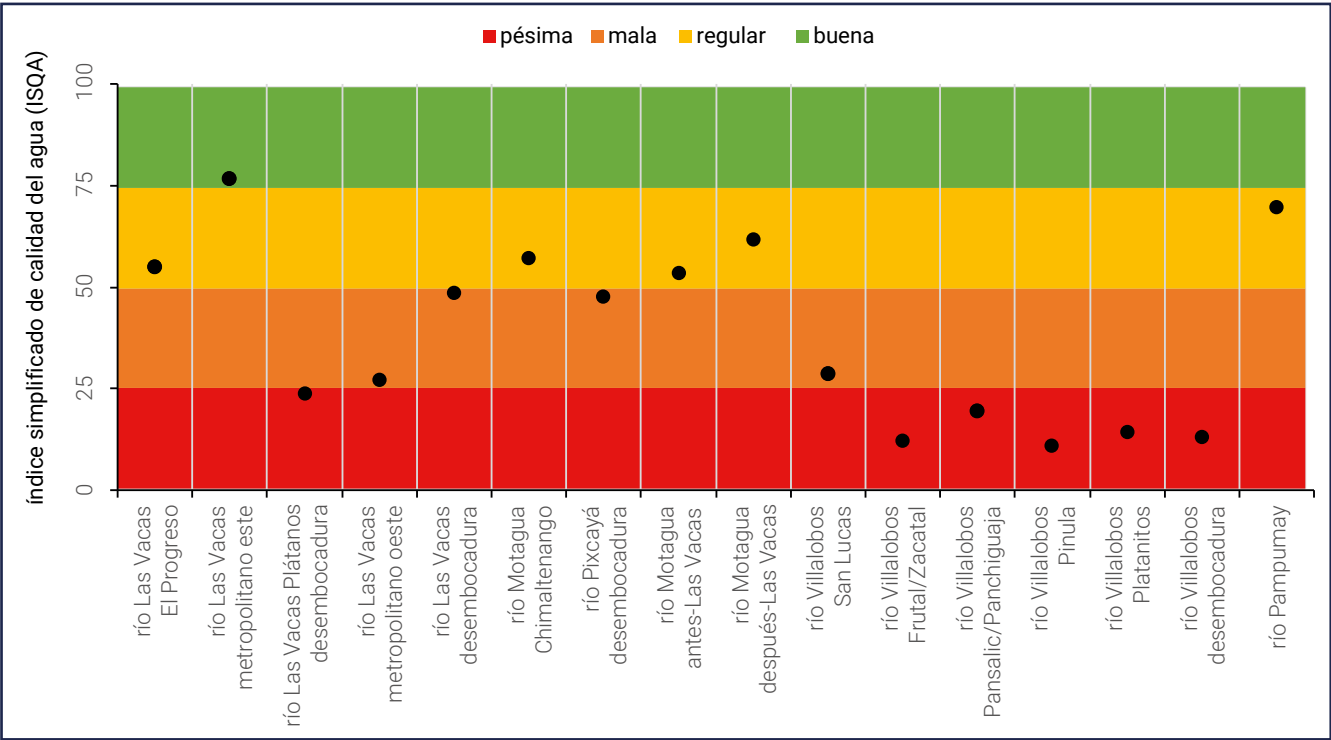
Constituye un problema serio que llega a afectar la calidad estética de los lagos y los usos del agua relacionados al suministro de agua potable, procesos industriales, irrigación y recreación, entre otros.

Según la etapa de eutrofización, un cuerpo de agua puede clasificarse de acuerdo con las categorías que se presentan en el **anexo 2**. Sin embargo, en muchas ocasiones, las características de los lagos tienen condiciones asociadas a estados intermedios entre dos categorías, como se describe más adelante en la discusión sobre

el estado trófico de los principales sistemas lacustres del país.

Tanto la medición de la transparencia del agua a través del disco de Secchi (**figura 6**) como la evaluación de la concentración de clorofila «a» (**figura 7**) permiten obtener información sobre el estado trófico de los lagos. Los datos presentados permiten comparar estos indicadores para los principales lagos del país y muestran que el lago de Amatitlán presenta el mayor grado de eutrofización a nivel nacional; por otro lado, el lago con la mejor calidad de agua es el de Atitlán.

Figura 5
Calidad de agua de los ríos de la zona metropolitana de acuerdo al ISQA para el 2017

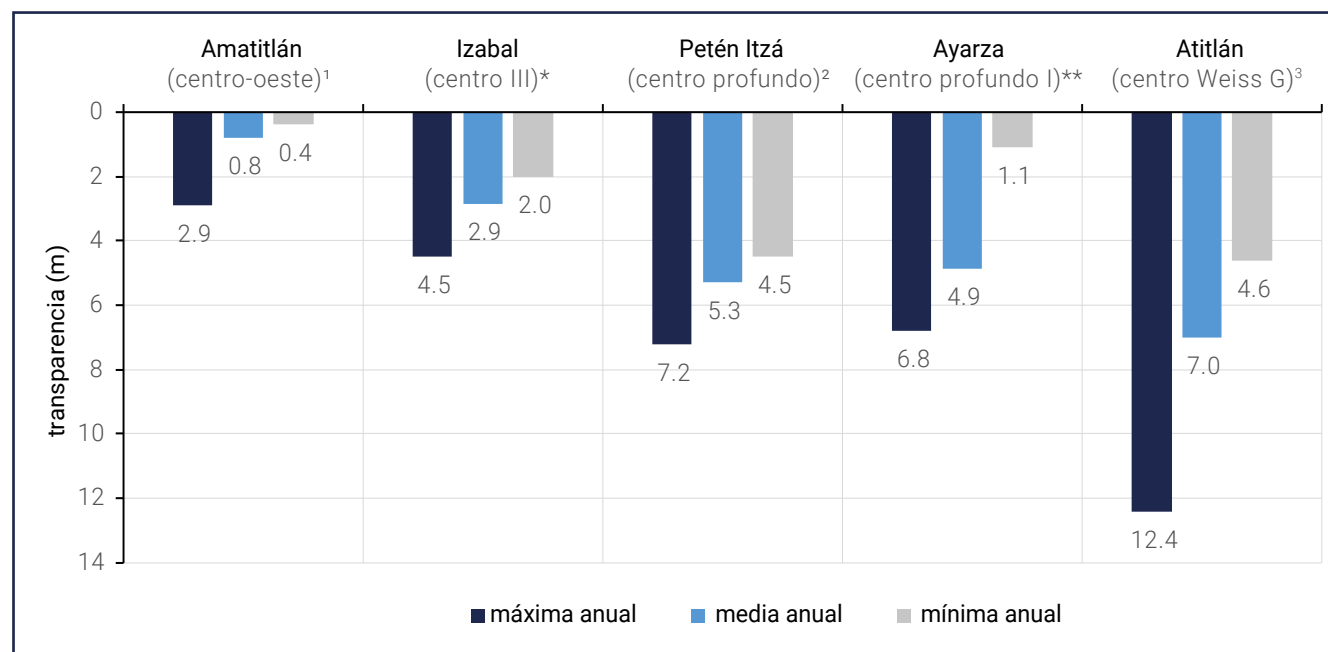


Fuente: elaboración propia con base en Iarna (2017)



Figura 6

Transparencia Secchi de los principales lagos de Guatemala



Nota 1. * Datos para el 2009.

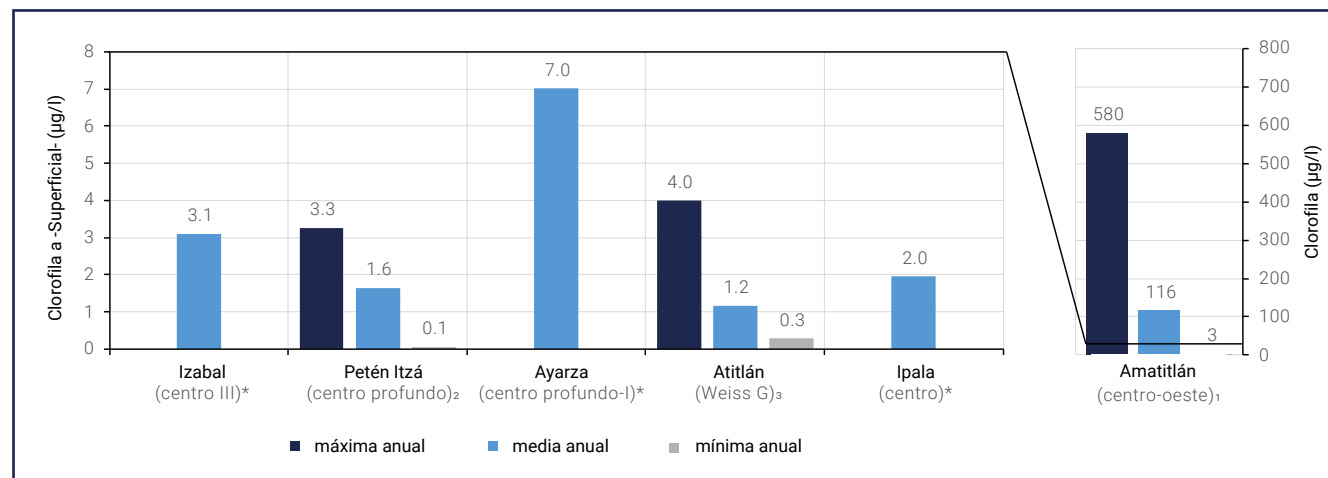
Nota 2. ** Datos para el periodo 2010-2011.

Nota 3. Los números 1-2-3 corresponden a datos para el periodo 2016-2017.

Fuente: elaboración propia con base en AMSA (2016a, 2017a)₁, Lemus (2011),* Autoridad para el Manejo y Desarrollo Sostenible de la Cuenca del Lago Petén Itzá (AMPI) (2016, 2017)₃, Argueta (2011)** y Autoridad para el Manejo Sustentable de la Cuenca del Lago de Atitlán y su Entorno (Amsclae) (2016, 2017)

Figura 7

Clorofila «a» de los principales lagos de Guatemala



Nota 1. * Datos para el 2015.

Nota 2. Los números 1-2-3 corresponden a datos para el periodo 2016-2017.

Fuente: elaboración propia con base en Corman et al. (2015),* AMPI (2016, 2017), Amsclae (2016, 2017) y AMSA (2016a, 2017a)₁

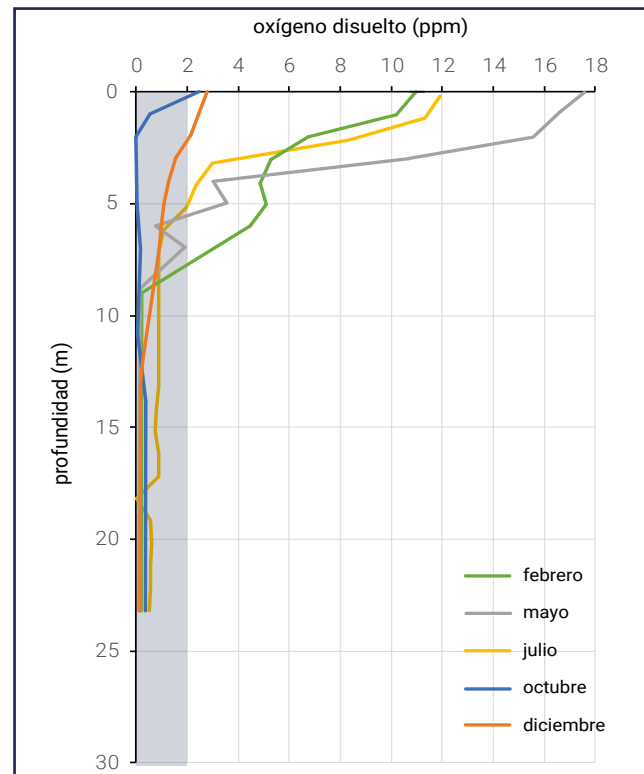
A continuación, se describe con mayor detalle la información disponible para cada sistema lacustre.

a. Lago de Amatitlán. El lago de Amatitlán se clasifica como un lago en un estado eutrófico-hipereutrófico⁹, caracterizado por una alta proliferación de algas, poca transparencia y un fondo sin oxígeno la mayor parte del año, lo cual limita la presencia y sobrevivencia de la vida acuática. Nótese en la **figura 8** que en el 2017 se presentaron condiciones de hipoxia (concentraciones muy bajas de oxígeno para sostener la vida) a partir de los seis metros de profundidad durante todo el año; esta condición se agudizó en octubre y diciembre. Las mayores concentraciones de oxígeno se observaron en los primeros cinco metros de profundidad, especialmente en la época seca e inicios de la época lluviosa (de febrero a julio). También es importante notar que no se encontró oxígeno en el fondo del lago durante todo el año.

De acuerdo con Romero-Oliva *et al.* (2014), se reporta presencia de la cianobacteria *Microcystis* spp., conocida por liberar la toxina microcistina, que es tóxica para los humanos y puede dar lugar a alteraciones gastrointestinales, reacciones alérgicas e irritaciones de la piel. Las mediciones realizadas desde el 2008 por AMSA muestran que el lago está sujeto a una dinámica de deterioro sostenido. Por un lado, el nivel de clorofila pico (indicador que denota la cantidad máxima de algas) presentó en el 2009 un valor de 69.4 µg/l en el centro-oeste del cuerpo de agua, dato que se incrementó a 170.9 µg/l en el 2013 y en el 2016 se reportó un pico de 579.7µg/l.

Nótese en la **figura 7** que este lago tiene los mayores niveles de clorofila, cuya media anual se encuentra dieciséis veces por encima del máximo nivel de los otros lagos (el máximo anual es 145 veces mayor al del resto de lagos). Rodas-Pernillo *et al.* (2020) indican que existen proliferaciones importantes de cianobacterias tóxicas, especialmente *Microcystis* (perjudiciales para la fauna y flora del ecosistema y para los seres humanos), como resultado del alto nivel de eutrofia en el lago de Amatitlán.

Figura 8
Perfil de oxígeno del lago de Amatitlán, 2017



Fuente: elaboración propia con base en AMSA (2017b)

Por otra parte, la transparencia (Secchi) promedio anual se redujo de 1.02 metros en el 2009 a 0.8 metros en el 2017. En la **figura 6** se muestra que este cuerpo de agua presenta la menor transparencia, con un mínimo de 0.4 metros, mientras que los otros lagos tienen al menos un metro.

El lago también presenta niveles de contaminación microbiológica superiores a los establecidos por las normas de la Comisión Guatemalteca de Normas (Coguanor) para consumo de agua potable. En el 2017, la AMSA reportó un promedio de 3817 NMP/100 ml en el centro-oeste del lago de Amatitlán, con una máxima de 22 000 NMP/100 ml de coliformes fecales (AMSA, 2017b). Se estima que el río Villalobos, único afluente superficial del lago de Amatitlán, ingresó en promedio 442 kilogramos por día de fósforo total y 3200 kilogramos por día de nitrógeno total al lago de Amatitlán en el 2016, sumado a una alta contaminación microbiológica de

⁹ Este término se refiere a una alta perturbación e inestabilidad; es la última etapa de eutrofización. Presenta fluctuaciones muy grandes en los ciclos de nutrientes y de oxígeno, alta proliferación de algas y poca vida acuática.

4.3 x 10⁶ NMP/100 ml de coliformes fecales (AMSA, 2017b).

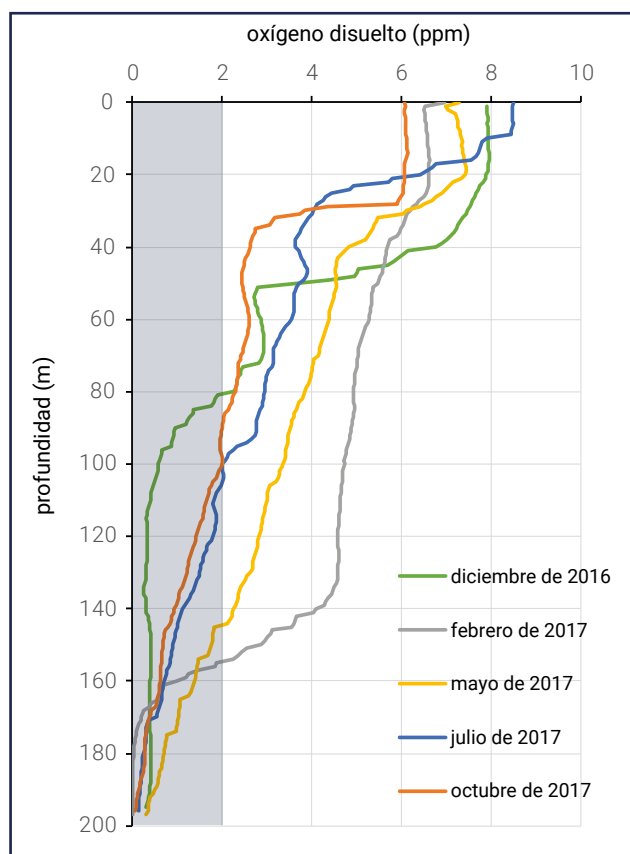
b. Lago de Atitlán. El lago de Atitlán presenta características estacionales de pérdida de los niveles usuales de claridad, proliferación de algas y ausencia de oxígeno en el fondo del lago, por lo que se clasifica como un lago en estado oligotrófico-mesotrófico. Nótese en la **figura 9** que, en el 2017, el lago presentó niveles de hipoxia a partir de los cien metros en febrero y julio, a partir de los 145 metros en octubre y a partir de los 155 metros en febrero. Las mayores concentraciones de oxígeno disuelto se presentan en los primeros treinta metros. También es importante notar que se reportó ausencia de oxígeno en el fondo durante el 2017.

Si bien el lago de Atitlán presenta los niveles de transparencia (Secchi) más altos entre los principales lagos del país (**figura 6**), los registros históricos muestran una dinámica sostenida de eutrofización como resultado de las descargas de aguas residuales sin tratamiento, la escorrentía agrícola y la erosión (Amsclae, 2016; Unidos por el Lago de Atitlán [ULA], 2013). En 1969, el promedio anual de transparencia fue de once metros, con un máximo de diecinueve y un mínimo de cinco (Weiss, 1971); mientras que en el 2010, los registros mostraron un promedio anual de 6.3 metros, con un máximo de 15.5 metros y un mínimo de 1.5 (Dix et al., 2012). Los valores promedio para el 2017 se mantuvieron en siete metros, con un valor máximo de 12.4 y un mínimo de 4.5 metros de profundidad.

La clorofila pico para el 2016 alcanzó los 4 µg/l (todavía dentro del rango de lagos oligotróficos), pero existe un fuerte cambio estacional de la cantidad de algas (fitoplancton) en la superficie del lago. Nótese en la **figura 7** que este lago presenta las menores concentraciones promedio anuales en 1.2 µg/l. En el 2012, los valores fluctuaron entre los quinientos mil organismos por litro en junio y los doce mil organismos por litro en agosto (ULA, 2013); en tanto que en el 2016, oscilaron entre los 33 229 organismos por litro en febrero y 2891 organismos por litro en octubre (Amsclae, 2016).

El tipo de alga (fitoplancton) predominante en el 2016 fueron las diatomeas (*Bacillariophyta*); sin embargo, se ha reportado la presencia

Figura 9
Perfil de oxígeno del lago de Atitlán, 2017



Fuente: elaboración propia con base en Amsclae (2017)

de cianobacterias como *Limnorphis* spp. y *Microcystis* spp. (ULA, 2013), ambas indicadoras de contaminación y responsables de los florecimientos periódicos que iniciaron en el 2009 y se mantienen hasta la fecha. Según la Amsclae (2016), aún no se detectan toxinas emitidas por dichas cianobacterias.

Por otro lado, se reportan niveles significativos de contaminación microbiológica en los puntos de muestreo cercanos a los centros poblados. En el periodo 2016-2017, se observaron valores promedio de 58 NMP/100 ml de contaminación fecal (*E. coli*), con un máximo de 350 NMP/100 ml en la bahía de Panajachel, lo cual es preocupante, ya que estas aguas satisfacen las necesidades de algunos pobladores de las orillas del lago. De acuerdo con Oakley y Saravia (2021), alrededor de cien mil personas utilizan el lago como fuente de agua sin ningún tratamiento previo para su potabilización. Durante el mismo periodo, la concentración de contaminación fecal en el centro del lago fue en promedio de 9 NMP/100 ml de

E. coli y una máxima de 22 NMP/100 ml (Amsclae, 2017).

El aporte de nutrientes (nitrógeno y fósforo) que ingresan al lago a través de los ríos tributarios, los sedimentos y la escorrentía agrícola, la descarga de aguas residuales no tratadas y el aporte de desechos sólidos es también un problema mayor. Durante el 2013, ingresó un promedio de 48.8 kg/día de fósforo total y 294 kg/día de nitrógeno total en las aguas del río Quixcab —el más grande de la cuenca—, en tanto que el río San Francisco (Panajachel) recibió 24.9 kg/día de fósforo total y 75.4 kg/día de nitrógeno total (ULA, 2014). Además, ambos ríos presentan concentraciones elevadas de coliformes totales, por arriba de los 4.5×10^3 NMP/100 ml (Girón y Castellanos, 2006).

c. Lago Petén Itzá. Este lago se clasifica dentro de la categoría de oligotrófico-mesotrófico, ya que presenta los valores de presencia de algas (clorofila «a») de un lago oligotrófico, pero las observaciones de transparencia Secchi son típicas de lagos mesotróficos. El promedio anual de clorofila «a» para el 2017 fue de 1.6 µg/l y la transparencia Secchi promedio anual fue de 5.3 metros. Nótese en las **figuras 6 y 7** que el lago Petén Itzá mantiene mejores condiciones de transparencia que el lago de Amatitlán y de Izabal, y muy parecidas al promedio y máximos de la laguna de Ayarza. También tiene las menores concentraciones máximas de clorofila de los lagos y un promedio anual similar al de la laguna de Ipala y el lago de Atitlán.

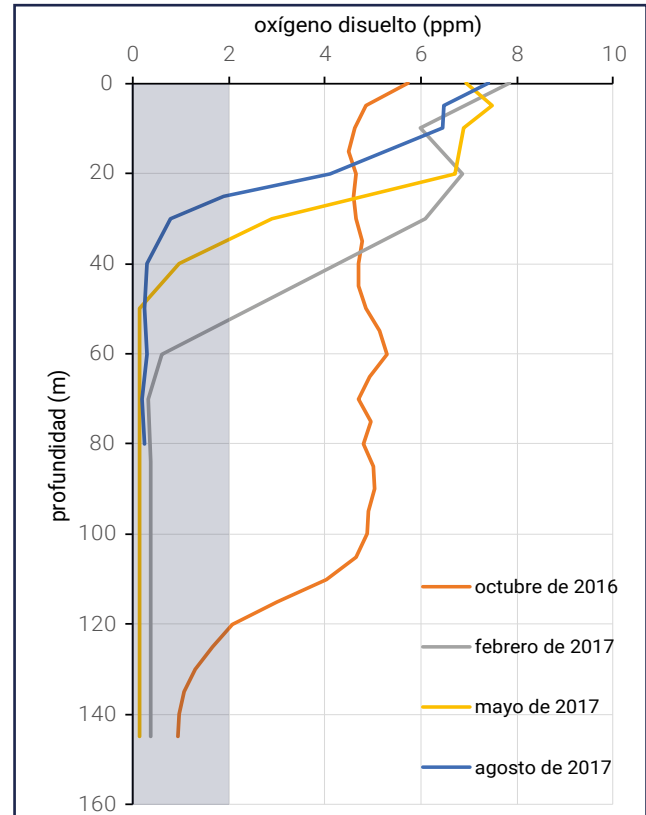
El lago presentó ausencia de oxígeno en el fondo durante el 2017 y a partir de agosto de ese mismo año se observa un estado de hipoxia desde los 25 metros de profundidad (**figura 10**). Las mayores concentraciones de oxígeno ocurrieron en octubre, pero mantuvo condiciones de hipoxia en mayo a partir de los 37 metros y en febrero a partir de los 56 metros.

En los puntos con mayor influencia antropogénica se reporta una mayor abundancia de algas de los géneros *Anabaena* spp., *Lyngbya* spp., *Oscillatoria* spp. y *Peridinium* spp. (Oliva, 2005). Las mediciones de contaminación fecal en los puntos frente a los poblados de San Andrés, San Miguel, San Benito, Santa Elena y la desembocadura del

río Ixlú están por encima de los límites aceptables de las normas Coguanor para el agua de consumo humano (Galindo, 2011).

Figura 10

Perfil de oxígeno del lago Petén Itzá, 2017



Fuente: elaboración propia con base en AMPI (2017)

d. Lago de Izabal. Este lago se clasifica como mesotrófico-eutrófico, con niveles medios de fósforo y nitrógeno, baja claridad de aguas y presencia de algas. En el 2009, el centro de este cuerpo de agua presentó una transparencia Secchi promedio de 2.9 metros, en tanto que en febrero del 2015 el valor fue de 2.7 metros (ya dentro de la categoría «eutrófico»). Nótese en la **figura 6** que este lago presenta la menor transparencia después del lago de Amatitlán, con un máximo anual de 4.5 metros (que es el mínimo de los lagos Petén Itzá y Atitlán).

Además, se observó clorofila «a» en rangos típicos de lagos mesotróficos (3.1 µg/l promedio de cinco metros superficiales) y los niveles de oxígeno fueron de 7.5 mg/l en todo el perfil del lago¹⁰. Nótese en la **figura 7** que mantiene menos de la

¹⁰ Profundidad máxima de doce metros en el centro.

mitad de la concentración promedio presentada en la laguna de Ayarza, pero es mayor a la de los otros lagos, excepto el de Amatitlán.

En la actualidad, el lago de Izabal se encuentra invadido de *Hydrilla verticillata*, una planta acuática que aparece en lagos someros, cálidos y con altos niveles de nutrientes. Se ha reportado también presencia de cianobacterias de las especies *Microcystis* spp. y *Anacystis* spp. (Lemus, 2011). Según Lemus (2011), la principal fuente de aporte de nutrientes se da a través del ingreso del río Polochic. Las mediciones más recientes muestran que los niveles de fósforo (0.09 mg/l), nitratos (0.9 mg/l) y la baja transparencia (2.75 metros) en el agua corresponden a los de un lago mesotrófico.

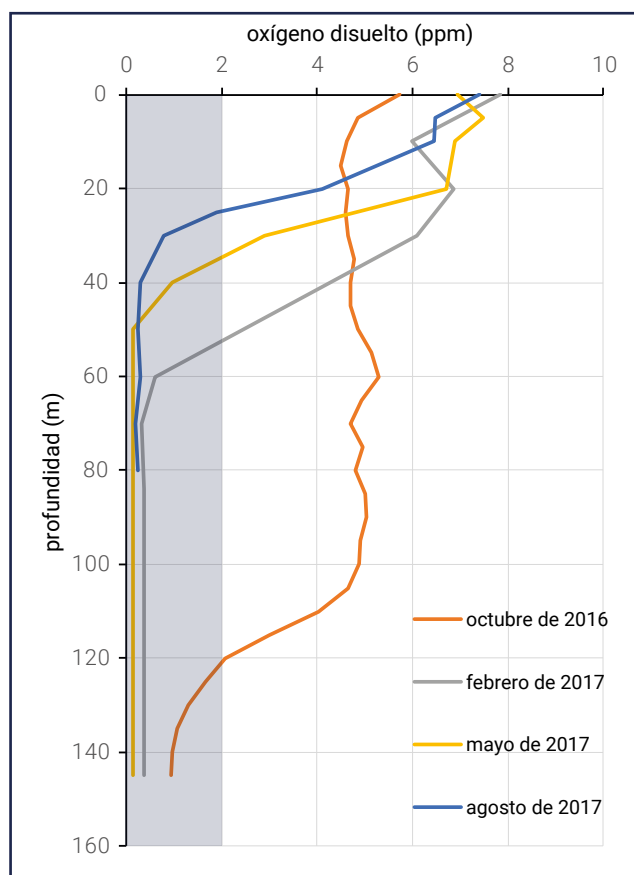
e. Laguna de Ayarza y lago de Güija. Desde el 2011, se determinó que la laguna de Ayarza se encuentra en estado mesotrófico, de acuerdo con sus características fisicoquímicas (Rodas, 2013), transparencia y oxígeno en el fondo del lago. Nótese en la **figura 11** que la laguna presenta condiciones de hipoxia a partir de los 47 metros de profundidad y ausencia de oxígeno por completo a partir de los 60 metros.

En promedio, para el 2010, la transparencia Secchi de la laguna de Ayarza fue de 4.9 metros (Argueta, 2011) y en febrero del 2015, fue de 5 metros (Corman et al., 2015). Los valores de clorofila «a» fueron de 7 µg/l en febrero del 2015 y se observó, según los mismos autores, un fondo anóxico e hipoxia desde los 60 metros de profundidad (Corman et al., 2015). Nótese en las **figuras 6 y 7** que su transparencia es parecida a la del lago Petén Itzá, en cuanto al promedio y máxima, siendo superada solamente por el lago de Atitlán.

El lago de Güija, por su parte, se clasifica como eutrófico, con altos niveles de fósforo y nitrógeno, baja claridad y proliferación de algas indicadoras de contaminación. Según el estudio limnológico más reciente de Güija, la cantidad de algas es baja, pero corresponden predominantemente al grupo de las cianobacterias (*Microcystis* spp., *Anabaena* sp. y *Oscillatoria* sp.), que son características de lagos eutróficos (López, 2008).

Figura 11

Perfil de oxígeno de la laguna de Ayarza, 2015



Fuente: elaboración propia con base en Corman et al. (2015)

3.2 Presiones hacia el agua

Las presiones que se ciernen sobre los bienes hídricos nacionales (superficiales y subterráneos) pueden tipificarse de varias formas, en función de: (I) las demandas de agua que exhiben diferentes actores (económicos y los hogares) para satisfacer distintos usos (consumo humano, uso productivo y recreación, principalmente); (II) la dinámica del uso de la tierra que altera el ciclo hidrológico y, consecuentemente, la disponibilidad de agua superficial y la recarga de acuíferos; (III) las dinámicas que afectan la calidad del agua; y (IV) las nuevas condiciones que impone el cambio climático (que afectan la cantidad y calidad del agua).

3.2.1 En función de las demandas de agua

Una primera aproximación al análisis de las presiones tiene que ver con la economía y la sociedad (los hogares). De acuerdo con el Instituto Nacional de Estadística (INE), Banco de Guatemala e Iarna (2013), en el 2010, las actividades económicas y los hogares utilizaron 20 374 millones de metros cúbicos de agua azul (figuras 12 y 13).

Para valorar este nivel de consumo, se puede recurrir a la determinación del grado de estrés hídrico existente: la FAO (2018) define el nivel de estrés hídrico a partir del valor que alcanza la proporción total de los recursos hídricos renovables que se extraen de las diferentes fuentes subterráneas y superficiales disponibles. Así, cuando este indicador supera el 25 %, se considera que el país tiene problemas de escasez.

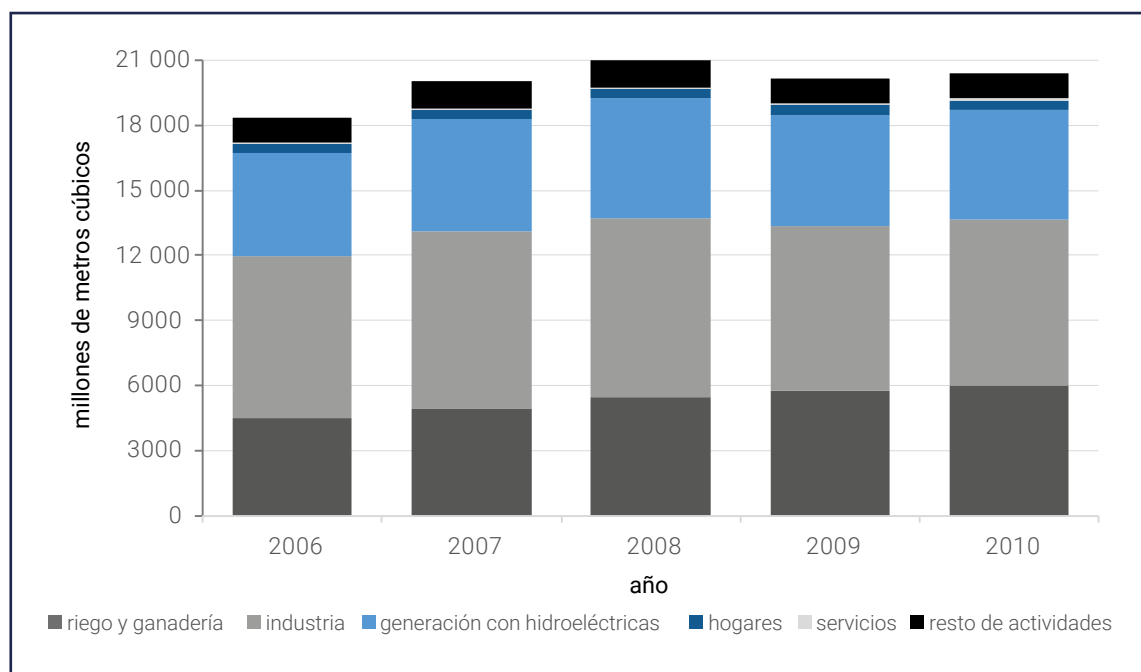
En el caso de Guatemala, la extracción¹¹ para usos consuntivos fue de 15 317 millones de metros cúbicos en el 2010, lo que representó alrededor del 16 % de la disponibilidad. El promedio de este indicador a nivel mundial es del 13 % (FAO, 2018).

En este contexto, el principal sector usuario de agua en el país es la industria manufacturera (en particular la agroindustria), que demandó para ese año (2010) 7643 millones de m³ (37.5 % del total), de los cuales 6402 millones fueron utilizados para el beneficiado de café. El riego agrícola demandó para ese año 5995 millones de m³ (29.4 % del total), de los cuales el 76 % se destinó a tres cultivos: caña de azúcar, palma africana y banano¹².

El resto de actividades económicas demandaron 1217 millones de m³ (5.9 % del total), en tanto que los 462 millones de m³ restantes (2.3 % del total) fueron utilizados por los hogares guatemaltecos. La hidroelectricidad representa otro uso

Figura 12

Distribución del uso de agua azul por diferentes actividades económicas y de consumo para el periodo 2005-2010 (millones de m³)



Fuente: elaboración propia con base en INE et al. (2013)

¹¹ Al uso total de agua (20 374 millones de m³ de agua azul) se le resta la utilización de las hidroeléctricas, pues este se considera como un uso no consuntivo del recurso hídrico.

¹² El crecimiento en la demanda de agua fue, no obstante, diferenciado entre estos tres cultivos. Entre el 2001 y 2014, esta creció en un 44 % en el caso de la caña de azúcar, 82 % para el banano y 466 % para la palma africana.

importante del recurso, aunque en este caso es no consuntivo, ya que el agua queda disponible luego de ser utilizada. Esta actividad empleó 5057 millones de m³ en el 2010 (24.9 % del total).

Una de las dinámicas que ha intensificado la presión ejercida sobre el agua en los últimos años es la expansión de los principales cultivos regados en el país, especialmente de caña de azúcar y palma africana, los cuales emplean el 60 % del riego a nivel nacional (Iarna, 2012). Durante el periodo 2003-2010 se incorporaron 62 500 hectáreas (ha) nuevas de producción de palma africana, sumando en total 93 500 hectáreas para el 2010 (Iarna, 2012). Para el 2017, la Gremial de Palmicultores reportó poco más de 145 000 hectáreas establecidas, mientras que, para el 2020, Iarna y Action Aid (2022) reportaron una extensión total de 175 692 hectáreas.

En el caso de la caña de azúcar, la superficie en producción se amplió durante los últimos veinte años, pasando de 267 000 hectáreas en el 2003 a 323 000 hectáreas en el 2020 (Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación [MAGA], 2021). De acuerdo con la Asociación de Azucareros de Guatemala (Asazgua) (2023), las mejoras en la eficiencia del riego y del proceso agroindustrial

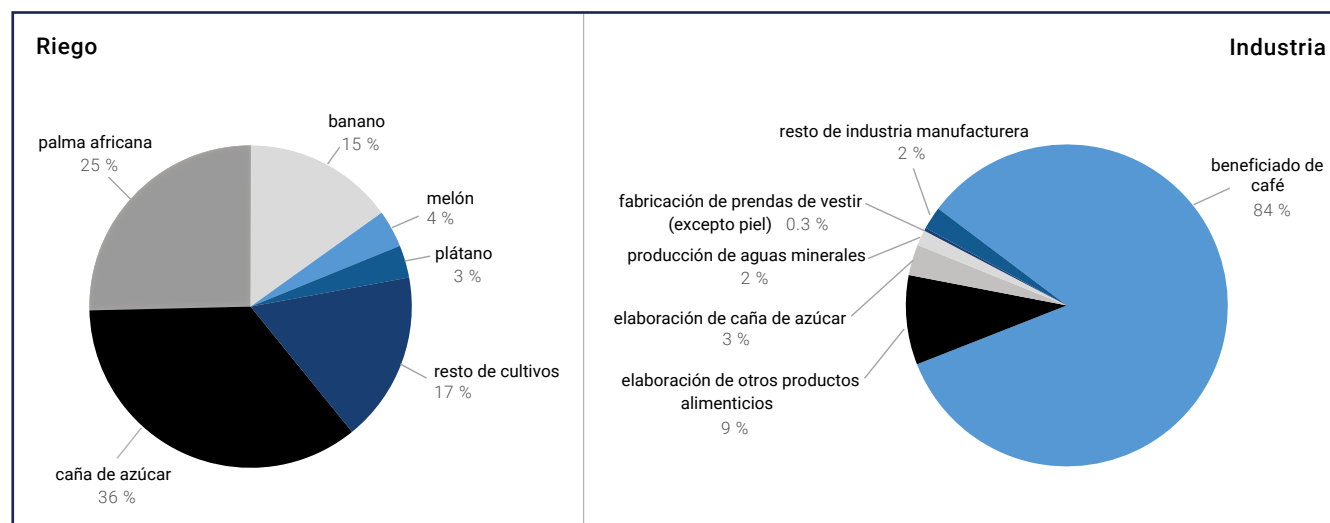
durante los últimos años permitieron alcanzar una huella hídrica de 115.1 m³ por tonelada de azúcar para la cosecha 2020-2021, lo que representaría un 45 % por debajo del promedio mundial.

Continuando con el análisis de presiones en función de las demandas, se presentan algunos elementos relacionados con la sobreexplotación de los acuíferos, aunque la información disponible para hacer un análisis concluyente es escasa. Los estudios y datos disponibles para el área metropolitana, no obstante, sugieren que existe una fuerte sobreexplotación de los acuíferos.

Según el Instituto de Agricultura, Recursos Naturales y Ambiente y The Nature Conservancy (TNC) (2013), el volumen de agua extraído de fuentes subterráneas es mayor a la capacidad natural de recarga en once de las dieciséis microcuencas que abastecen de agua a la metrópolis, y en ocho de esas microcuencas el volumen extraído representa al menos el doble (tabla 3). Entre todas, sobresalen la microcuenca Las Vacas, en donde el volumen extraído es cuarenta veces mayor al de recarga; la microcuenca Villalobos con una relación extracción/recarga de 11.32 y la microcuenca El Zapote con una relación extracción/recarga de 9.80.

Figura 13

Distribución del uso del agua para riego agrícola y para la industria manufacturera en 2010 (%)



Fuente: elaboración propia con base en INE et al. (2013)

Tabla 3

Extracción, recarga y relación recarga/extracción de agua subterránea en las microcuencas vinculadas al área metropolitana de la ciudad de Guatemala

Microcuenca	Extracción (miles de m ³ /año)	Recarga (miles de m ³ /año)	Relación extracción/ recarga
Aguacapa	2988.61	1274.80	2.34
Amatitlán	7787.76	5503.46	1.42
El Cangrejal	1459.76	442.22	3.30
El Zapote	35 312.78	3756.87	9.40
La Cuya	1039.55	1343.19	0.77
Las Cañas	19 218.17	1960.54	9.80
Las Flores	1374.73	1103.30	1.25
Las Vacas	175 917.35	4386.41	40.11
Lo de Diéguez	3676.33	1367.05	2.69
Los Ocotes	15 993.94	6034.31	2.65
Michatoya	26 006.43	67 520.17	0.39
Paxot	4910.75	4248.05	1.16
Rustrián	412.42	1335.55	0.31
Sactzi	936.56	1120.79	0.84
Teocinte	14 070.87	21 473.18	0.66
Villalobos	191 203.42	16 884.58	11.32

Fuente: elaboración propia con base en Iarna y TNC (2013)

3.2.2 En función de la dinámica del uso de la tierra

Los cambios de uso de la tierra que alteran el ciclo hidrológico se constituyen en otra presión clave, pues repercuten directamente tanto en la disponibilidad de agua superficial como en la recarga natural de los acuíferos. Dos procesos son especialmente significativos: el primero se refiere a la relación entre el avance de la urbanización y la impermeabilización de ciertas áreas de las cuencas que quedan inhabilitadas para favorecer la recarga de los acuíferos. Por ejemplo, en un periodo de cuarenta años, la superficie urbanizada en Guatemala se triplicó a nivel nacional, pasando de 555.68 km² en 1975 a 1631.01 km² en el 2014 (Maria et al., 2018).

Lo anterior es crítico en el caso de territorios como el área metropolitana de la ciudad de Guatemala, ya que el agua subterránea abastece entre el 60 %

y el 70 % de la demanda de sus poblaciones (Iarna y TNC, 2013). La expansión urbana ha ocurrido a un ritmo mayor que el crecimiento poblacional, por lo que no necesariamente obedece a la atención de demandas habitacionales (Maria et al., 2018).

El segundo proceso significativo de cambios en el uso de la tierra que alteran el ciclo hidrológico tiene lugar en las denominadas «tierras forestales para la captación y regulación del ciclo hidrológico». La falta de cobertura forestal en estas tierras implica mayor escorrentía superficial (y, por lo tanto, menos recarga de las fuentes subterráneas), erosión de los suelos y, muchas veces, contaminación de los cuerpos de agua con sedimentos y nutrientes provenientes de actividades agrícolas.

La evaluación de la dinámica de la cobertura forestal en las tierras forestales consideradas como de muy alta, alta y media importancia para la captación y regulación hidrológica entre 1991 y 2001 muestra una pérdida de casi 300 000 hectáreas de cobertura forestal en conjunto (tabla 4) (Instituto Nacional de Bosques [INAB], 2005). Entre el 2001 y 2014, se habrían recuperado poco más de 63 000 hectáreas, es decir, alrededor de una quinta parte de la cobertura perdida. La situación es especialmente crítica en las tierras de muy alta importancia para la captación y regulación hidrológica, ya que únicamente el 25 % de la superficie posee cobertura arbórea (Iarna, 2012).

3.2.3 En función de las dinámicas que afectan la calidad del agua

Tanto las actividades económicas como las dinámicas de los hogares representan distintas presiones sobre la calidad del agua en el país. Una de las principales fuentes de contaminación es la descarga de aguas residuales sin tratamiento hacia los diferentes cuerpos de agua. Alrededor de dos terceras partes del agua que es utilizada en procesos productivos y de consumo retornan al sistema natural.

Para el 2010, este rubro alcanzó cerca de 10 479 millones de m³ de aguas residuales (INE et al., 2013). De ese total, el 21.8 % estaba asociado a las actividades agropecuarias, el 62.8 % a la

agroindustria, el 2.4 % correspondía a las demás actividades industriales, el 4.9 % a la acuicultura y el 4.8 % al resto de actividades económicas. Los vertidos procedentes de los hogares representan el restante 3.3 %. Las estimaciones existentes

señalan que la producción de agua residual proveniente de la actividad económica se mantuvo entre los 9000 millones y los 10 800 millones de m³ entre el 2001 y 2010, en tanto que los hogares mantuvieron una tendencia creciente (**figura 14**).

Tabla 4

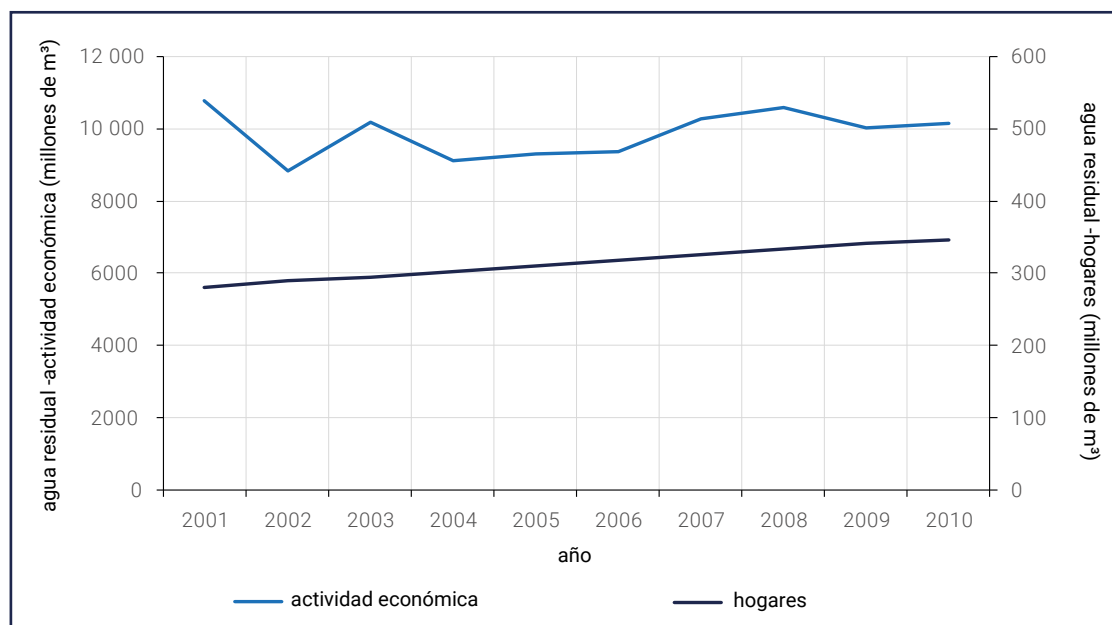
Uso de la tierra en las tierras forestales de muy alta, alta y media importancia para la captación y regulación hidrológica en 1991, 2001, 2010 y 2014

Unidad de medida	Uso de la tierra							
	bosque (años)				no bosque (años)			
	1991	2001	2010	2014	1991	2001	2010	2014
ha	1 484 623	1 190 108	1 196 333	1 253 893	1 582 069	1 876 585	1 870 345	1 812 800
%	48.4	38.8	39.0	40.9	51.6	61.2	61.0	59.1

Fuente: elaboración propia con base en Iarna (2019)

Figura 14

Comportamiento de la generación de aguas residuales por la actividad económica y por los hogares a nivel nacional durante el periodo 2001-2010 (millones de m³)



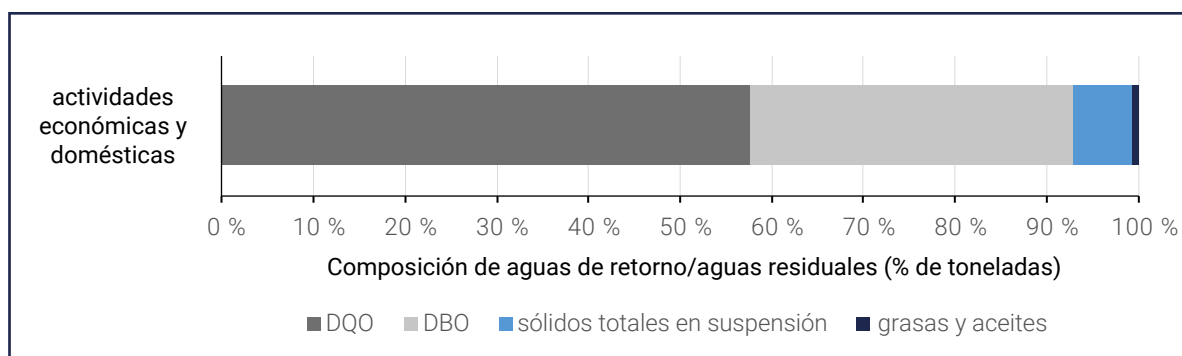
Fuente: elaboración propia con base en INE et al. (2013) y Miranda (2014)

Las aguas residuales presentan contaminantes que producen diferentes efectos en la calidad del agua y el balance ecosistémico de los cuerpos receptores del subsistema natural, los cuales se analizan con base en diferentes parámetros (como grasas y aceites, sólidos totales en suspensión, demanda biológica de oxígeno y metales pesados, entre otros). La **figura 15** muestra que el 93 % de las descargas realizadas al sistema natural,

tanto por las diferentes actividades económicas como por los hogares, corresponde a materia orgánica oxidada o degradable (medidas a partir de los parámetros de DQO y DBO₅). El proceso de descomposición por bacterias aeróbicas supone el consumo de oxígeno, lo cual representa una amenaza seria para la vida de los seres en los ecosistemas acuáticos cuando existen condiciones críticas de abundancia.

Figura 15

Composición de las aguas residuales por tonelada (%)



Fuente: elaboración propia con base en INE et al. (2013) y Miranda (2014)

Se estima que, en el 2010, la producción total de aguas residuales (procesos económicos y hogares) aportó 54 millones de toneladas de materia orgánica biodegradable, diez millones de toneladas de sólidos en suspensión, 1033 toneladas de grasas y aceites, 133 761 toneladas de nitrógeno y 131 486 toneladas de fósforo hacia los cuerpos de agua receptores del país. Durante el mismo año, las descargas de origen industrial hacia el subsistema natural incluyeron 19 996 kilogramos de cianuro, 4776 kilogramos de arsénico, 12 828 kilogramos de cadmio, 1760 kilogramos de mercurio, 86 kilogramos de cromo hexavalente y 87 kilogramos de plomo (Miranda, 2014). Estos siete elementos son altamente tóxicos para cualquier organismo vivo.

Otra dinámica contaminante está vinculada con las actividades agrícolas, pues estas generan sedimentos (partículas del suelo que se erosionan de los predios) cargados de nutrientes (en particular nitrógeno y fósforo) y de moléculas químicas y sintéticas, producto del uso de agroquímicos que se depositan en los cuerpos de agua y repercuten en los atributos físicos (transparencia, olor) y químicos del agua (FAO e International Water Management Institute [IWMI], 2018).

Los nitratos y fosfatos son sustancias solubles indispensables para el desarrollo de las plantas; sin embargo, si existe un exceso de estos, se da paso al crecimiento de algas y otros organismos, provocando la eutrofización del cuerpo de

agua. Al morir estas algas y organismos, otros microorganismos descomponedores agotan el oxígeno presente, por lo que el agua se transforma en un recurso con mal olor y con restricciones para su uso (García, 2002).

Varios estudios señalan la relación que existe entre la calidad del agua en el lago¹³ y la erosión y pérdida de suelo agrícola en la cuenca del lago de Atitlán (Ferrans et al., 2018; Van Tongeren et al., 2006; Amsclae, 2016). Tan solo en el 2003, el lago pudo haber recibido 972 toneladas métricas de nitrógeno y 381 de fósforo, contenidas en poco más de 100 000 toneladas métricas de suelo agrícola erosionado (Van Tongeren et al., 2006; Iarna, 2009). De acuerdo con Amsclae (2013, como se citó en Ferrans et al., 2018), la concentración de fosfatos en el lago de Atitlán en el 2013 era cinco veces mayor a la de 1983, en tanto que la concentración de nitratos para ese mismo año superó por diez veces los registros de 1968. Además de la sedimentación y la escorrentía de campos agrícolas, otras fuentes importantes de nutrientes suelen ser las aguas residuales con materia orgánica y jabones y el uso de detergentes directamente en los cuerpos de agua.

Los residuos sólidos son un problema grave en muchos de los cuerpos de agua del país. Desde el 2014, el gobierno de Honduras ha expresado reiteradamente su protesta por la basura que llega a sus costas proveniente de Guatemala, transportada principalmente por el río Motagua (Oliva y EFE, 2017; EFE, 2019) y que ha llegado a formar «islas flotantes» que se han instalado frente a las costas de ambos países, se adentran

¹³ Incluyendo el florecimiento de cianobacterias.

en el mar y causan la intoxicación y muerte de peces y tortugas, entre otros (AFP, 2017). Este es un caso que ilustra la escasa gestión de este tipo de desechos en el país, pues se estima que la mayor parte proviene de los municipios del área metropolitana, desde donde son conducidos por intermedio del río Las Vacas hasta llegar al río Motagua.

El lago de Amatitlán es otro caso que ejemplifica el problema que los residuos sólidos representan para los sistemas hídricos del país. De acuerdo con reportes de AMSA, una sola lluvia del 2018 arrastró alrededor de 3000 metros cúbicos de basura, lo que equivale a 300 camiones de volteo (Pérez, 2018). Se estima que este cuerpo de agua recibe alrededor de 45 000 metros cúbicos de desechos sólidos cada año, provenientes de los catorce municipios que tienen influencia en la cuenca y en el río Villalobos, su principal tributario.

La contaminación microbiológica del agua, producto de la introducción de patógenos potencialmente dañinos para la salud humana, es también un problema generalizado y altamente urgente de resolver en el país. Dada su importancia por su relación con la salud humana, este tema se aborda en la sección de impactos.

Hoponick et al. (2022) encontraron presencia de metales pesados en 113 puntos de muestreo de agua entubada en la región metropolitana de Guatemala, que superaban los Límites Máximos Permisibles (LMP) de arsénico en un 34 % de las muestras analizadas, plomo en un 9 % y aluminio en un 24 % de estas¹⁴. La presencia de arsénico está asociada con fuentes de agua subterránea y, junto con el plomo, representa un riesgo potencial para la salud. Las mayores concentraciones de arsénico se encontraron en la zona sur, norte y central, mientras que las de aluminio en la zona oeste.

3.2.4 En función de las nuevas condiciones que impone el cambio climático

El cambio climático representa una presión tanto para la disponibilidad como para la calidad del recurso hídrico. La mayoría de estudios y proyecciones sugieren un aumento en la frecuencia de estaciones extremadamente secas en los siguientes ochenta años para la región centroamericana (Bates et al., 2008). Todos los escenarios de cambio climático que se han desarrollado para el país y la región centroamericana proyectan una reducción de las precipitaciones en un rango entre el 12 % y el 30 % (Rivera et al., 2019). El Iarna (2016) indica que para el 2050 se espera que ocurra la disminución más significativa en la vertiente del Caribe (del 31 %), seguida por la del golfo de México (25 %) y la del Pacífico (19 %).

En este contexto, Bates et al. (2008) afirman que el incremento de la temperatura superficial del agua y de la intensidad de las lluvias, así como los periodos más largos de bajos caudales, conducirán a la intensificación de varias formas de contaminación del recurso por sedimentos, nutrientes, carbono orgánico disuelto y patógenos, entre otros contaminantes. El cambio climático ya ocasiona impactos sobre el régimen de lluvias en el país: las evidencias más inequívocas tienen que ver con la ocurrencia de tormentas y huracanes.

De acuerdo con la Cepal (2011), en Guatemala no se presentaron este tipo de eventos durante el periodo 1970-1989; sin embargo, entre 1990 y 2009¹⁵ se registraron siete eventos extremos de este tipo. Según el GEA (2011), el huracán Mitch (1998), la tormenta tropical Stan (2005) y la tormenta tropical Agatha (2010) fueron responsables de la muerte de al menos 1162 personas y las pérdidas monetarias superaron los 2700 millones de dólares. Estos acontecimientos revelaron la limitada capacidad del país en cuanto a la gestión del riesgo ante las amenazas hidrometeorológicas.

¹⁴ De acuerdo con la normativa nacional, los LMP de arsénico y plomo son 10 ppm y para el aluminio son 100 ppm.

¹⁵ Según Cepal (2011), se observa también una tendencia ascendente en cuanto al número de inundaciones, que pasaron de ser cinco eventos entre 1970-1989 a once para el periodo 1990-2009.

3.3 Fuerzas impulsoras de las presiones

Existen tres fuerzas principales que ocasionan la presión sobre los recursos hídricos del país: (I) el crecimiento económico y su importancia en la configuración de las demandas de agua; (II) la urbanización y el crecimiento demográfico; y (III) el modelo eminentemente extractivo de uso del recurso. Tanto el crecimiento económico como el demográfico –y sus consecuentes cambios de uso de la tierra– implican la deforestación para incrementar el área de otros usos, como la agricultura, asentamientos humanos y pastizales para ganado.

La alteración de la cobertura forestal también impacta las tierras de captación y regulación hidrológica, lo cual incrementa la erosión y afecta los procesos de escorrentía y recarga de aguas subterráneas. La expansión de áreas urbanas provoca la impermeabilización del suelo y disminuye la capacidad de infiltración y recarga subterránea, lo cual influye en el abastecimiento de agua a través de los acuíferos.

El crecimiento económico, la urbanización y el crecimiento demográfico implican un incremento sostenido de las demandas de agua para las actividades económicas y para el consumo humano. El aumento de la densidad poblacional afecta a nivel de microcuencas, incidiendo en la disponibilidad hídrica y generando zonas con condiciones de estrés hídrico. Al mismo tiempo, influye en una mayor producción de aguas residuales y, en el contexto de la gestión actual del recurso, en más contaminación de las fuentes de agua nacionales.

3.4 Respuestas

3.4.1 Respuesta institucional

A. Gestión integrada de los recursos hídricos.

Como se ha discutido en las secciones anteriores, los recursos hídricos están sometidos a presiones

antropogénicas (demandas, uso del suelo, descargas de aguas residuales) que presentan ritmos e intensidades que comprometen peligrosamente su disponibilidad, en cantidad y calidad, para las presentes y futuras generaciones. Por un lado, la insostenibilidad en la gestión del recurso queda manifiesta en dinámicas como la sobreexplotación de los acuíferos y la contaminación incremental y sostenida de las fuentes superficiales. Por el otro, la gestión del recurso es compleja debido a la cantidad y diversidad de actores que intervienen, de forma directa o indirecta, sobre los sistemas hídricos.

En este contexto, la gestión integrada de los recursos hídricos (GIRH) se promueve a nivel global¹⁶ como un enfoque que «ayuda a encontrar un equilibrio [sic] entre usos existentes en la sociedad y la economía, sin arriesgar la sostenibilidad de los ecosistemas vitales» (Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente [PNUMA], 2021, p. 1). Su objetivo es «la gestión y el desarrollo coordinados del agua, el suelo y los otros recursos relacionados, con el fin de maximizar los resultados económicos y el bienestar social de forma equitativa» (Global Water Partnership [GWP], 2013, p. 5).

GWP (2021) evaluó los avances que el país ha desarrollado para implementar efectivamente la GIRH entre el 2017 y 2020. La evaluación mide el desempeño a partir de diversos indicadores que se integran en cuatro dimensiones: (I) entorno propicio (políticas, leyes y planes); (II) instituciones y participación (capacidades institucionales, coordinación intersectorial y participación de los actores); (III) instrumentos de gestión (programas de gestión y de monitoreo, compartición de datos y de información); y (IV) financiamiento (presupuesto y financiación).

En términos generales, no se perciben avances significativos para el país, ya que la valoración global en el 2017 (línea base) fue de 25 puntos sobre 100, la cual se redujo a 21 puntos en el 2020, lo que en ambos casos representó un nivel de implementación de la GIRH bajo. La **tabla 5**

¹⁶ La meta 6.5 del Objetivo de Desarrollo Sostenible (ODS) 6 (Garantizar la disponibilidad de agua y su gestión sostenible y el saneamiento para todos) es: «Para 2030, implementar la gestión integrada de los recursos hídricos en todos los niveles, incluso a través de la cooperación transfronteriza, según corresponda» (PNUMA, 2021, p. 1).

resume los hallazgos más relevantes de cada dimensión evaluada.

En febrero del 2021, a través del Acuerdo Gubernativo 18-2021 se creó el Viceministerio del Agua, adscrito al MARN y responsable de la conducción de las políticas y estrategias para la protección, conservación y mejoramiento del recurso hídrico del país (artículo 29 del

Reglamento Orgánico Interno del MARN), incluidos los ecosistemas estratégicos, como los marino-costeros. Desde su creación, este viceministerio ha promovido la conformación de mesas técnicas a nivel de cuenca (ríos Ocosito, Naranjo, Suchiate, Samalá, Achiguate, Coyolate y Xayá-Pixcayá) como un mecanismo de gobernanza que permita alcanzar acuerdos sociales alrededor del recurso (MARN, 2021).

Tabla 5

Resultados generales de la evaluación de la implementación de la GIRH en Guatemala, de acuerdo con las cuatro dimensiones evaluadas

Dimensión	Puntuación		Hallazgos de la evaluación 2020
	2017	2020	
entorno propicio	28	16	• Único país en Centroamérica que no cuenta con política hídrica, ley de aguas ni plan nacional para la GIRH. • Marco normativo existente fragmentado y sin enfoque integrado ni coherente para GIRH. • Avance en algunas políticas municipales a nivel de cuencas.
instituciones y participación	36	27	• Limitadas capacidades técnicas y financieras por parte de los entes gubernamentales con mandatos vinculantes a la GIRH: MARN, MAGA y Ministerio de Energía y Minas (MEM). • No existe una entidad rectora del tema. • Limitada coordinación intersectorial que, en algunos casos, es facilitada por comités técnicos. • Inexistencia de herramientas de planificación para la promoción e implementación efectiva de la GIRH. • Fragmentación de los esfuerzos para el desarrollo de capacidades. • Existe una base mínima para la participación a nivel nacional y local de los actores que debe fortalecerse.
instrumentos de gestión	19	23	• Debilidades importantes en la gestión de datos en todos los niveles (levantamiento, recolección, sistematización y acopio). • Pocos estudios sobre balance hídrico, dinámicas de los acuíferos, agua subterránea y calidad de las diferentes fuentes. • No hay control sobre la explotación y uso del recurso. • Se cuenta con algunos sistemas de alerta temprana para la gestión del riesgo hidrológico, la mayoría en la zona sur del país.
financiamiento	16	18	• No existe una estructura de información financiera y presupuestaria para el sector público. • No se cuenta con criterios ni mecanismos para asignar recursos financieros de forma estratégica y priorizada. • No hay monitoreo de la inversión privada. • En general, las asignaciones presupuestarias vinculadas al agua son limitadas y únicamente cubren gastos administrativos y operativos. • Existen algunas experiencias municipales que están implementando cobros por servicios ambientales.
promedio	25	21	

Fuente: elaboración propia con base en GWP (2021)

De acuerdo con la Organization for Economic Cooperation and Development (OECD) (2012), los principales retos identificados para Guatemala en cuanto a la gestión y gobernanza del agua tienen que ver con:

- el desajuste entre límites hidrológicos y administrativos, lo que dificulta la planificación;
- las dificultades para alcanzar acuerdos sociales sobre la priorización en cuanto a la asignación de los recursos hídricos;
- las limitadas capacidades de los gobiernos locales y regionales para la planificación y gestión de los bienes hídricos;
- la falta de incentivos y regulaciones económicas (normativas específicas, presupuestos dirigidos, reconocimientos y sanciones);
- la limitada participación ciudadana;
- las dificultades en la coordinación vertical entre niveles de gobierno; y
- la limitada coordinación horizontal entre ministerios.

B. Agua potable y saneamiento. Genéricamente hablando, las principales estrategias de las políticas públicas para reducir la morbilidad asociada a la contaminación hídrica son el saneamiento, la purificación del agua, garantizar la cobertura y suministro del recurso y mejorar los hábitos de higiene. De acuerdo con los contextos y condiciones específicas de las poblaciones y territorios, cada una de estas estrategias puede tener una mayor o menor importancia en la disminución de las enfermedades, pero en general, todas poseen un potencial similar de reducción de enfermedades y deberían estar garantizadas para todas las personas (WHO, 2008).

A nivel mundial, se estima que, al invertir en agua potable, los beneficios en el subsistema social son de, por lo menos, 320 millones de días productivos ganados cada año dentro del grupo etario de los 15 a los 59 años, 272 millones de días extras de asistencia a los colegios y 1.5 billones de días sanos para niñas y niños menores de cinco años, entre otros (WHO, 2008).

Los resultados de la *Encuesta Nacional de Condiciones de Vida 2014* (INE, 2015b) indican que el 76 % de los hogares en Guatemala tuvo acceso a fuentes mejoradas¹⁷ de abastecimiento de agua potable en el 2014, dividido en grifos dentro del hogar (59 %) y fuera del hogar, pero dentro del predio (17 %). El 11 % de la población se abastece de grifos públicos y el restante 13 % lo hace a partir de otras fuentes (ríos, manantiales, lluvia, camión cisterna).

Como se puede observar en la **figura 16**, la cobertura no ha variado significativamente en los últimos diez años, en tanto que las brechas entre las áreas rurales y urbanas continúan: en las áreas urbanas, el 88 % de la población tiene acceso a una fuente mejorada de abastecimiento de agua, mientras que en las áreas rurales, el valor es de 61 %. De acuerdo con los resultados del *XII Censo Nacional de Población y VII de Vivienda* (INE, 2018), en el 2018, la fuente principal de agua en el 59 % de los hogares era tubería en la vivienda, mientras que para el 15 % fue tubería fuera de la vivienda, lo cual muestra resultados muy parecidos a los que se tenían en el 2014.

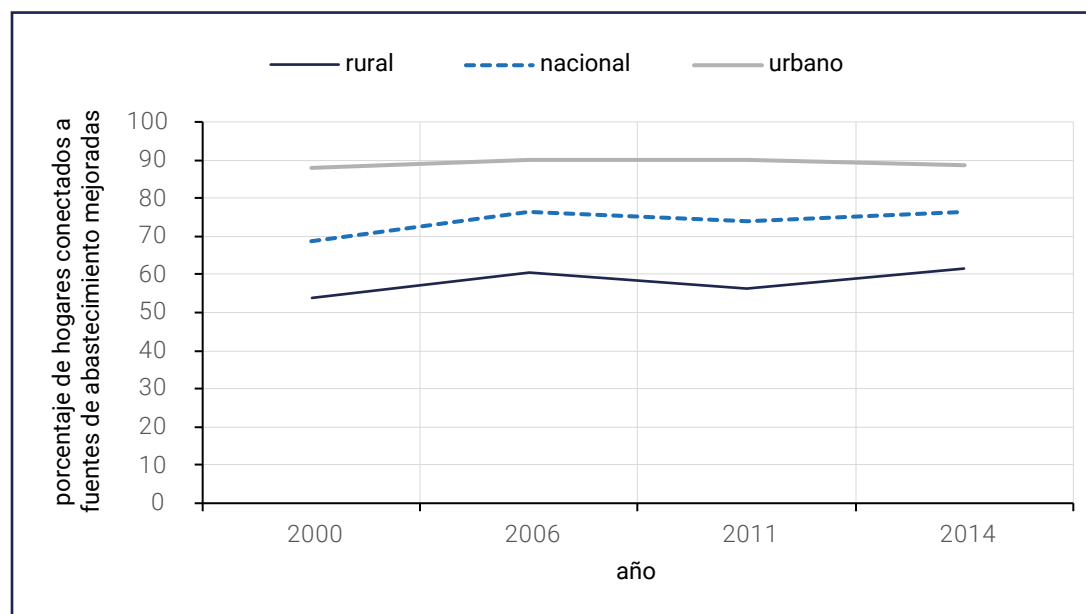
Los datos de acceso domiciliario tienen un agravante fundamental. Por un lado, no existe un servicio permanente, ya que en promedio se carece de agua durante cuatro días al mes, en tanto que el promedio diario de horas de servicio de agua es de diecisiete. Sin embargo, dichos promedios invisibilizan las crisis de acceso en zonas rurales y urbanas marginales. Al confrontar tales datos con los criterios establecidos para el «acceso al agua manejada de forma segura» en el marco de los Objetivos de Desarrollo Sostenible, entonces solamente el 52 % de los hogares a nivel nacional cumplen con dicho criterio (Banco Mundial, 2017).

En cuanto a la modalidad de servicio de abastecimiento de agua, el 54 % es privado, el 38 % público y el 8 % restante es provisto por comités de agua. Si bien no existen datos consistentes a nivel nacional, se estima que, a lo sumo, el 15 % de los prestatarios del servicio de abastecimiento de agua aplica algún tratamiento de purificación del agua (Banco Mundial, 2017).

¹⁷ De acuerdo con el INE (2015b), las fuentes mejoradas de abastecimiento de agua incluyen tubería tanto dentro como fuera de la vivienda, pero en el terreno, y grifo público.

Figura 16

Hogares con acceso a fuentes mejoradas de abastecimiento de agua potable a nivel nacional, urbano y rural, periodo 2000-2014 (%)



Fuente: elaboración propia con base en INE (2000, 2006, 2011, 2015b)

El saneamiento hace referencia a la reducción de la contaminación fecal en el subsistema natural mediante el aislamiento de la excreta y/o la inactivación de patógenos. Los datos muestran que el acceso a una fuente mejorada de eliminación de excretas a nivel nacional se incrementó, pasando del 38 % del total de hogares en el 2000, al 53 % en el 2014 (**figura 17**).

No obstante, vivir en el área rural continúa siendo una limitante para acceder a una fuente mejorada de saneamiento. Como se muestra en la **figura 18**, el 65 % de los hogares rurales no contaba con saneamiento mejorado en el 2014, lo cual muestra un retroceso con respecto al registro del 2006, que era del 63 %. Al menos siete de cada diez familias no tienen acceso a saneamiento mejorado en los departamentos de Alta Verapaz (80.7 %), Totonicapán (72.8 %) y Petén (70.1 %) y la defecación al aire libre sigue siendo extremadamente alta en los departamentos de Chiquimula (30.4 %), Jutiapa (21.9 %) y Jalapa (21.5 %).

Si bien el 53 % de la población nacional se encuentra conectada a una red de drenaje, las estimaciones consideran que únicamente el 5 % de dichas aguas son vertidas a los cuerpos de

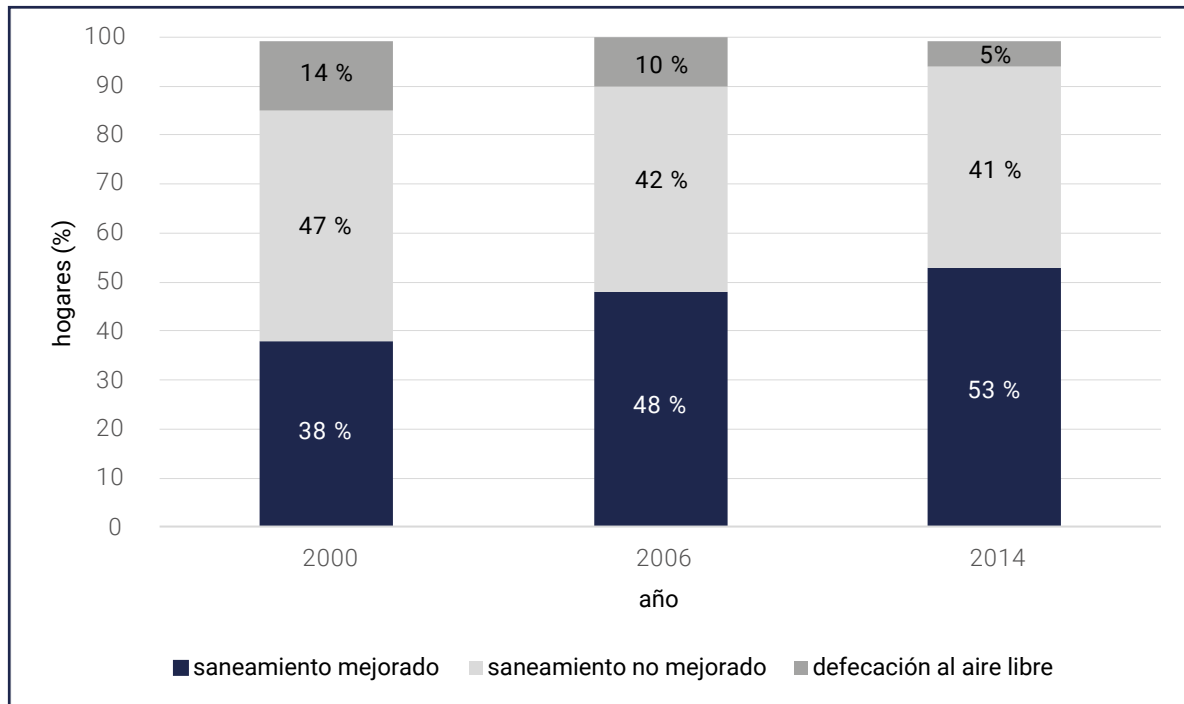
agua luego de algún tipo de tratamiento (MARN, 2017; Iarna, 2012; Banco Mundial, 2017).

En el 2006, el MARN publicó el Reglamento de las Descargas y Reúso de Aguas Residuales y de la Disposición de Lodos (Acuerdo Gubernativo 236-2006), el cual contenía criterios y requisitos para su cumplimiento. Si bien entre las disposiciones del reglamento se requería que las municipalidades contaran con plantas de tratamiento de aguas residuales para el 2015, a lo largo de los años se han realizado varias reformas que otorgan prórrogas a las comunas para cumplir con dicha disposición.

En diciembre del 2019, el MARN publicó el Acuerdo Gubernativo 254-2019, el cual se convirtió en la quinta prórroga que amplió hasta el 2 de mayo del 2023 la fecha que tienen las municipalidades para construir sus plantas de tratamiento de aguas residuales. Respecto a los avances y de acuerdo con el MARN (2011), para el 2010 se registraron 67 plantas de tratamiento de aguas residuales en el país, de las cuales el 43 % se encontraba dentro de la zona metropolitana, en los municipios de Guatemala, Mixco, Petapa, Santa Catarina Pinula, Villa Nueva y Villa Canales. Para el 2013, el INE (2015a) reportó 424 plantas de tratamiento

Figura 17

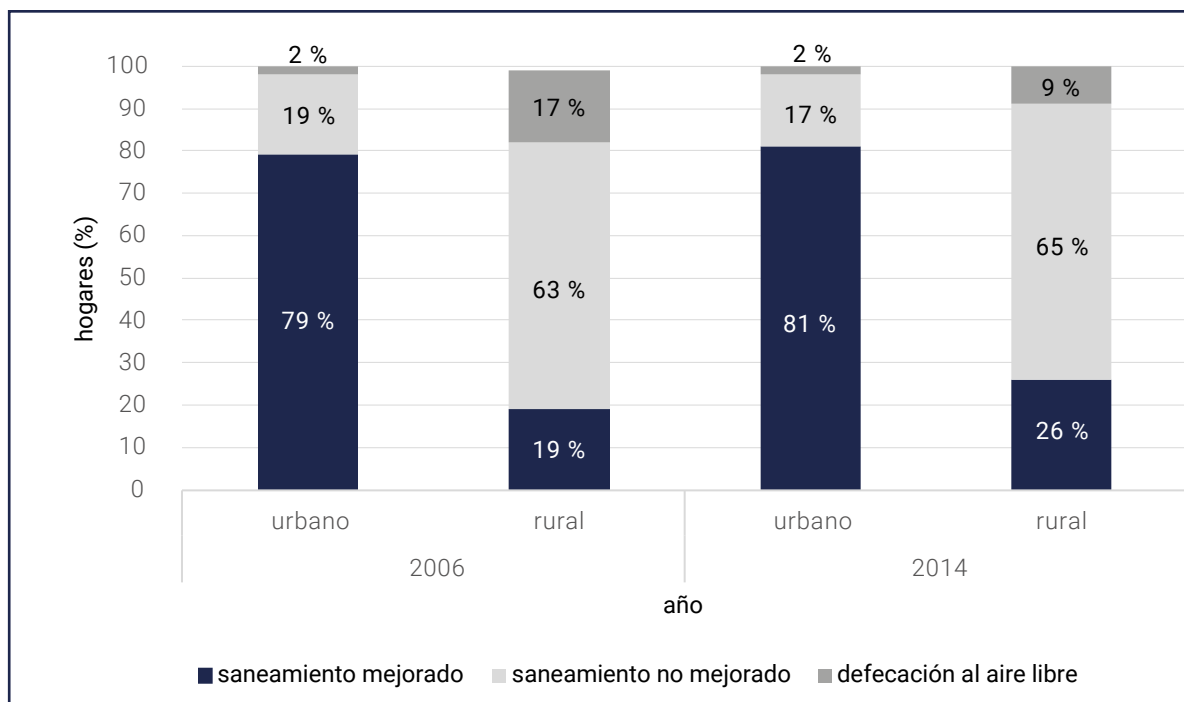
Tendencia en el acceso a distintos tipos de saneamiento en los hogares guatemaltecos (%), nivel nacional (2000, 2006 y 2014)



Fuente: tomado de Banco Mundial (2017) con base en datos de las Encovi

Figura 18

Tendencia en el acceso a distintos tipos de saneamiento en los hogares guatemaltecos (%), ámbitos urbano y rural (2006 y 2014)



Fuente: tomado de Banco Mundial (2017) con base en datos de las Encovi

de aguas residuales registradas, de las cuales 329 se encuentran en funcionamiento. De estas últimas, 228 corresponden a tratamiento primario (eliminación de sólidos), 67 son de tratamiento fisicoquímico (eliminación de materia orgánica) y únicamente 42 son de tratamiento físico, químico y biológico.

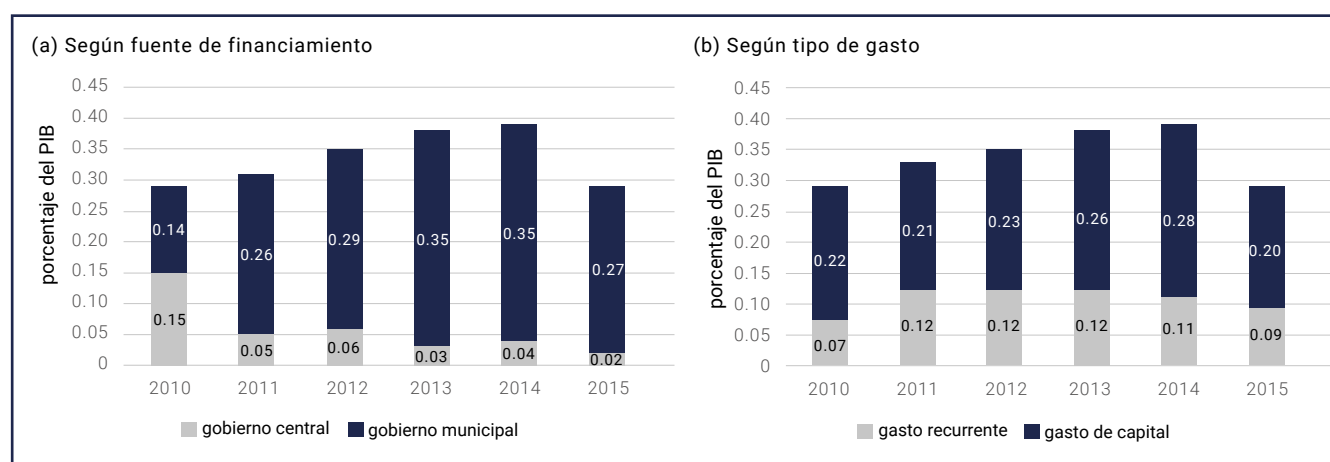
La inversión gubernamental en el sector de agua y saneamiento alcanzó en promedio cerca de los 178 millones de dólares anuales entre el 2010 y 2015 (alrededor de 48 millones de dólares en términos reales) (Banco Mundial, 2017), y representó entre el 0.3 % y 0.4 % del producto interno bruto (PIB) de cada año. Los gastos durante el periodo han sido

asumidos principalmente por los gobiernos locales (en promedio, 150 millones de dólares al año), lo que se alinea con la división de competencias y responsabilidades como resultado de las políticas de descentralización en la prestación de estos servicios (**figura 19a**).

La **figura 19b** muestra que, aunque se han priorizado las inversiones en infraestructura (gastos de capital), se han desestimado las inversiones en la gestión recurrente (capacidad de respuesta técnica y financiera cotidiana), cuestión que compromete la sostenibilidad de los servicios a mediano y largo plazo (Banco Mundial, 2017).

Figura 19

Inversión en agua potable y saneamiento durante el periodo 2010-2015 (% del PIB): (a) según fuente de financiamiento (gobierno central vs. gobierno municipal) y (b) según tipo de gasto (capital vs. recurrente)



Fuente: elaboración propia con base en Banco Mundial (2017)

3.4.2 Respuesta social

Carrera (2017) indica que la preocupación social alrededor del recurso hídrico se manifiesta, entre otros factores, en la puesta en marcha de distintos mecanismos para la protección de las cuencas y la sostenibilidad del suministro de agua en el largo plazo, y que es bajo esta lógica que se explica la mayor abundancia y éxito de los pagos por servicios ambientales (PSA) en estos rubros ambientales (ver **anexo 3**).

A través de los procesos para el establecimiento y consolidación de dichos mecanismos, se ha conseguido convocar y coordinar a actores de distinta naturaleza que hacen uso del recurso para

diferentes propósitos (consumo humano, riego agropecuario, piscicultura, turismo y generación de electricidad), bajo diversas estrategias. Los proveedores de los servicios ambientales abarcan comunidades, propietarios privados, municipalidades, comités, empresas y ONG; en tanto que los usuarios incluyen a comunidades, municipalidades, asociaciones de riego, agroindustria y empresas (Carrera, 2017).

La Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional (Usaid) (2012), por su parte, afirma que existen al menos dieciséis experiencias de pagos por servicios ambientales hídricos, la mayoría a nivel de microcuenca, con diferentes grados de avance. No obstante, las más

actuales evidencian que los recursos captados a través de estos mecanismos son escasos, lo que impide garantizar la sostenibilidad de los servicios ambientales y aportar sustancialmente a revertir los procesos de deterioro de los ecosistemas. Entre los elementos positivos que consiguen promover estos esquemas, se pueden mencionar el cambio de actitud de la sociedad local hacia la valoración de los servicios ambientales y la creciente conciencia en la responsabilidad de conservarlos (MARN, 2011).

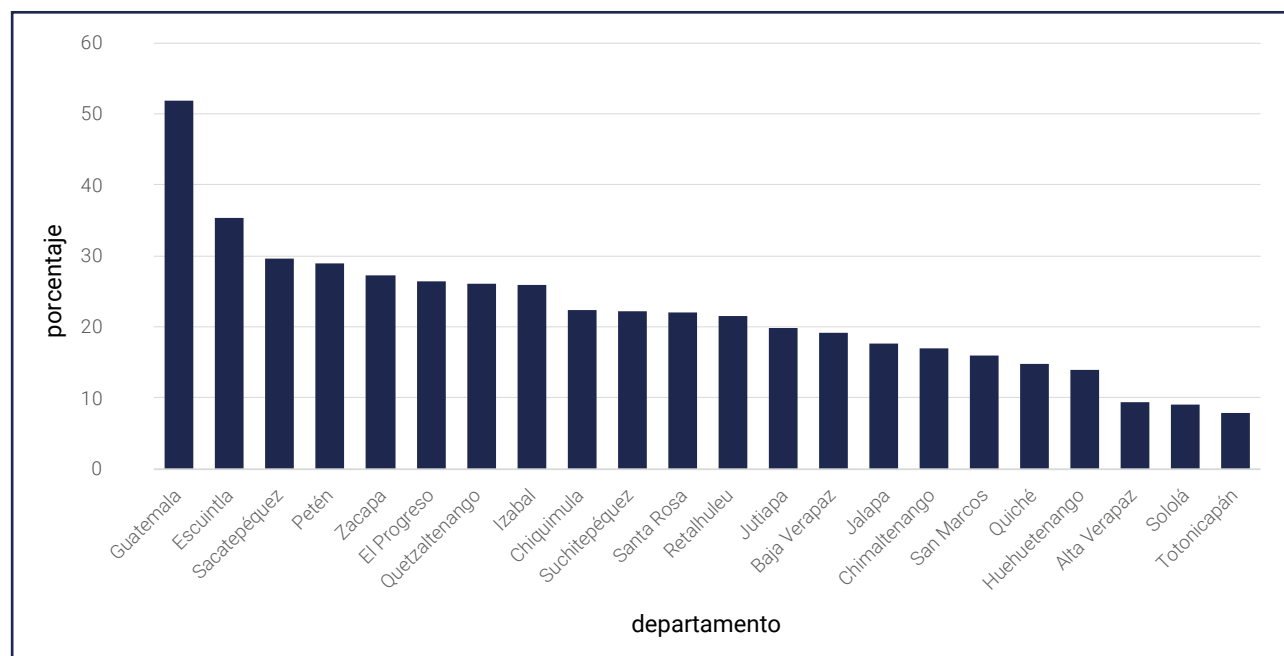
Tanto la falta de un servicio adecuado de agua para consumo humano como las condiciones mejoradas para el saneamiento representan una amenaza real para la salud y la nutrición de los hogares guatemaltecos (MARN, 2017; Iarna, Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura y McGill University, 2015; Banco Mundial, 2017). La ausencia de condiciones que permitan garantizar el derecho humano al agua y al saneamiento¹⁸ hacen que los hogares opten por implementar estrategias, muchas veces asumiendo costos relativamente importantes,

para asegurar un acceso adecuado, en cantidad y calidad, al recurso. En el 2014, por ejemplo, más del 50 % de los hogares del departamento de Guatemala compraba agua embotellada (**figura 20**), estrategia que suele replicarse en muchos hogares en las áreas urbanas de los otros departamentos del país.

La gestión del agua en las áreas rurales toma diferentes formas a lo largo y ancho del país. En el caso de los pueblos indígenas de occidente, el agua, al igual que otros bienes naturales como la tierra y el bosque, se considera un bien comunal, de uso colectivo; ya que, según la cosmovisión maya, nadie es dueño del agua y, por lo tanto, la venta de las fuentes de agua y de la tierra a la que pertenece está prohibida (D'Andrea, s. f.). De acuerdo con Xurux (2019), las comunidades indígenas en el altiplano organizan la gestión del recurso con base en prácticas ancestrales denominadas *K'axk'ol*, las cuales representan un servicio comunitario gratuito. Dentro de estas estructuras comunitarias se encuentran los comités de agua y fontaneros, electos en las asambleas¹⁹ de los proyectos de

Figura 20

Hogares que compran agua embotellada para beber por departamento (porcentaje de hogares), 2014



Fuente: elaboración propia con base en INE (2015b)

¹⁸ El derecho humano al agua establece el derecho que cada persona tiene a disponer de agua suficiente, saludable, aceptable, físicamente accesible y asequible para su uso personal y doméstico.

¹⁹ Las asambleas de proyectos de agua validan los reglamentos elaborados por los comités locales para la administración y funcionamiento de los sistemas de agua comunitarios (Xurux, 2019).

agua y encargados de administrar el recurso hídrico en las comunidades (**figura 21**). Todos los beneficiarios de los proyectos de agua forman parte del comité de agua y pueden ser elegidos fontaneros. Las principales responsabilidades del comité son: (I) conservación y protección de los nacimientos de agua; (II) restauración ecológica de las zonas de recarga y descarga hídrica a través de actividades de reforestación; (III) monitoreo y mantenimiento del sistema completo de suministro de agua, desde las cajas captadoras hasta la red de distribución; (IV) monitoreo de la calidad de agua para consumo; y (V) elaboración de propuestas de reglamentos internos para el uso eficiente del agua (Xurux, 2019).

Con base en el estudio de tres sistemas de gestión del agua en el occidente del país, el Centro Universitario de Occidente (Cunoc) (2009) afirma que las estructuras administradoras del agua representan un poder político en sus comunidades, no solo por el hecho de servir en la gestión de un servicio indispensable para la vida, sino que, además, por hacerlo generalmente ante la ausencia del Estado.

En ese sentido, es evidente la capacidad de toma de decisiones, convocatoria, movilización social y relacionamiento e incidencia frente a otros actores (alcaldes auxiliares, escuela, puesto de salud y otras organizaciones). Dicho poder se sustenta en normas consuetudinarias, así como en el carácter histórico de su organización y su efectividad para dar respuesta a las demandas comunales (Cunoc, 2009). En ese sentido, representan casos interesantes para identificar lecciones aprendidas sobre alternativas organizativas ciudadanas para la gestión de sistemas de suministro de agua.

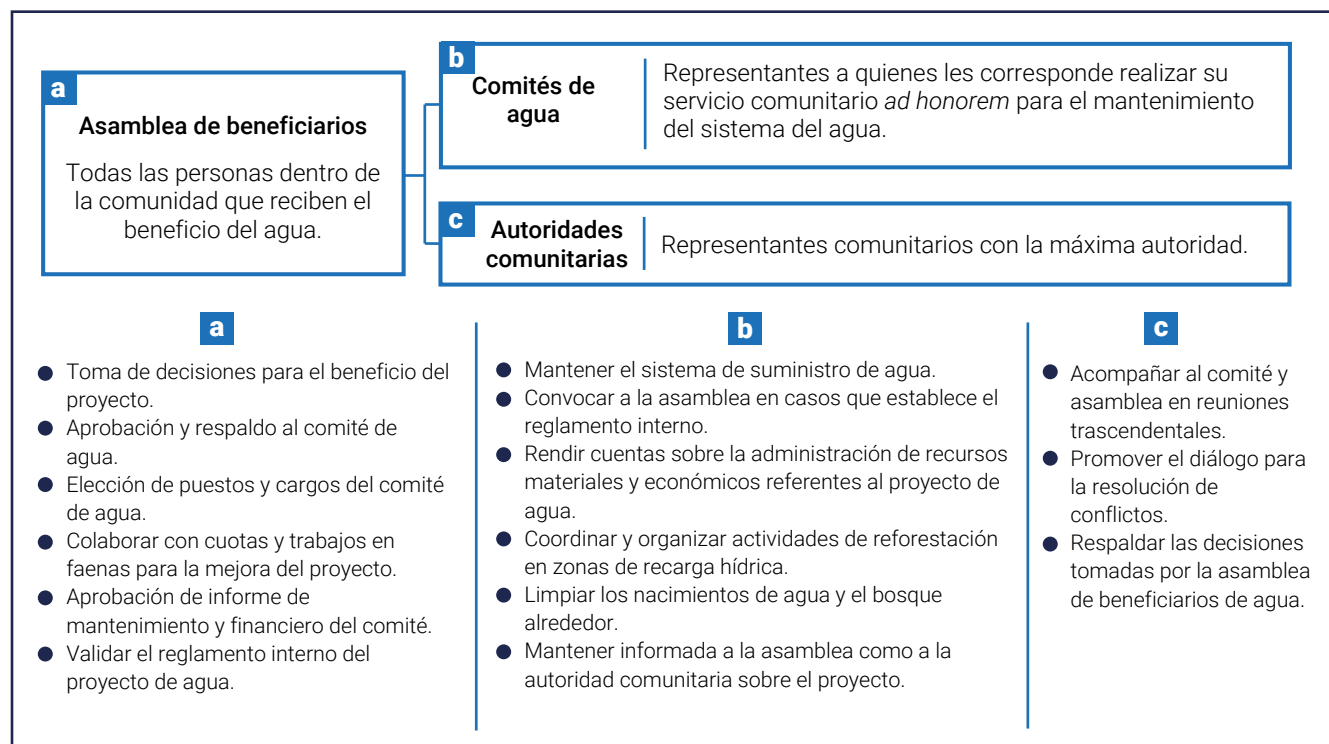
3.5 Impactos

3.5.1 Subsistema económico: Economía y medios de vida

En el país, más del 95 % de los hogares de agricultores depende del régimen de lluvias para producir su propia comida. Se estima que en el 2014, la producción de maíz y frijol empleó cerca de 6000 millones de m³ de agua en condiciones exclusivamente de secano, es decir, aprovechando

Figura 21

Organigrama sobre la gestión comunitaria del agua en el altiplano occidental de Guatemala



Fuente: tomada de Xurux (2019)

la humedad del suelo retenida después de las lluvias (Iarna, 2019).

Desde la perspectiva comercial de la producción, los recursos hídricos también son centrales. Las actividades productivas que utilizan más intensivamente el agua (industriales y agropecuarias) y que representan el 80 % de la utilización promedio anual de agua estuvieron asociadas a la generación de más del 30 % del PIB en el 2018. La información disponible en el Sistema de Cuentas Ambientales y Económicas (INE *et al.*, 2013) sugiere que entre el 2001 y el 2010 existió una tendencia a mejorar la productividad en cuanto al uso del agua a nivel de la economía nacional. En el 2001, cada metro cúbico de agua utilizado por la economía nacional representó Q8.27 de valor agregado, mientras que en el 2010, el valor fue de Q9.79.

Si bien el uso del agua sostiene en buena medida los medios de vida rurales y la producción económica nacional, las condiciones actuales del recurso también están asociadas a costos que son asumidos por diversos actores. Por un lado, la gestión de la contaminación implica costos por intermedio de las políticas públicas. Según el MARN (2017), la Empresa Municipal de Agua (Empagua) incurre en un costo de Q10.00 por cada metro cúbico de agua por concepto de purificación, eliminación de la turbiedad (sedimentos) y desinfección (contaminación microbiológica). Por el otro, los hogares también

asumen costos adicionales al comprar agua a distribuidores privados, ya sea para atender la falta de acceso (expendios ambulantes) o para contrarrestar la mala calidad del recurso (adquiriendo agua embotellada). De acuerdo con datos de la Encovi del 2014 (INE, 2015b), a nivel nacional, uno de cada cuatro hogares reportó la compra regular de agua embotellada como parte del presupuesto familiar.

Tanto la contaminación por residuos sólidos y sedimentos como la gestión inadecuada de riberas y partes altas de las cuencas están asociadas a inundaciones y actividades de dragado. Las inundaciones cobran recurrentemente vidas humanas y representan pérdidas económicas fundamentales para los hogares (cosechas agrícolas, activos materiales, ganado) y los gobiernos (infraestructura vial). Debido a su recurrencia e intensidad, el desarrollo de capacidades efectivas para la gestión de los fenómenos hidrometeorológicos es clave, ya que estos ocasionaron el mayor número de muertes por causas no naturales durante el periodo 2008-2021 (ver **tabla 6**), por lo que se requieren estrategias de respuesta más complejas para la evacuación y atención de damnificados, lo cual implica mayores costos económicos en cuanto a pérdidas y reparaciones (Barillas, 2022). La **tabla 6** indica el número de personas afectadas por diversos tipos de amenazas (hidrometeorológicas, geológicas y antropogénicas) durante el periodo 2008-2021.

Tabla 6

Afectación a personas por distintos tipos de amenazas en la República de Guatemala (número), periodo 2008-2021

Incidentes	Fallecidas	Heridas	Desaparecidas	Afectadas	Evacuadas	Albergadas
hidrometeorológicos ¹	906	539	249	13 597 244	332 856	285 839
geológicos ²	392	722	260	9 445 140	12 664	39 003
antropogénicos ³	496	1960	188	959 829	2737	1283
total	1794	3221	697	24 002 213	348 257	326 125

Nota.

¹ Incluye depresiones y tormentas tropicales, lluvias, huracanes, granizadas, sequías y vientos fuertes.

² Incluye sismos, erupciones volcánicas y deslizamientos.

³ Incluye accidentes, concentraciones masivas, conflictividad, delincuencia, incendios forestales y estructurales, y manifestaciones.

Fuente: elaboración propia con base en Barillas (2022)

3.5.2 Subsistema sociocultural: Salud

La contaminación microbiológica de las fuentes de agua del país es una de las principales amenazas a la salud y a la nutrición de las poblaciones. Existe suficiente evidencia a nivel internacional y nacional sobre la estrecha relación que existe entre este tipo de contaminación y las enfermedades gastrointestinales, la morbilidad infantil y la desnutrición crónica en menores de cinco años (Iarna *et al.*, 2015; Banco Mundial, 2017). En ese sentido, la población infantil es especialmente vulnerable. Dadas estas relaciones, garantizar el derecho humano al agua potable debe ser una de las prioridades de cualquier Estado que pretenda asegurar el bienestar de su población.

De acuerdo con un estudio realizado por el Iarna (2016) –en el cual se monitorearon fuentes de agua para consumo doméstico entre los años 2015 y 2016, con hogares rurales de cuarenta municipios del altiplano occidental–, existe contaminación generalizada de coliformes fecales en el 96 % de las fuentes mejoradas de abastecimiento y se reportó la presencia de *Escherichia coli* en el

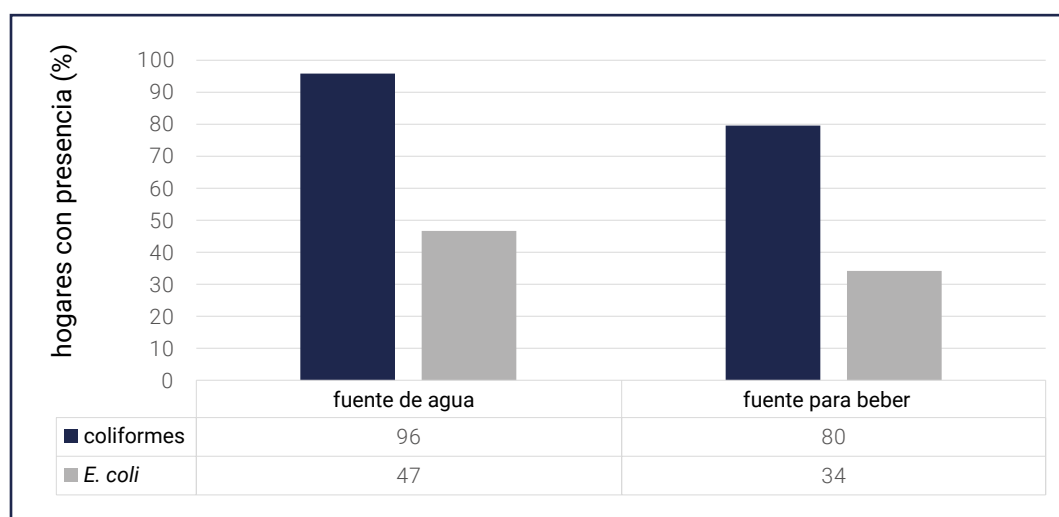
47 % de los casos. Aunque el 92 % de los hogares indicó que adopta algún tipo de tratamiento del agua de consumo (principalmente clorado, hervido o filtrado), la investigación concluyó que la contaminación por coliformes permaneció en el 80 % de los hogares después del tratamiento y se observó presencia de *E. coli* en el 34 % del agua previamente tratada (figura 22).

Entre los principales problemas encontrados, se señaló que en los recipientes en los que se administra el agua potable, así como el lavado de manos y otros utensilios, suele emplearse agua que no ha sido previamente tratada, lo cual ocasiona que el agua para beber se vuelva a contaminar.

Esta realidad se repite a lo largo y ancho del país. El monitoreo de fuentes de abastecimiento de agua para el consumo humano en veinticinco puntos de muestreo en las comunidades de la Franja Transversal del Norte²⁰ (Iarna, 2022) evidenció una presencia generalizada (100 %) de coliformes fecales y *E. coli*, tanto en ríos como en manantiales, quebradas y agua subterránea (pozos), según se muestra en la tabla 7.

Figura 22

Contaminación microbiológica en la fuente mejorada de abastecimiento dentro de los hogares y en la fuente para beber en municipios del altiplano occidental (porcentaje de fuentes con presencia de contaminantes), 2015-2016



Fuente: elaboración propia con base en Iarna (2016)

²⁰ Municipios de Ixcán (Quiché), Chisec, Fray Bartolomé de las Casas, Panzós, Cobán, Raxruhá (Alta Verapaz), Sayaxché, Poptún y San Luis (Petén) y El Estor (Izabal) forman parte del proyecto *Hacia una gobernanza territorial en áreas de expansión de la industria palmera*, ejecutado en consorcio con Action Aid y Congcoop, con fondos de la Unión Europea.

Tabla 7

Parámetros cualitativos del agua de consumo humano en comunidades de la Franja Transversal del Norte y sur de Petén en 2021

Característica	Tipo de fuente de agua de consumo humano				
	Aguas superficiales	Nacimientos	Agua subterránea	Abastecimiento	No definido
pH					
promedio	7.46	7.13	6.94	6.77	7.54
máximo	7.75	7.50	7.20	7.32	8.02
mínimo	7.01	6.89	6.77	6.21	7.06
temperatura °C					
promedio	24.99	25.32	27.36	29.40	29.50
máximo	27.50	29.70	31.90	32.70	31.30
mínimo	24.00	18.50	25.50	26.10	27.70
conductividad µS/cm					
promedio	364.22	348.60	609.71	225.50	611.00
máximo	504.00	777.00	816.00	242.00	612.00
mínimo	261.00	72.00	18.00	209.00	610.00
sólidos totales disueltos mg/l					
promedio	180.72	174.60	305.00	113.00	305.00
máximo	252.00	389.00	407.00	121.00	306.00
mínimo	130.00	36.00	9.00	105.00	304.00
coliformes totales UFC/100 ml	presencia	presencia	presencia	presencia	presencia
Escherichia coli UFC/100 ml	presencia	presencia	presencia	presencia	presencia
arsénico	< 0.0007	< 0.0007	< 0.0007	< 0.0007	< 0.0007
conclusión con base en Coganor NTG 29001:2013	no apta	no apta	no apta	no apta	no apta

Fuente: tomada de Iarna (2022)

La calidad del agua de consumo en los hogares no es un problema exclusivo de las áreas rurales. El Iarna (2017) encontró tasas significativamente altas de contaminación microbiológica en las fuentes mejoradas de abastecimiento de agua dentro de los hogares de áreas urbanas y periurbanas de la región metropolitana (**figura 23**). Entre los resultados del estudio, destaca que el 100 % de las fuentes analizadas en el municipio de San Pedro Ayampuc tienen coliformes, en tanto que en los municipios de Chinautla y Chuarrancho, tres de cada cuatro hogares reciben agua contaminada.

En el periodo de 2012-2020, el sistema de salud gubernamental atendió alrededor de seis millones

de casos de enfermedades transmitidas por contaminantes en alimentos y agua (ETA) (Sistema de Información Gerencial en Salud [Sigsa], 2020). Los registros muestran una tendencia incremental entre el 2012 y 2013, un descenso entre el 2013 y 2016 y luego otro incremento entre el 2016 y 2019, generándose el menor registro de ETA en el 2020, con 456 632 casos reportados. La concentración de alrededor del 50 % de los sucesos ocurre en los departamentos del altiplano occidental y norte del país (Huehuetenango, Quiché, San Marcos y Alta Verapaz) y Guatemala (**figura 24**).

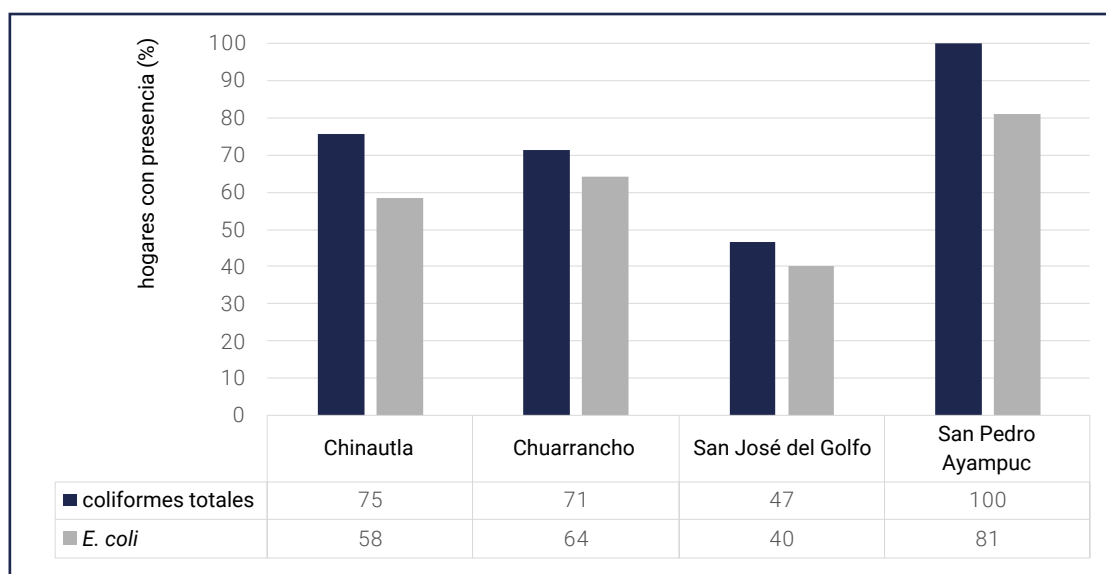
Del total de casos atendidos, el grupo de menores de cinco años es de los más afectados, presentando una tasa de 9441 casos por 100 000

habitantes en el 2020, seguido del grupo de dos a once meses, con una tasa de 2979 por 100 000 habitantes. Para el 2013, la diarrea constituyó el 17 % del total de las defunciones atribuibles a

factores ambientales; el 94 % de dichos casos se encuentra asociado al consumo de agua sin condiciones de potabilidad, ausencia de saneamiento e higiene inadecuada.

Figura 23

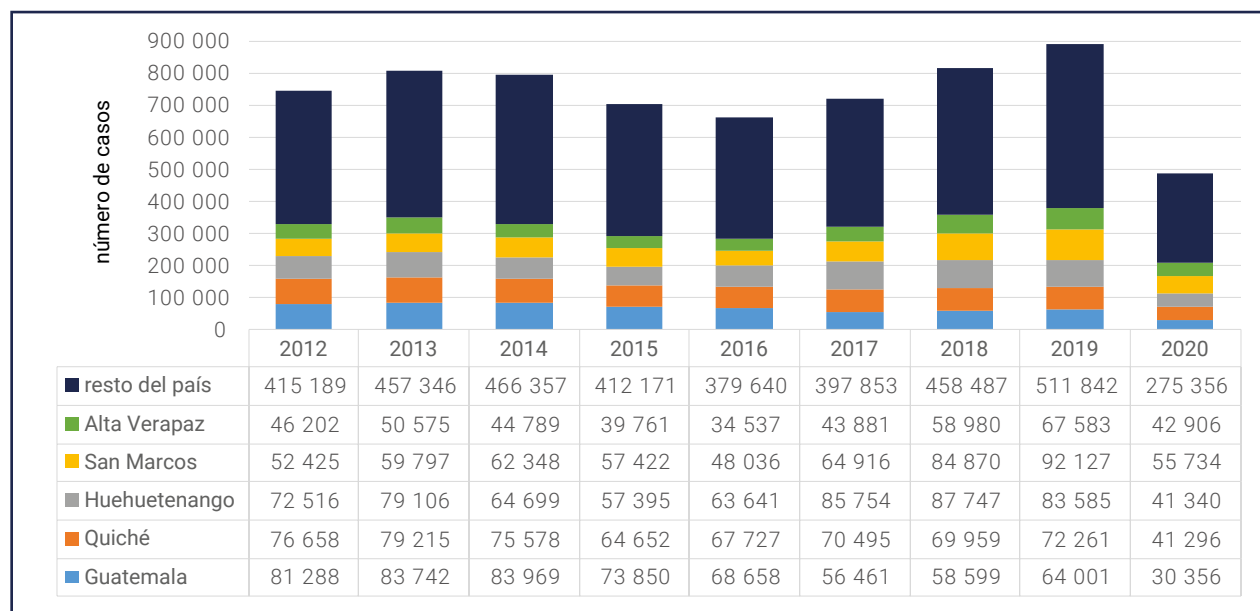
Contaminación microbiológica (coliformes totales y E. coli) en la fuente mejorada de abastecimiento dentro de los hogares en municipios del departamento de Guatemala (porcentaje de hogares), 2016



Fuente: elaboración propia con base en Iarna (2017)

Figura 24

Incidencia de enfermedades transmitidas por alimentos y agua en departamentos seleccionados y resto del país (número de casos), periodo 2012-2020



Fuente: elaboración propia con base en Sigsa (2020)

3.5.3 Subsistema natural

Como se presentó al inicio del capítulo, uno de los impactos más importantes de la gestión inadecuada del recurso en el subsistema natural es la eutrofización cultural de los cuerpos de agua (eutrofización acelerada como consecuencia de las actividades antropogénicas), principalmente lagos y lagunas.

El estudio paleolimnológico desarrollado por Obrist-Farner *et al.* (2019) evaluó la información conservada en los sedimentos del lago de Izabal, acumulada en los últimos trescientos setenta años para entender los efectos de la acción del ser humano en la ecología del ecosistema lacustre. El estudio concluye que el incremento de nutrientes en dicho lago, producto del vertido de aguas residuales y de la sedimentación de áreas agrícolas en las márgenes del río Polochic, son la principal causa del florecimiento de algas, presencia de especies invasivas y reducción en la abundancia de peces durante los últimos setenta años.

Brocard *et al.* (2016), por su parte, analizaron los sedimentos depositados en la laguna de Chichoj entre 1910 y 2005, junto con las propiedades fisicoquímicas del agua, estableciendo que la laguna tiende a deteriorarse aceleradamente desde la década de los setenta y actualmente se encuentra en un estado de hipoxia severa, lo cual compromete la posibilidad del ecosistema de sostener la vida.

Otro impacto al subsistema natural que está bien documentado es el blanqueamiento de los arrecifes de coral en el Caribe guatemalteco, como consecuencia de la contaminación que arrastran los ríos Motagua, Sarstún y Río Dulce (Iarna, 2009). La contaminación de los ríos de la costa sur también tiene impactos en la salud y sobrevivencia de los ecosistemas de manglar y los humedales, y actualmente es una de las principales amenazas que enfrentan dichos sistemas ecológicos (Iarna, 2012; MARN, 2013), afectando la biodiversidad allí presente y actividades y medios de vida, como la pesca (Paredes, 2019; EFE, 2012).

La gestión actual de los recursos hídricos ha impactado también la dinámica de los acuíferos,

en particular en las zonas urbanas. Coló (2014) evaluó el sistema de pozos Emergencia I de Empagua, ubicados en las zonas 6 y 18 de la ciudad capital. Sus resultados muestran que entre el 2000 y 2011, el descenso promedio del nivel estático de agua subterránea en el sector norte fue de 4.44 metros por año, de 6.78 metros por año en el sector Lavarreda y 5.38 metros por año en el sector Rodeo (**figura 25**).

Lo anterior confirma una extracción del recurso por encima de la capacidad natural de recarga de los acuíferos, lo cual supone su agotamiento. De acuerdo con el estudio, la recuperación de los niveles estáticos que se observa para los tres sectores a finales del periodo evaluado está asociada a la reducción en la intensidad de la producción/extracción de agua subterránea.

Con base en la evaluación de varios parámetros de un conjunto de pozos ubicados en los municipios de la Mancomunidad Gran Ciudad del Sur (MGCS), realizada entre 1978 y 2018, Funcagua (2022) reporta que los pozos analizados en el 2018 son más profundos y menos productivos, en comparación con los datos de 1978. Como puede observarse en la **figura 26**, la profundidad de la mayoría de los pozos monitoreados en 1978 se encontraba entre el rango de 100 a 201 metros o por debajo, en tanto que en el 2018 apenas el 2 % de los pozos reportaron una profundidad por debajo de ese rango.

La información desglosada por municipio arroja los siguientes hallazgos (**figura 27**):

- la mayor parte de los pozos en Villa Canales experimentó un descenso extremadamente crítico en su nivel estático (más de 10 metros) durante el periodo de análisis y un 29 % un descenso crítico (de 1 a 10 metros); el pozo de mayor profundidad se encuentra a 366 metros y el menor, a 66 metros;
- la mitad de los pozos estudiados en Santa Catarina Pinula mostró un descenso leve (de cero a un metro) en su nivel estático y el otro 50 % ha experimentado un incremento positivo, encontrándose el pozo más profundo a 488 metros y el menor, a 175 metros;
- la mayoría de los pozos en Villa Nueva han descendido crítica o levemente en su nivel

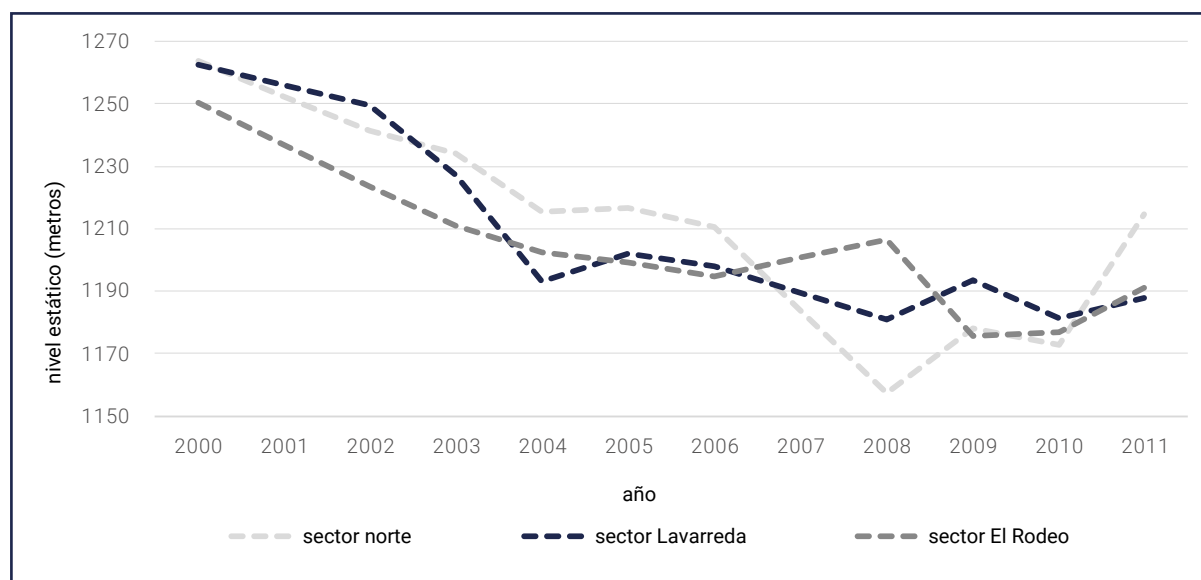
estático; el pozo más profundo se encontró a 457 metros y el menor, a 146 metros;

- los pozos más profundos se encuentran en Mixco, con un máximo de 500 metros, mientras que el menos profundo se encontró a 121

metros; el 49 % de los 31 pozos estudiados en este municipio ha tenido un descenso considerado como extremadamente crítico (mayor a diez metros), mientras que en 32 % ha sido crítico (de 1 a 10 metros).

Figura 25

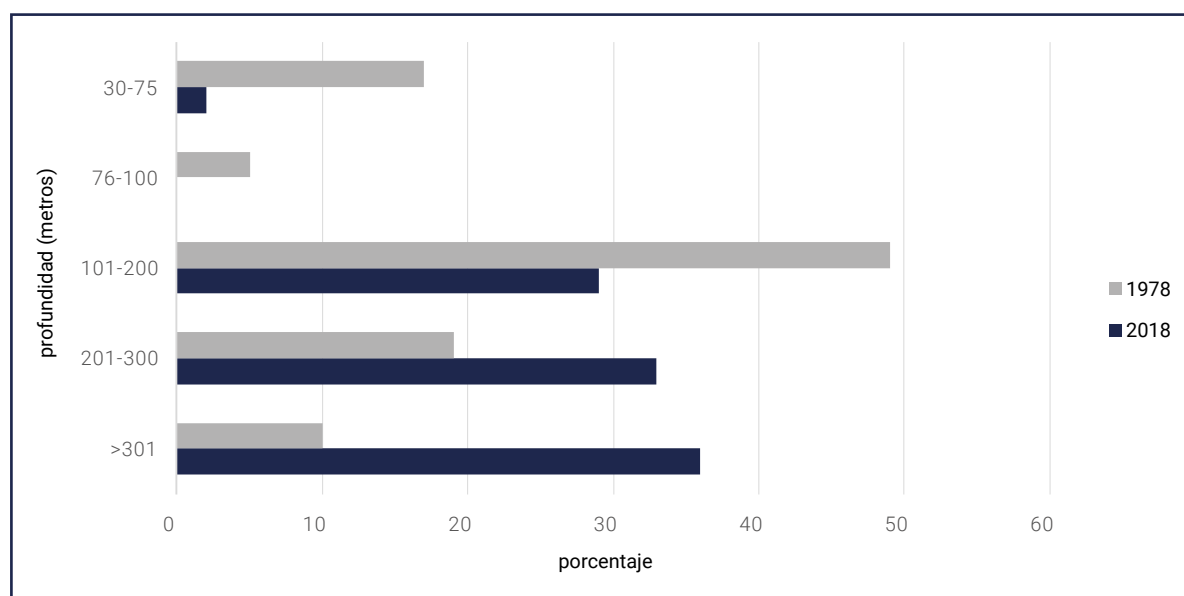
Comportamiento de los niveles estáticos del agua subterránea en tres sectores de pozos del sistema Emergencia I de Empagua para el periodo 2001-2011 (datos en metros)



Fuente: elaboración propia con base en Coló (2014)

Figura 26

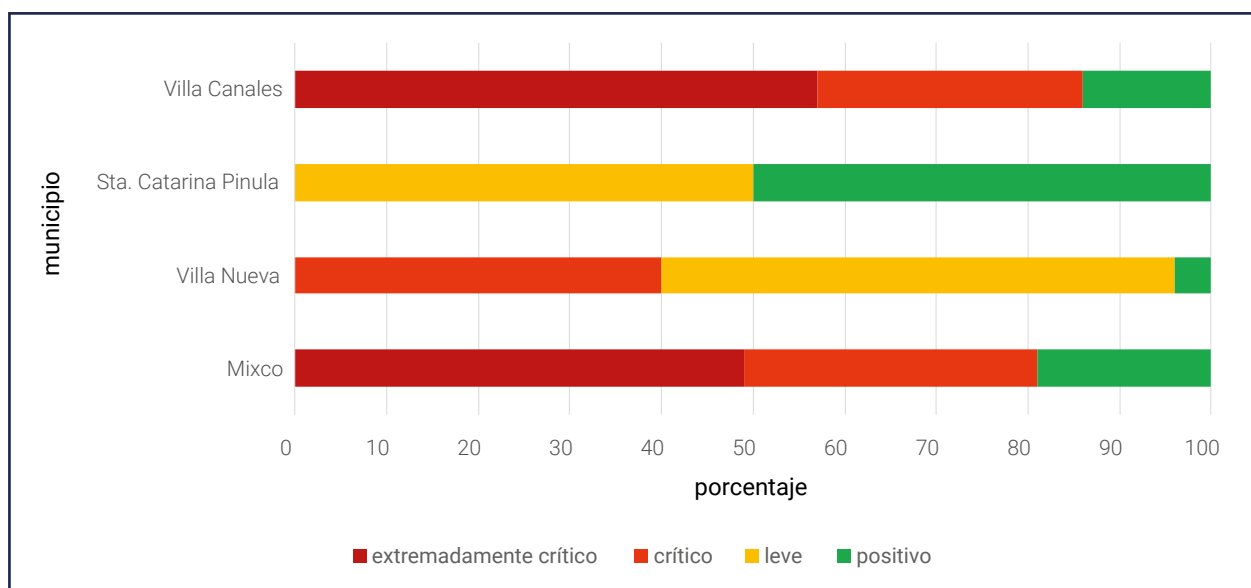
Profundidad comparada de pozos monitoreados en los municipios de la Mancomunidad Gran Ciudad del Sur (porcentajes), 1978 y 2018



Nota. Se utilizaron los datos de 48 pozos muestreados por el Insivumeh en 1978 y 91 pozos muestreados por Funcagua en el 2018. Fuente: elaboración propia con base en datos de Funcagua (2022).

Figura 27

Comportamiento del nivel estático del agua subterránea por municipio, periodo 2018-2021



Nota. Se muestrearon siete pozos en Villa Canales, dos en Santa Catarina Pinula, veinticinco en Villa Nueva y treinta y uno en Mixco. Los niveles de descenso en el nivel estático se clasifican en: extremadamente crítico (>10 metros), crítico (1-10 metros), leve (0-1) y positivo (que no ha disminuido). Fuente: elaboración propia con base en datos de Funcagua (2022).

3.6 Síntesis de la situación actual y tendencias

El estado y las tendencias del recurso hídrico en Guatemala muestran la ausencia de una gestión que aproveche la abundancia natural del agua y catalice una planificación efectiva que permita asegurar la disponibilidad y acceso en cantidad y calidad para toda la población. Las líneas de gestión que se han desarrollado en el proceso del *Perfil ambiental de Guatemala* (Iarna, 2009, 2012; MARN, 2011) tienen que ver, por un lado, con la gestión de todos los componentes biofísicos que hacen viable el ciclo hidrológico para asegurar la disponibilidad del recurso y, por el otro, con el desarrollo de infraestructura hidráulica con visión territorial, para asegurar el acceso y, entre otros propósitos, frenar diferentes crisis sanitarias y de gobernabilidad.

El índice estacional de almacenamiento del país es apenas del 1.5 % (Secretaría de Planificación y Programación de la Presidencia [Segeplán], 2006), lo que deja en evidencia la falta de capacidad que el país posee para decidir cuándo, dónde y cómo utilizar el 98.5 % del agua que llueve en Guatemala,

en conformidad con las prioridades estratégicas y la búsqueda del bienestar.

La gestión del recurso es casi inexistente y esto se manifiesta claramente en el escaso manejo y tratamiento de las aguas residuales. La falta de tratamiento del 95 % de los efluentes domésticos e industriales implica, no solo la contaminación de los cuerpos de agua nacionales, sino también la generación de externalidades económicas y sociales negativas que son asumidas, muchas veces, por los sectores más desfavorecidos.

Por ejemplo, las estadísticas oficiales muestran que el 27 % de los hogares urbanos compra agua purificada, proporción que se eleva a más de la mitad en el caso del área metropolitana (56 % de los hogares). En el área rural, la situación económica de las familias impide correr con gastos de este tipo. Se estima que cerca de tres millones de guatemaltecos se abastecen de fuentes de agua cuya calidad no es confiable, lo cual tiene implicaciones en la salud y la seguridad alimentaria de las familias.

El deterioro de las áreas de importancia para la captación y regulación hidrológica también

corroborar la ausencia de gestión eficiente y, como consecuencia, se dificulta la recarga de los acuíferos y se favorece la sobreexplotación de los mismos. En términos generales, existe poca visión sobre la necesidad de la gestión integrada de los recursos hídricos que implica la planificación y gestión de los territorios, lo cual se evidencia en las dificultades de generar esquemas de coordinación intersectorial, tanto públicos como privados, que garanticen la sostenibilidad en el abastecimiento y calidad del recurso hídrico. Las pocas experiencias de pago por servicios ambientales (PSA) que existen, si bien poseen elementos rescatables, evidencian que los recursos captados a través de estos mecanismos todavía no son suficientes para garantizar la sostenibilidad de los servicios ambientales.

La falta de gobernabilidad en la gestión del recurso es resultado, en parte, de la ausencia de

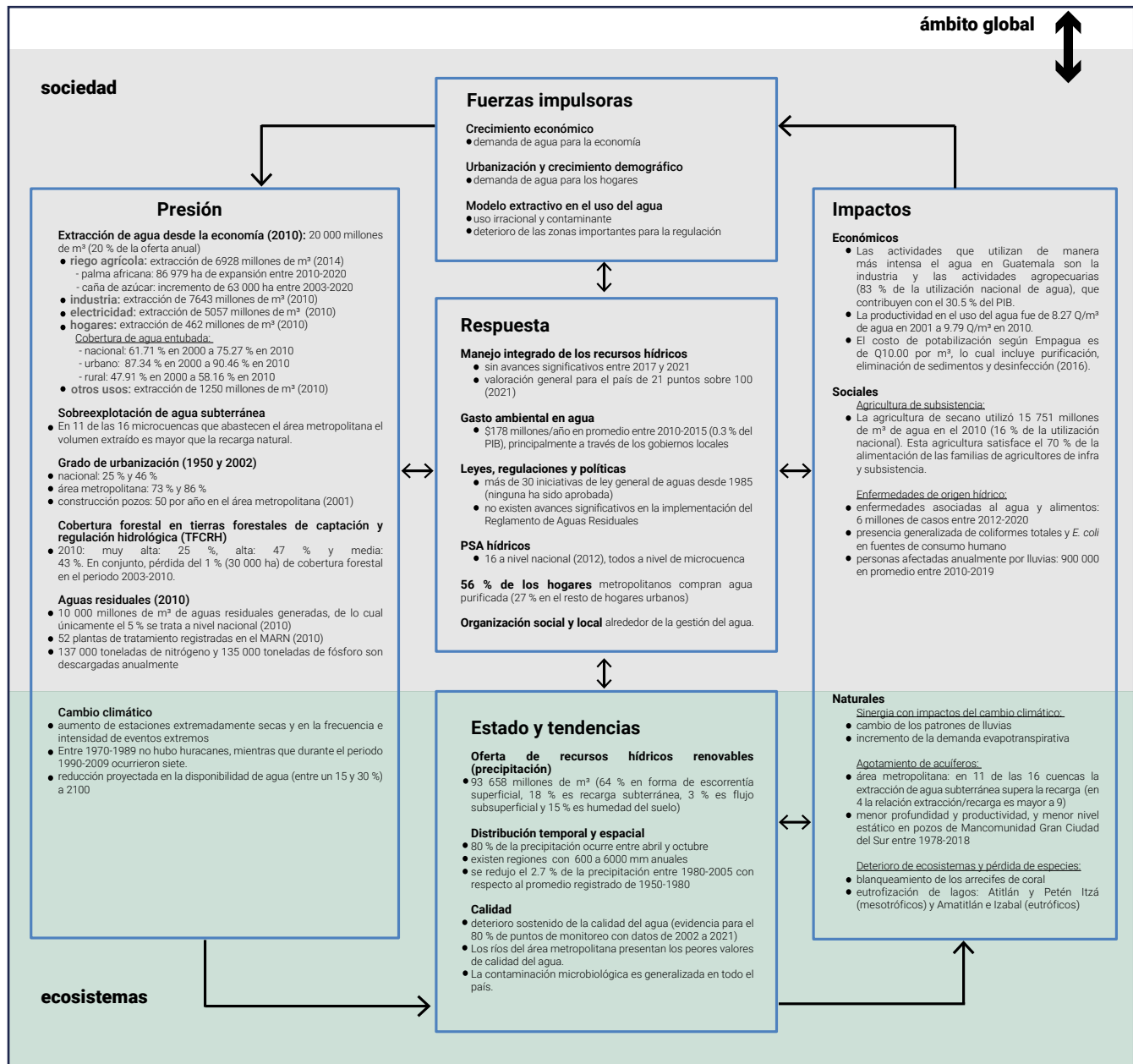
un régimen institucional fuerte y adecuado para su manejo. La gestión del agua en el país se rige por disposiciones dispersas que se encuentran en diferentes cuerpos legales que no han sido creados con la intención de manejar y planificar integralmente el recurso. La falta de una Ley General de Aguas hace que en la actualidad no exista una institución con competencia legal para otorgar derechos de uso y aprovechamiento, establecer tarifas o resolver conflictos, a excepción de las municipalidades que poseen la atribución legal de regular el tema del agua potable y saneamiento. Aunque en las últimas tres legislaturas se ha presentado, en promedio, una propuesta de ley de aguas por año, no hay respuestas concretas en este sentido.

Una síntesis de la situación actual del país, amparada en el marco analítico del enfoque FI-PEIR, se muestra en la **figura 28**.



Figura 28

Síntesis de indicadores FI-PEIR y relaciones causa-efecto de la situación del agua en el sistema socioecológico



Fuente: elaboración propia

4. Tensiones estructurales y cursos de acción

En términos generales, se han identificado al menos cuatro tensiones estructurales alrededor de los recursos hídricos, una en el contexto internacional y las otras tres a nivel nacional. Estas

tensiones, junto a los posibles cursos de acción e instrumentos de política asociados, se presentan de manera resumida en la **tabla 8**.

Tabla 8
Tensiones estructurales en torno al agua en los ámbitos internacional y nacional y propuestas de cursos de acción

Nivel de análisis	Tensiones estructurales	Cursos de acción y posibles instrumentos de política pública
contexto internacional	1. derechos y responsabilidades de Guatemala como país productor de agua, con respecto a las aguas transfronterizas	• evaluación de la Política de Estado en materia de cursos de agua internacionales • diseño de instrumentos de gestión compartida de cuencas
	2. recurso con calidad de bien público que en la práctica se asume como bien privado	• implementación de modelos de gobernanza del agua inclusivos y participativos • reconocimiento de formas tradicionales y comunitarias de gestión del agua • inventario de fuentes de agua y usuarios
contexto nacional	3. sostenibilidad financiera de los sistemas de agua potable y saneamiento	• Ley General de Aguas • estimación y socialización de los costos asociados a los servicios de agua • sensibilización social y promoción de modelos de gobernanza del agua inclusivos y participativos
	4. énfasis en la oferta (suministro) del recurso para las distintas actividades vs. poca atención a elementos asociados a la demanda (prioridades, eficiencia en el uso)	• Ley General de Aguas • diálogo social sobre las prioridades en el uso del recurso • planificación territorial del recurso, a nivel de micro y subcuencas • diseño e implementación de programas de incentivos para mejorar la eficiencia en el uso del recurso

Fuente: elaboración propia

Tensión 1: Derechos y responsabilidades de Guatemala como país productor de agua, con relación a los países vecinos

Esta tensión se vincula al contexto internacional y está asociada al hecho de que el agua es un recurso móvil. Por un lado, todas las cuencas que existen en el territorio nacional (38) nacen en el país, lo que hace de Guatemala básicamente un país productor de agua. Por el otro lado, el 46 % de las cuencas nacionales se comparte con los países vecinos, principalmente México, Belice y El Salvador. La primera tensión estructural tiene

que ver, por lo tanto, con la definición de derechos y responsabilidades en la gestión de las aguas transfronterizas (ríos y acuíferos transfronterizos), entre los países que producen el agua y aquellos que reciben el recurso.

A nivel internacional, los principales instrumentos que regulan la administración de las aguas consideradas internacionales, transfronterizas o compartidas son: (I) la Convención de las Naciones Unidas sobre el derecho de los usos de los cursos de agua internacionales para fines distintos de la navegación (Asamblea General de las Naciones

Unidas, 1997), que entró en vigor en el 2014; y (II) el Convenio sobre la Protección y Utilización de los Cursos de Agua Transfronterizos y de los Lagos Internacionales (Comisión Económica para Europa de las Naciones Unidas, 1992). Ambos instrumentos enfatizan la importancia y deber general de cooperar y animan a la suscripción de acuerdos bilaterales entre los Estados correspondientes, con el propósito de definir la gestión conjunta de las aguas transfronterizas.

No obstante, las evaluaciones realizadas para la región identifican riesgos altos en cuanto a la gobernanza de las aguas compartidas, ya que existe una falta generalizada de acuerdos específicos prácticamente para todos los ríos (Colom, 2019), lo cual ilustra los desafíos y tensiones que existen al respecto. Ninguna de las 23 fuentes de agua superficial o de los 18 acuíferos compartidos en Centroamérica cuenta con un régimen legal formal para su desarrollo (GWP, 2016).

Este tema es importante, ya que la producción de agua en cantidad y calidad no solo requiere de medidas dirigidas hacia el recurso como tal, sino también de una gestión adecuada del territorio. Estas actividades presuponen costos e inversiones que, en este contexto, también benefician a otros países, por lo que parece razonable que esas externalidades positivas sean reconocidas y compensadas por las naciones vecinas.

En este sentido, la Política de Estado en la materia establece que el uso de cada curso de agua internacional deberá ser negociado a través de un tratado bilateral específico, en el cual se garantice, en primer lugar, la satisfacción «de la población, de la economía y del ambiente» guatemaltecos, por lo que no se podrá obligar «a proporcionar cantidad y calidad a sus vecinos» (Gobierno de Guatemala, 2012, p. 6). Agrega, además, que a través de los mismos se deberían establecer esquemas de compensación por la provisión de servicios ambientales que «permitan proteger los bienes y servicios hídricos» (Gobierno de Guatemala, 2012, p. 6) que se generan en el territorio nacional y benefician a países vecinos.

Tensión 2: Recurso con calidad de bien público que en la práctica se asume como bien privado

En el ámbito nacional, una primera tensión estructural tiene que ver con la cualidad constitucional del agua como bien de dominio público y que contrasta con las transacciones de orden privado. En el país, son comunes las compras de propiedades para poseer un nacimiento o una fuente de agua, o la compra de los nacimientos mismos. Esto no solo se convierte en una tensión estructural, pues el acceso al agua no se debería negar a una comunidad o población vecina a una fuente de agua, sino que también se constituye en un desafío legal importante que debe conciliar estas dos realidades.

Tensión 3: Sostenibilidad financiera de los sistemas de agua potable y saneamiento

Una segunda tensión estructural en el ámbito nacional tiene que ver con el trato y la visión social del agua. Si bien en el 2010 la Asamblea General de las Naciones Unidas reconoció formalmente que el acceso al agua y al saneamiento es un derecho humano básico para la vida y la dignidad de las personas, que debe ser garantizado para todas y todos, también es cierto que existe una tensión con respecto a la sostenibilidad financiera de los servicios y la recuperación de costos, entre otros. Los servicios municipales de agua suelen estar altamente subsidiados y existe poca disposición social a pagar y contribuir con la gestión de los aspectos necesarios para asegurar un servicio de calidad.

Este derecho plantea que los gobiernos deben hacer su mejor esfuerzo para que las y los habitantes tengan acceso a estos servicios, no necesariamente de forma gratuita, pero sí a un costo accesible para las familias. De acuerdo con Naciones Unidas (s. f.), el coste del agua no debería de superar el 3 % de los ingresos de los hogares. En ese sentido, es necesario desarrollar procesos de concientización y educación ambiental que informen a los usuarios sobre la importancia del sostenimiento de los sistemas de agua y saneamiento, que deberían incluir

la gestión de las áreas de importancia para la regulación hidrológica. En ese sentido, es importante distinguir entre «pagar por el agua» y «pagar por el servicio de agua».

En este contexto, es deseable que el costo total del suministro de agua sea estimado y conocido, de manera que el recurso se gestione de forma racional. En todo caso, los usuarios deberían asumir los costos totales, aunque se considera que los subsidios generalizados no necesariamente producen distorsiones en la demanda de agua; los subsidios a grupos desfavorecidos, por su parte, se consideran relevantes (GWP, 2000). Integrar de manera adecuada el derecho humano al agua y el reconocimiento del recurso como un bien económico supone generar una normativa que establezca claramente los alcances y condiciones bajo las cuales estos atributos pueden desarrollarse efectivamente.

Tensión 4: Énfasis en la oferta (suministro) del recurso para las distintas actividades vs. poca atención a elementos asociados a la demanda (prioridades, eficiencia en el uso)

Finalmente, la tercera tensión estructural en el contexto local está asociada a dos visiones contrapuestas respecto al énfasis en la gestión del recurso. La primera pone el énfasis en la oferta del recurso y visualiza al medio natural como un

«productor» de la «materia prima agua», en tanto que los costos de protección y regeneración pocas veces son considerados o internalizados (Margat, 1987). En este caso, las acciones se dirigen hacia promover la ampliación de las capacidades de transporte y distribución para los distintos usos. Por tal razón, este enfoque genera desequilibrios importantes, tales como la sobreexplotación de las aguas subterráneas y la contaminación de las fuentes superficiales.

La segunda visión hace énfasis en la demanda del recurso, motivada por su escasez relativa en términos cuantitativos y/o cualitativos, e intenta generar una nueva relación entre la sociedad y el agua. En este enfoque, la gestión se basa en la eficiencia en su uso y promueve la participación ciudadana y el debate público en su gestión. Asimismo, cuestiona las prioridades y dirige la atención hacia la necesidad de considerar el agua como bien económico susceptible de tener un precio, como mecanismo para promover la eficiencia en los diversos usos competitivos.

Por otro lado, se hace hincapié en la necesidad de regular las demandas y diseñar políticas que incentiven una mayor eficiencia y un manejo integral del agua. En un contexto de cambio climático, en el que se proyectan reducciones en la disponibilidad del recurso, este enfoque puede jugar un rol estratégico.



5. Consideraciones finales

Guatemala debe asumir la gestión del agua como una tarea fundamental e impostergable, dada su importancia para la economía del país y sus vínculos directos con la promoción y desarrollo de las personas y de la sociedad. Actividades como la agricultura, la generación de hidroelectricidad o buena parte de las actividades industriales no podrían desarrollarse sin una provisión sostenida del recurso.

De acuerdo con el Programa Mundial de Evaluación de los Recursos Hídricos de la Unesco (WWAP) (2019), por ejemplo, las presiones insostenibles sobre los recursos hídricos mundiales y sus ritmos de degradación sobre la calidad del recurso ponen en grave riesgo el 45 % del PIB global y el 40 % de la producción mundial de cereales. La Organización Mundial de la Salud (2022) afirma, por otra parte, que la mejora en la gestión de los recursos hídricos, principalmente en el abastecimiento y acceso al recurso, puede impulsar el crecimiento económico de los países y contribuir en gran medida a la reducción de la pobreza.

Hacer frente a los desafíos planteados en este informe supone la puesta en marcha y consolidación de un «sistema de gestión y gobernanza del recurso que se base en medidas de política, legislación y administración socialmente acordadas» (GEA, 2011, p. 7), que dirijan y garanticen el adecuado uso, aprovechamiento y protección del recurso, y respondan a las demandas y expectativas de los distintos actores sociales.

Más allá de la falta de una Ley General de Aguas que regule el uso y el aprovechamiento del recurso, a pesar de ser un mandato constitucional (artículo 127), se requiere en la práctica del diseño e implementación de mecanismos e instrumentos que permitan la priorización de sus usos a nivel territorial, una mayor capacidad para planificar y regular el uso y aprovechamiento del recurso a partir de información oportuna, la promoción de un uso más eficiente y la reducción efectiva de la contaminación de las fuentes de agua. Es evidente que todo esto requiere de la construcción de acuerdos sociales y sectoriales que fortalezcan la gobernabilidad del recurso con miras a garantizar el acceso justo, responsable y equitativo al agua.



Referencias

- AFP. (24 de noviembre de 2017). «Islas flotantes» de basura en el caribe hondureño, testimonio de catástrofe ambiental. *elPeriódico*. <https://elperiodico.com.gt/nacionales/2017/11/24/islas-flotantes-de-basura-en-el-caribe-hondureno-testimonio-de-catastrofe-ambiental/>
- Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional. (2012). *Sistematización de experiencias de implementación de mecanismos de compensación por servicios ambientales. Informe final* [manuscrito no publicado]. Proyecto de apoyo a políticas y regulaciones para el crecimiento económico-PRS-Componente. Políticas ambientales.
- Argueta, D. (2011). *Caracterización fisicoquímica de la laguna de Ayarza, ubicada entre los municipios de Casillas y San Rafael Las Flores del departamento de Santa Rosa, de la República de Guatemala*. Universidad de San Carlos de Guatemala.
- Asamblea General de las Naciones Unidas. (1997). *Convención sobre el derecho de los usos de los cursos de agua internacionales para fines distintos de la navegación*.
- Asociación de Azucareros de Guatemala. (2023). *Ensuring availability and sustainable management of water and sanitation for all. Case study: Activities by the Guatemala sugar agroindustry supporting the implementation of the Sustainable Development Goal 6 (SDG 6) of the United Nations 2030 Agenda for Sustainable Development*.
- Autoridad para el Manejo Sustentable de la Cuenca del Lago de Atitlán y su Entorno. (2016). *Informe «Monitoreo Limnológico 2016»*. Departamento de Investigación y Calidad Ambiental (DICA). <https://www.amsclae.gob.gt/wp-content/uploads/2016/12/limnologico2016.pdf>
- _____. (2017). *Informe «Monitoreo Limnológico 2017»*. Departamento de Investigación y Calidad Ambiental (DICA). <https://www.amsclae.gob.gt/wp-content/uploads/2018/10/limnologico2017.pdf>
- Autoridad para el Manejo Sustentable de la Cuenca y el Lago de Amatitlán. (2016a). *Estado de los ríos de la cuenca del lago de Amatitlán, 2016*.
- _____. (2016b). *Informe Monitoreo Limnológico 2016*.
- _____. (2017a). *Informe Monitoreo Limnológico 2017*.
- _____. (2017b). *Monitoreo de calidad del agua mensual del lago de Amatitlán 2017* [base de datos].
- _____. (2018). *Monitoreo de calidad del agua mensual del lago de Amatitlán 2017* [base de datos].
- Autoridad para el Manejo y Desarrollo Sostenible de la Cuenca del Lago Petén Itzá. (2016). *Monitoreo de calidad de agua del lago Petén Itzá* [base de datos].
- _____. (2017). *Monitoreo de calidad de agua mensual del lago Petén Itzá* [base de datos].
- Banco Mundial. (2017). *Diagnóstico de agua, saneamiento e higiene y su relación con la pobreza y nutrición en Guatemala*.

- Barillas, E. (2022). *El antes y el después de la gestión de desastres en Guatemala*. Programa Sabático, Colorado School of Mines, Golden.
- Bates, B. C., Kundzewicz, Z. W., Wu, S. y Palutikof, J. P. (2008). *El cambio climático y el agua. Documento técnico del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático*. Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático.
- Bonilla, B., Carranza, F., Flores, J., Gonzales, C., Arias, A., Chávez, J., Springer, J. y Sermeño-Chicas, J. M. (2010). *Metodología analítica para la determinación del índice de calidad del agua (ICA)*. Editorial Universitaria, Universidad de El Salvador. <https://ri.ues.edu.sv/id/eprint/9095/>
- Brocard, G., Bettini, A., Pfeifer, H. y Adatte, T. (2016). Eutrofización y contaminación por cromo en la laguna de Chichoj, Alta Verapaz, Guatemala. *Revista Guatemalteca de Ciencias de la Tierra*, 3, 20-43.
- Brown, R., MacClelland, N., Deininger, R. y Tozer, R. (1970). A water quality index – Do we dare? *Water sewage Works*, 117(10), 339-343. <https://es.scribd.com/document/389699238/A-Water-Quality-Index-Do-we-dare-BROWN-R-M-1970>
- Carrera, J. L. (2017). Pagos por servicios ambientales en Guatemala: Surgimiento, estado actual y principales resultados. En D. Ezzine, J. Le Coq y A. Guevara (coords.), *Los pagos por servicios ambientales en América Latina. Gobernanza, impactos y perspectivas* (pp. 337-359). Universidad Iberoamericana Ciudad de México.
- Centro Universitario de Occidente. (2009). *Alternativas organizativas ciudadanas para la gestión del abasto del agua, en comunidades rurales indígenas del occidente de Guatemala*. Universidad de San Carlos de Guatemala.
- Comisión Económica para América Latina y el Caribe. (2011). *La economía del cambio climático en Centroamérica. Reporte 2011*.
- Comisión Económica para Europa de las Naciones Unidas. (s. f.). *El convenio del agua* [brochure].
- _____. (1992). *Convenio sobre la Protección y Utilización de los Cursos de Agua Transfronterizos y de los Lagos Internacionales*.
- Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization. (2011). *Water: Science and solutions for Australia*. CSIRO. <https://www.csiro.au/en/Research/Environment/Water/Water-Book>
- Coló, G. (2014). *Estudio de los niveles freáticos del área norte y este de la ciudad capital* [tesis de grado, Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala].
- Colom, E. (2019). *Políticas públicas de las aguas transfronterizas en la región centroamericana*. Global Water Partnership Centroamérica.
- Corman, J. R., Carlson, E., Dix, M., Girón, N., Roegner, A., Veselá, J., Chandra, S., Elser, J. J. y Rejmánková, E. (2015). Nutrient dynamics and phytoplankton resource limitation in a deep tropical mountain lake. *Inland Waters*, 5(4), 371-386. doi: 10.5268/IW-5.4.843
- D'Andrea, A. (s. f.). *Water resources management and legal pluralism in Guatemala*. Development Law Service, Food and Agriculture Organization of the United Nations.

- Dix, M., Dix, M., Orozco, M., Cabrera, D., Bocel, E., Toledo, A. y Symonds, E. (2012). *El lago Atitlán, Guatemala: Su estado ecológico, octubre 2009-diciembre 2011*. Universidad del Valle de Guatemala.
- EFE. (27 de julio de 2012). La situación de los manglares en Guatemala es 'alarmante'. *Hazte Eco*. https://compromiso.atresmedia.com/hazte-eco/noticias/situacion-manglares-guatemala-alarmante_201207275943d1d20cf26e79abb1dc0e.html
- _____. (19 de septiembre de 2019). Basura de Guatemala recorre 472 kilómetros en ríos hasta llegar a lugares paradisíacos de Honduras. *Prensa Libre*. <https://www.prensalibre.com/internacional/basura-de-guatemala-recorre-472-kilometro-en-rios-hasta-llegar-a-lugares-paradisicos-de-honduras/>
- Falkenmark, M. y Rockstrom, J. (2006). The new blue and green water paradigm: Breaking new ground for water resources planning and management. *Water Resources Planning and Management*, 132(3), 129.
- Ferrans, L., Caussi, S., Cifuentes, J., Avellan, T., Dornack, C. y Hettiarachchi, H. (2018). *Wastewater management in the basin of Lake Atitlan: A background study (UNU-Flores Working Paper Series 6. Dresden)*. United Nations University e Institute for Integrated Management of Material Fluxes and of Resources.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations e International Water Management Institute. (2018). *More people, more food, worse water? A global review of water pollution from agriculture*.
- Fundación para la Conservación del Agua de la Región Metropolitana de Guatemala. (2022). *Informe del estado del agua de la Región Metropolitana de Guatemala. El agua nos une*. <https://funcagua.org.gt/2022/03/22/2022-informe-del-estado-del-agua-de-la-region-metropolitana-de-guatemala-2022-funcagua-url-uvg-wwf/>
- Gabinete Específico del Agua de la Presidencia de la República de Guatemala. (2011). *Guatemala: Gabinete Específico del Agua, Política Nacional del Agua y su estrategia*. Gobierno de Guatemala.
- Galindo, C. (2011). *Indicadores de contaminación en tres lagos de Guatemala* [tesis de grado, Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia, Universidad de San Carlos de Guatemala]. <https://biblioteca-farmacia.usac.edu.gt/library/index.php?title=3473&query=@title=Special:GSMSearchPage@process=@autor=GARCIA,%20CLAUDIA%20@mode=&recnum=13>
- Galindo, H. y Molina, J. (2007). *Valoración estratégica sobre la importancia del agua potable y el saneamiento básico para el desarrollo, la salud y la educación de Guatemala*. Red de Agua y Saneamiento de Guatemala.
- Gálvez, J. (2021). Crisis del agua, riesgo vital y ley de aguas. En: Instituto de Investigación en Ciencias Naturales y Tecnología, *Boletín de Ciencias Naturales y Tecnología* (Ensayos y análisis sobre el agua en Guatemala) (2.ª edición). Universidad Rafael Landívar, Vicerrectoría de Investigación y Proyección.
- García, G. (2002). *La contaminación del agua*.
- Girón, N. y Castellanos, E. (2006). Calidad microbiológica del agua del lago de Atitlán para los años 2001-2006. *Revista de la Universidad del Valle de Guatemala*, 19, 9.

- Global Water Partnership. (2000). *Manejo integrado de recursos hídricos*. <https://www.gwp.org/globalassets/global/toolbox/publications/background-papers/04-integrated-water-resources-management-2000-spanish.pdf>
- _____. (2013). *Guía para la aplicación de la Gestión Integrada del Recurso Hídrico (GIRH) a nivel municipal*. https://www.gwp.org/globalassets/global/gwp-cam_files/guia-girh-a-escala-municipal.pdf
- _____. (2016). *Gestión integrada de los recursos hídricos en Centroamérica: Gestionando las aguas transfronterizas como desafío primordial*. Technical Focus Paper.
- _____. (2021). *Estado de la implementación de la gestión integrada de los recursos hídricos en Centroamérica y República Dominicana al 2020*. <https://www.unepdhi.org/wp-content/uploads/sites/2/2021/09/SDG6.5.1-status-Central-America-2020-full->
- Gobierno de Guatemala. (2012). *Política de Estado en materia de cursos de agua internacionales: Acuerdo Gubernativo 117-2012*. <https://faolex.fao.org/docs/pdf/gua200946.pdf>
- Hijmans, R. J., Cameron, S. E., Parra, J. L., Jones, P. G. y Jarvis, A. (2005). Very high resolution interpolated climate surfaces for global land areas. *International Journal of Climatology*, 25(15), 1965-1978. <https://doi.org/10.1002/joc.1276>
- 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. y Kondash, A. J. (2022). A participatory science approach to evaluating factors associated with the occurrence of metals and PFAS in Guatemala City tap water. *Int. J. Environ. Res. Public Health*, 19(10), 6004. <https://doi.org/10.3390/ijerph19106004>
- Instituto de Agricultura, Recursos Naturales y Ambiente. (2009). *Perfil ambiental de Guatemala 2008-2009*. Universidad Rafael Landívar.
- _____. (2012). *Perfil ambiental de Guatemala 2010-2012. Vulnerabilidad local y creciente construcción de riesgo*. Universidad Rafael Landívar.
- _____. (2015). *Balance hidrológico de las subcuencas de la República de Guatemala. Bases fundamentales para la gestión del agua con visión a largo plazo*. Universidad Rafael Landívar.
- Instituto de Agricultura, Recursos Naturales y Ambiente e Instituto de Incidencia Ambiental. (2004). *Perfil ambiental de Guatemala. Informe sobre el estado del ambiente y bases para su evaluación sistemática*. Universidad Rafael Landívar. <http://www.infoiarna.org.gt/publicacion/perfil-ambiental-de-guatemala-informe-sobre-el-estado-del-ambiente-y-bases-para-su-evaluacion-sistematica/>
- _____. (2005). *Situación del recurso hídrico en Guatemala. Documento técnico del Perfil ambiental de Guatemala*. Universidad Rafael Landívar. <https://www.url.edu.gt/publicacionesurl/pPublicacion.aspx?pb=221>
- _____. (2006). *Perfil ambiental de Guatemala 2006. Tendencias y reflexiones sobre la gestión ambiental*. Universidad Rafael Landívar. <https://www.url.edu.gt/publicacionesurl/FileCS.ashx?Id=41022>
- 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. <https://www.url.edu.gt/publicacionesurl/FileCS.ashx?Id=40197>

- Instituto de Investigación en Ciencias Naturales y Tecnología. (2019). *Cuenta experimental de Ecosistemas* [base de datos]. Universidad Rafael Landívar.
- _____. (2022). *Informe técnico final de calidad de agua. Proyecto: «Hacia una gobernanza territorial en áreas de expansión de la industria palmera»*. Universidad Rafael Landívar.
- Instituto de Investigación en Ciencias Naturales y Tecnología y Action Aid. (2022). *Análisis de la dinámica de expansión del cultivo de palma africana (Elaeis guineensis) en Guatemala para el periodo 2010-2020. Informe final. Proyecto: «Hacia una gobernanza territorial en áreas de expansión de la industria palmera»*. Universidad Rafael Landívar.
- Instituto de Investigación y Proyección sobre Ambiente Natural y Sociedad. (2016). *Gota a gota, el futuro se acota: Una mirada a la disponibilidad presente y futura del agua en Guatemala*. Universidad Rafael Landívar.
- _____. (2017). *Evaluación ambiental estratégica (EAE) de las subcuencas Las Vacas y Beleyá-Plátanos-Motagua*. Universidad Rafael Landívar.
- Instituto de Investigación y Proyección sobre Ambiente Natural y Sociedad, Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura y McGill University. (2015). *Análisis sistémico y territorial de la seguridad alimentaria y nutricional en Guatemala: Consideraciones para mejorar prácticas y políticas públicas*. Editorial Cara Parens, Universidad Rafael Landívar.
- Instituto Nacional de Bosques. (2005). *Mapa de tierras forestales de captación y regulación hidrológica*.
- Instituto Nacional de Estadística. (2000). *Encuesta Nacional de Condiciones de Vida, Encovi 2000*. <https://www.ine.gob.gt/sistema/uploads/2014/01/15/v8ukWQ78M4VJrnYqyN2oCumMy1>
- _____. (2006). *Encuesta Nacional de Condiciones de Vida, Encovi 2006*.
- _____. (2011). *Encuesta Nacional de Condiciones de Vida, Encovi 2011*.
- _____. (2012). *Compendio Estadístico Ambiental 2011*. <http://www.infoiarna.org.gt/publicacion/compendio-estadistico-ambiental-2011/>
- _____. (2014). *Compendio Estadístico Ambiental 2013*. <https://unstats.un.org/unsd/environment/Compendia/Guatemala%20Compendium%20of%20environment%20statistics%202013%20Spanish.pdf>
- _____. (2015a). *Compendio Estadístico Ambiental 2014*. <https://www.ine.gob.gt/sistema/uploads/2015/12/18/umjnrzbbveh3f5avv9jrmbyufdebt636u.pdf>
- _____. (2015b). *República de Guatemala: Encuesta Nacional de Condiciones de Vida 2014*. <https://www.ine.gob.gt/sistema/uploads/2016/02/03/bwc7f6t7asbei4wmuxonr0oscpshkyb.pdf>
- _____. (2018). *XII Censo Nacional de Población y VII de Vivienda 2018*. <https://www.ine.gob.gt/sistema/uploads/2021/11/19/202111192139096rGNQ5SfAlepmPGfYTovW9MF6X2turyT.pdf>
- 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)* [base de datos]. Universidad Rafael Landívar.

- Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología. (2021). *Monitoreo de calidad de agua de ríos de Guatemala* [base de datos].
- ____ (2022). *Puntos de monitoreo de hidroquímica* [base de datos]. <https://insivumeh.gob.gt/?p=56154>
- Lemus, S. (2011). *Evaluación del fitoplancton como potencial bioindicador de la calidad del agua del lago de Izabal, Guatemala*. Universidad de San Carlos de Guatemala.
- León, R. (2003). *Análisis de contaminación de peces en el río Motagua (contaminación de peces y lesiones gastrointestinales y dermatológicas)*. <https://digi.usac.edu.gt/bvirtual/informes/coyuntura/INF-2003-013.pdf>
- López, L. (2008). *Estudio limnológico del lago de Güija, determinación de su estado de eutrofización*. Universidad de San Carlos de Guatemala.
- Maria, A., Acero, J., Aguilera, A. y García, M. (2018). *Estudio de la urbanización en Centroamérica: Oportunidades de una Centroamérica urbana*. Banco Mundial.
- Margat, J. (1987). Les trois stades de l'économie de l'eau. En J. Rodda y N. Matalas (eds.), *Rome Symposium on Water for the Future: Hydrology in Perspective* (pp. 47-51). International Association of Hydrological Sciences, Publication 164, Institute of Hydrology.
- Martínez López, J. F. (16 y 17 de agosto de 2011). *Transformaciones urbanas en Guatemala 1950-2002*. Reunión de expertos sobre «Población, territorio y desarrollo sostenible», Comisión Económica para América Latina y el Caribe, Santiago.
- 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*. <https://www.maga.gob.gt/download/Cobertura-vegetal-uso-de-la-tierra-21.pdf>
- Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales, Instituto de Agricultura, Recursos Naturales y Ambiente y Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente. (2009). *Informe Ambiental del Estado -GEO Guatemala 2009*. <http://www.infoiarna.org.gt/wp-content/uploads/2017/11/Coedicin25.InformeAmbientaldelEstadodeGuatemalaGEOGuatemala2009.pdf>
- Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales. (2011). *Informe Ambiental del Estado de Guatemala 2011*.
- ____ (2013). *Informe técnico: Estudio de la cobertura de mangle en la República de Guatemala*.
- ____ (2017). *Informe Ambiental del Estado 2016, Guatemala*. <https://www.samuels.gt/informeambiental2016.pdf>
- ____ (2021). *Viceministerio del Agua presenta avances*. Gobierno de Guatemala, Sala de Prensa. <https://prensa.gob.gt/comunicado/viceministerio-del-agua-presenta-avances#:~:text=Mart%C3%ADn%20Méndez%2C%20viceministro%20del%20Agua,Coyolate%2C%20y%20Xayá%2DPixcayá>
- Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social. (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

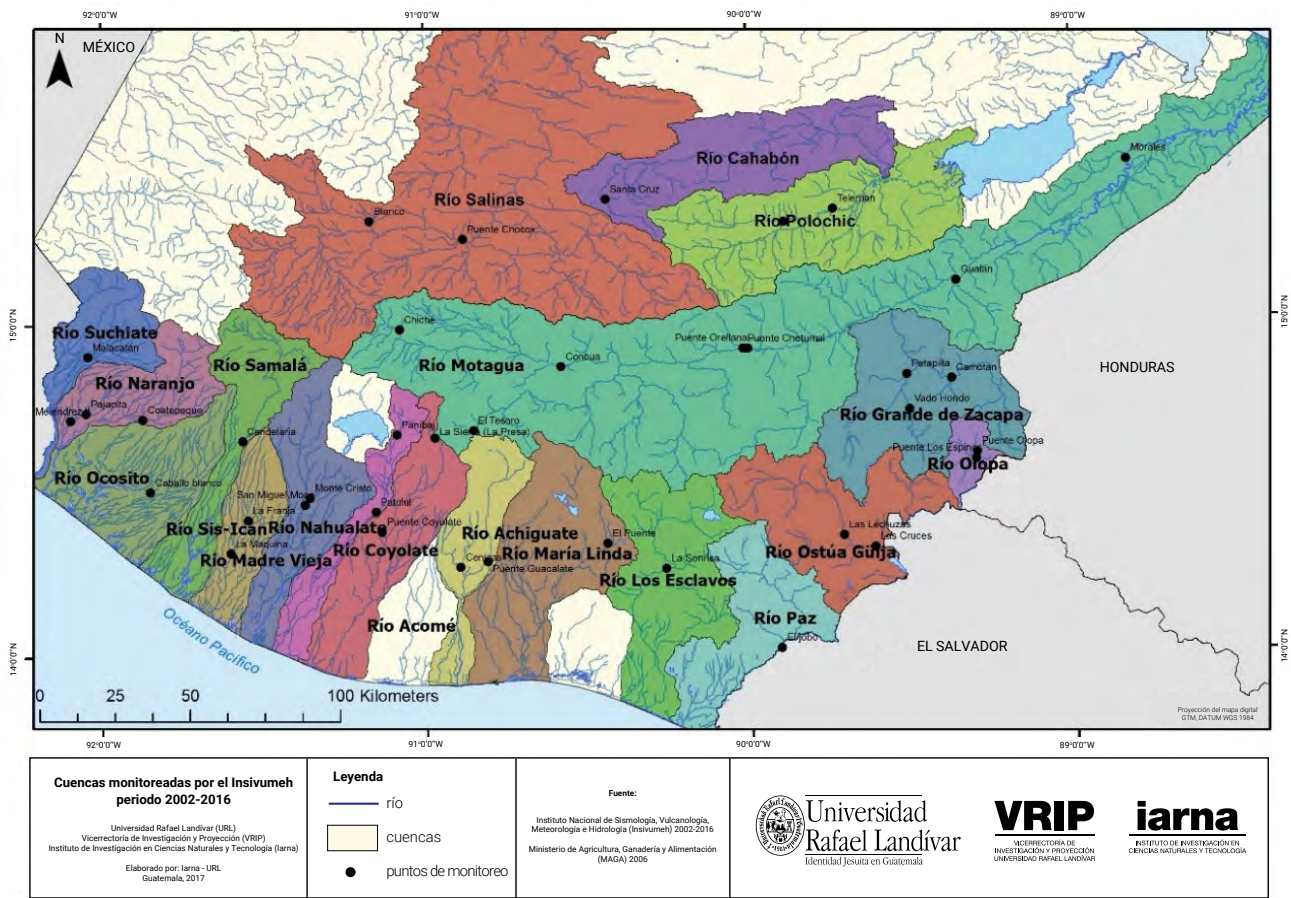
- Miranda, S. (2014). *Estimación de la liberación de contaminantes al agua por las diferentes actividades económicas en Guatemala (2001-2010)* [tesis de grado, Facultad de Ciencias Ambientales y Agrícolas, Universidad Rafael Landívar]. Repositorio Universidad Rafael Landívar. <http://biblio3.url.edu.gt/Tesario/2014/06/15/Miranda-Sandra.pdf>
- Naciones Unidas. (s. f.). *Decenio internacional para la acción «El agua fuente de vida» 2005-2015. El derecho humano al agua y al saneamiento*. https://www.un.org/spanish/waterforlifedecade/human_right_to_water.shtml#:~:text=El%20agua%20y%20los%20servicios,de%20los%20ingresos%20del%20hogar
- Oakley, S. y Saravia, P. (2021). Manejo integrado de aguas residuales dentro y fuera la cuenca del lago Atitlán. *Agua, Saneamiento & Ambiente*, 16(1), 46-63.
- Obrist-Farner, J., Brenner, F., Curtis, J., Kenney, W. y Salvinelli, C. (2019). Recent onset of eutrophication in Lake Izabal, the largest water body in Guatemala. *Journal of Paleolimnology*, 62(64), 359-372.
- Oliva, B. (2005). *Contaminación en el lago Peten Itzá*. https://www.academia.edu/8697311/Contaminaci%C3%B3n_en_el_lago_Pet%C3%A9n_Itz%C3%A1_Guatemala
- Oliva, W. y EFE. (23 de octubre de 2017). Honduras protesta de nuevo por suciedad del Motagua. *Prensa Libre*. <https://www.prensalibre.com/guatemala/comunitario/honduras-protesta-de-nuevo-por-suciedad-del-motagua/>
- Organization for Economic Cooperation and Development. (2012). *Water governance in Latin America and the Caribbean: A multi-level approach (OECD Studies on Water)*. OECD Publishing.
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2018). *Progresos en el nivel de estrés hídrico: Valores de referencia mundiales para el indicador 6.4.2 de los ODS*. ONU Agua.
- Organización Mundial de la Salud. (21 de marzo de 2022). *Agua para consumo humano*. <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/drinking-water>
- Padilla, D. (2019). *Política del agua en Guatemala: una radiografía crítica del Estado*. Editorial Cara Parens, Universidad Rafael Landívar.
- Paredes, C. (15 de octubre de 2019). Estas son las amenazas de los humedales de Monterrico. *Guatevisión*. <https://www.guatevision.com/nacionales/departamentos/estas-son-las-amenazas-de-los-humedales-de-monterrico>
- Pérez, C. (19 de octubre de 2018). Contaminación por desechos sólidos en el lago de Amatitlán supera a la del año pasado. *Prensa Libre*. <https://www.prensalibre.com/ciudades/contaminacion-por-desechos-solidos-en-el-lago-de-amatitlan-supera-a-la-del-ao-pasado/>
- Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo. (2006). *Informe de Desarrollo Humano 2006. Más allá de la escasez: Poder, pobreza y la crisis mundial del agua*. <https://hdr.undp.org/system/files/documents/hdr2006escompletopdf.pdf>
- Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente. (2021). *Progresos en la gestión integrada de los recursos hídricos (Serie de seguimiento de los avances para la consecución del ODS 6: actualización sobre el indicador mundial 6.5.1 y necesidades de aceleración)*. https://www.unwater.org/sites/default/files/app/uploads/2021/09/SDG6_Indicator_Report_651_Progress-on-Integrated-Water-Resources-Management_2021_Executive-Summary_ES.pdf

- Programa Mundial de Evaluación de los Recursos Hídricos de la Unesco. (2019). *Informe mundial de las Naciones Unidas sobre el desarrollo de los recursos hídricos 2019: No dejar a nadie atrás*. Unesco. <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000367304>
- Rivera, J. L. (2008). *Determinación de los índices de calidad y coeficientes cinéticos de auto depuración del agua, en la parte alta de la cuenca del río Naranjo, ubicada en los departamentos de San Marcos y Quetzaltenango* [tesis de maestría, Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala]. <https://es.scribd.com/document/534891244/08-0391-MT>
- 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 y A. Santizo (eds.), *Primer reporte de evaluación del conocimiento sobre cambio climático en Guatemala* (pp. 40-61). Editorial Universitaria, Universidad del Valle de Guatemala.
- Rodas, A. E. (2014). Evaluación del estado trófico del lago de Ayarza utilizando el modelo de simulación WASP 7.41. *Agua, Saneamiento y Ambiente*, 9(1), 43-47. <https://doi.org/10.36829/08ASA.v9i1.1465>
- Rodas-Pernillo, E., Vásquez-Moscoso, C. y García, O. (2020). Dinámica del consumo y aporte de nutrientes de fitoplancton, dominado por *Microcystis* sp. (Cyanophyceae) del lago de Amatitlán. *Ciencia, Tecnología y Salud*, 7(1). <https://doi.org/10.36829/63CTS.v7i1.709>
- Romero-Oliva, C. S., Contardo-Jara, V., Block, T. y Pflugmacher, S. (2014). Accumulation of microcystin congeners in different aquatic plants and crops- A case study from lake Amatitlán, Guatemala. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 102, 121-128. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2014.01.031>
- Secretaría de Planificación y Programación de la Presidencia. (2006). *Estrategia para la Gestión Integrada de los Recursos Hídricos en Guatemala. Diagnóstico*. <http://www.sintet.net/biblioteca/estrategia-para-la-gestion-integrada-de-los-recursos-hidricos-de-guatemala-2006>
- Sistema de Información Gerencial en Salud. (2020). *Morbilidad por IRAs y ETAs*. Sigsa. <https://sigsa.mspas.gob.gt/datos-de-salud/morbilidad/morbilidad-por-iras-y-etas>
- Sistema de Manejo de Información en Caso de Emergencia o Desastre. (s. f.). *Registro 2008-2020* [base de datos]. Conred y Sismicede. <https://conred.gob.gt/sismicede/>
- Torres, P., Cruz, C. H. y Patiño, P. (2009). Índices de calidad de agua en fuentes superficiales utilizadas en la producción de agua para consumo humano. Una revisión crítica. *Revista Ingenierías Universidad de Medellín*, 8(15), 79-94. <http://www.scielo.org.co/pdf/rium/v8n15s1/v8n15s1a09.pdf>
- United Nations Environment Programme y Global Environment Monitoring System for Freshwater. (2007). *Global Drinking Water Quality Index development and sensitivity analysis report*. Environment. <https://www.unep.org/resources/report/global-drinking-water-quality-index-development-and-sensitivity-analysis-report-0>
- Unidos por el Lago de Atitlán. (2013). *Atitlán, state of the lake 2013*. United States Agency for International Development.
- (2014). *Estado del lago Atitlán 2014*. United States Agency for International Development. https://res.cloudinary.com/webuvvg/image/upload/v1535475147/WEB/Investigacion/Centros%20de%20investigaci%C3%B3n/Centro%20de%20Estudios%20Atitl%C3%A1n%20CEA/11_STATEofLAKE_2014_baja.pdf

- Van Tongeren, J., Pineda, P., Vargas, R., Muradián, R., Castañón, D. y Picavet, R. (2006). *Cuenta socioeconómica y ambiental del agua de la cuenca del lago de Atitlán* [manuscrito no publicado]. Tilburg University, Institut Vor Ontwikkelingsvraagstukken, Instituto de Agricultura, Recursos Naturales y Ambiente de la Universidad Rafael Landívar y Facultad de Ciencias Económicas de la Universidad de San Carlos de Guatemala.
- Weiss, C. (1971). *Water quality investigations, Guatemala. Lake Amatitlán, 1968-1970*. Department of Environmental Sciences and Engineering, School of Public Health, University of North Carolina, Chapel Hill.
- Wetzel, R. (2001). *Limnology, lake and river ecosystems* (3.ª edición). Elsevier Science, Academic Press.
- World Health Organization. (2008). *Safer water, better health. Costs benefits and sustainability of interventions to protect and promote health*. <https://apps.who.int/iris/handle/10665/43840>
- World Health Organization, United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization y United Nations Environment Programme. (1996). *Water quality assessments - A guide to use of biota, sediments and water in environmental monitoring* (2.ª edición). <https://apps.who.int/iris/handle/10665/41850>
- World Water Assessment Programme. (2015). *World Water Development Report 2015: Water for a sustainable world*. United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization.
- Xurux, A. (2019). Gobernanza comunitaria del agua en el altiplano occidental de Guatemala. *Revista Mesoamericana de Biodiversidad y Cambio Climático*, 3(6), 50-54. <https://www.revistayuam.com/wp-content/uploads/2019/09/Gobernanza-comunitaria.pdf>
- Zouiten, H. (2012). *Análisis mediante modelado avanzado de procesos de eutrofización en lagunas litorales: Aplicación a masas de agua atlánticas y mediterráneas* [tesis doctoral, Departamento de Ciencias y Técnicas del Agua y del Medio Ambiente, Universidad de Cantabria]. <https://www.tdx.cat/bitstream/handle/10803/96870/TesisHZ.pdf?sequence=1>

Anexos

Anexo 1. Cuencas y puntos de monitoreo del Insivumeh en el periodo 2002-2021



Anexo 2. Estados de eutrofización de los lagos y sus características

Estado trófico	Características
oligotrófico	Baja concentración de nutrientes (fósforo total entre 3-18 µg/l y nitrógeno total entre 310-11 600 µg/l), baja cantidad de algas (clorofila «a» entre 0.3-4.5 µg/l), aguas claras (transparencia Secchi alta entre 5.4-28 m), poco sedimento y crecimiento de plantas acuáticas en las orillas.
mesotrófico	Niveles intermedios de concentración de nutrientes (fósforo total entre 11-96 µg/l y nitrógeno total entre 360-1400 µg/l), cantidad de algas (clorofila «a» entre 3-11 µg/l) y menor transparencia estacional (transparencia Secchi entre 1.5-8.1 m), aparecen bajos niveles de oxígeno en lo profundo del lago.
eutrófico	Altas concentraciones de nutrientes (fósforo total entre 16-390 µg/l y nitrógeno total entre 390-6100 µg/l), alta proliferación de algas (el agua se observa verde, clorofila «a» entre 2.7-78 µg/l), poca o nula transparencia (transparencia Secchi entre 0.8-7 m), baja diversidad de especies.

Fuente: elaboración propia con base en Wetzel (2001)

Anexo 3. Principales características de los mecanismos de pagos por servicios ambientales hídricos

Caso	Usos del agua	Proveedores	Usuarios	Características de la compensación	Gobernanza	Sostenibilidad financiera
finca Santa Elena, municipio de Tecpán, Chimaltenango	consumo humano exclusivamente	empresa Bifasa	16 comunidades (24 000 personas)	aportes voluntarios en especie (trabajos forestales, dos días por año)	mecanismo establecido por el proveedor y aceptado por los beneficiarios	precaria: aportes financieros no son permanentes
río San Jerónimo, Sierra de las Minas, Baja Verapaz	consumo humano, riego, piscicultura, hidroeléctricas, turismo	propietarios privados en parte alta de la cuenca	10 comunidades para consumo humano, 827 usuarios de riego, 40 piscicultores, 3 hidroeléctricas	regantes: Q10.00 por manzana/año Existe reglamento municipal que establece el pago por los usuarios domiciliarios, pero no se aplica.	asociación con personería jurídica (aglutina a usuarios proveedores) Los fondos son manejados por ONG, a pesar de que la idea original era que fueran manejados por la asociación.	incierta: a pesar de que existe compromiso de los regantes en el pago, este no es suficiente y estos son los únicos que pagan actualmente
Fondo del Agua, Sistema Motagua-Polochic	consumo humano, riego, piscicultura, hidroeléctricas, turismo	4 comités de cuenca	2 asociaciones de riego, 4 empresas industriales, 2 hidroeléctricas, municipalidades	donaciones voluntarias de varios usuarios, no existen aportes definidos	mecanismo administrado por la ONG Defensores de la Naturaleza, con amplia participación de actores (usuarios y oferentes)	incierta: alta dependencia de donaciones de algunos usuarios del agua y de cooperación internacional
cabeceras municipales Chiantla y Huehuetenango	consumo humano y riego agrícola	39 comunidades (38 000 habitantes)	14 800 familias en las cabeceras municipales	cada municipalidad aporta Q100 000 anuales	mecanismo administrado por municipalidades con apoyo técnico de ONG	incierta: depende de aprobación anual de fondos por parte de las municipalidades, los temas ambientales no son prioridad

Continúa...

continuación anexo 3

Caso	Usos del agua	Proveedores	Usuarios	Características de la compensación	Gobernanza	Sostenibilidad financiera
río Las Escobas, reserva cerro San Gil, Izabal	consumo humano	ONG Fundaeco, administrador del área de captación hídrica	5300 familias residentes en Puerto Barrios y en Santo Tomás	1 % de regalías sobre la facturación total de la empresa de agua, por concepto de pago de servicio ambiental hídrico 1.5 % por el concepto de servidumbre de paso onerosa para el acueducto de la empresa	La empresa que presta el servicio de agua domiciliar sirve de intermediario entre usuarios y proveedores: cobra en la tarifa un aporte por servicios ambientales y lo traslada a la ONG.	media: existe un pago obligatorio por parte de la empresa prestadora del servicio de agua que cubre el 40 % de la administración de la reserva
río Ixtacapa, Sololá y Suchitepéquez	consumo humano, riego, agroindustria	9 comunidades indígenas maya-k'iche' en la parte alta de la subcuenca	5 municipalidades (90 000 habitantes), 6 haciendas agropecuarias y 1 ingenio azucarero, en la parte media de la subcuenca	aportes de los usuarios suman Q243 000.00 anuales para reforestación y pago de personal y prestación de servicios de salud	mecanismo administrado por asociación con personería jurídica (aglutina a usuarios proveedores)	media: existe compromiso de los usuarios de compensar por los trabajos en la parte alta de la cuenca
río Teculután, Zacapa	consumo humano, agropecuario	30 familias en la parte alta de la cuenca	municipalidad de Teculután	La municipalidad otorga tierras con riego en usufructo para la producción de Okra.	compromisos entre la Asociación de Productores de Okra y la municipalidad	incierto: depende de que la municipalidad mantenga el compromiso en el mediano y largo plazo, a pesar de los cambios de autoridades
Afogeship –Agua para el Futuro– río Chemealón, Tacaná, San Marcos	consumo humano, comercios	comunidades en parte alta de la cuenca	2500 familias del casco urbano de Tacaná	Hogares pagan Q2.36 mensuales por servicios hídricos en canon de agua. La municipalidad aporta Q20 000 al año. Aportes voluntarios de otros usuarios.	Mecanismo administrado por Afogeship (agrupa instituciones del Estado, municipalidades, organizaciones de la sociedad civil, comités, ONG y gremios productivos). Cuenta con personería jurídica.	

Continúa...

continuación anexo 3

Caso	Usos del agua	Proveedores	Usuarios	Características de la compensación	Gobernanza	Sostenibilidad financiera
Afogeship –Agua Viva– río Negro, San Pablo, San Marcos	consumo doméstico	comunidades en parte alta de la cuenca, 1 proveedor privado y municipalidad (terrenos municipales)	1200 familias (casco urbano de San Pablo, aproximadamente 6000 habitantes)	municipalidad aporta cincuenta mil quetzales anuales asociados de dos cooperativas cafetaleras pagan Q0.50 por quintal de café uva o Q2.50 por quintal de café oro producido Está establecido, aunque no implementado, el pago de Q2.00 mensuales en canon de agua para uso doméstico.	Mecanismo administrado por Afogeship (agrupa instituciones del Estado, municipalidades, organizaciones de la sociedad civil, comités, ONG y gremios productivos), cuenta con personería jurídica.	incierta: los aportes actuales, sumados a una posible contribución de los usuarios domésticos, no son suficientes para darle sostenibilidad en el largo plazo
microcuenca Xesiguán, Rabinal, Baja Verapaz	riego	finca perteneciente a la municipalidad	20 usuarios de riego		mecanismo administrado por mancomunidad Mancovalle y tiene como contraparte al MARN	
microcuenca Dolores, San Miguel Chicaj, Baja Verapaz	riego	finca perteneciente a la municipalidad	20 usuarios de riego	Comunitarios compensan al proveedor a través de trabajos forestales en la zona de captación hídrica.	mecanismo administrado por mancomunidad Mancovalle y tiene como contraparte al MARN	precaria: aportes financieros son escasos
aldea San Rafael, San Miguel Chicaj, Baja Verapaz	consumo doméstico	finca perteneciente a la municipalidad	105 familias	Q5.00 por familia por mes para el mantenimiento y protección de las fuentes de agua	La Comisión de Finanzas administra el mecanismo y audita la Comisión de Vigilancia, que además es coordinada por la junta directiva de la comunidad.	precario: aportes financieros son escasos

Continúa...

Caso	Usos del agua	Proveedores	Usuarios	Características de la compensación	Gobernanza	Sostenibilidad financiera
caserío Pacaní, aldea Dolores, San Miguel Chicaj, Baja Verapaz	consumo doméstico		50 familias del caserío Pacaní	Q5.28 mensuales para actividades de conservación 1 jornal al mes para labores de protección ambiental	Mecanismo administrado por la Asociación Integral para el Desarrollo de San Miguel Chicaj (Cindes). Se creó un comité de vigilancia.	
San Antonio Sacatepéquez, San Marcos	riego	municipalidad	16 familias conforman el grupo de riego	Q9.00 mensuales por familia	mecanismo administrado por mancomunidad Mancuerna	precaria: aportes financieros son escasos e insuficientes
Programa Bono Verde, municipalidad de San Pedro Sacatepéquez, departamento de San Marcos	riego, consumo doméstico	municipalidad	cabecera municipal y ocho aldeas	Q30.00/mes por unidad de transporte de pasajeros, taxis y microbuses (alrededor de 860) Q25.00/mes por usuario de riego	mecanismo administrado por la municipalidad	Media: pago se basa en acuerdo municipal, respaldado en las competencias que se derivan de la Constitución de la República. No obstante, el compromiso de mantener el programa depende del alcalde y concejo municipal que cambia cada 4 años.
microcuenca de San Isidro-Chilascó, Salamá, Baja Verapaz	consumo humano, hidroelectricidad	comunidades: San Rafael (Chilascó), Santa Cruz (Salamá) y San Isidro	usuarios domésticos, 1 hidroeléctrica	hidroeléctrica compensa por un monto promedio anual de USD 10 000	mecanismo administrado por ONG Calmecac	

Fuente: elaboración propia con base en Carrera (2017)

Esta publicación se distribuye de forma digital,
fue finalizada en octubre del 2023.

Acerca de esta publicación

La oferta hídrica anual de Guatemala supera significativamente las demandas de agua que surgen desde la economía y la sociedad. No obstante, esta relativa abundancia es ilusoria, pues en muchos casos el acceso y la disponibilidad de agua se ven limitados, entre otros, por su distribución temporal y espacial, su calidad y por la falta de capacidades e infraestructura para almacenarla y conducirla adonde se requiera.

La calidad del agua se ha deteriorado paulatinamente a nivel nacional. Para el 2010, al menos dieciocho de los treinta y cuatro ríos principales y cuatro de los grandes lagos del país presentaban altos niveles de contaminación física, materia orgánica, microorganismos, contaminantes tóxicos y materiales cancerígenos. Los principales entes generadores de contaminantes al agua son la agroindustria, las actividades agrícolas y las aguas servidas provenientes de los hogares.

Guatemala, por medio de su institucionalidad y sus agentes económicos y sociales, no ha sabido atender los desafíos que plantea la gestión integrada del agua, por lo que el país debe asumir esta fundamental e impostergable tarea, dada su importancia para la economía nacional y sus vínculos directos con la promoción y desarrollo de las personas y de la sociedad.

Más allá de la falta de una Ley General de Aguas, en la práctica se requiere del diseño e implementación de mecanismos e instrumentos que permitan la priorización de los usos del agua a nivel territorial, una mayor capacidad para planificar y regular su utilización y aprovechamiento a partir de información oportuna, la promoción de un uso más eficiente y la reducción efectiva de la contaminación de las fuentes de agua. Es evidente que todo esto requiere de la construcción de acuerdos sociales y sectoriales que fortalezcan la gobernabilidad del agua con miras a garantizar su acceso justo, responsable y equitativo.



ISBN: 978-9929-54-561-8



9 789929 545618



Universidad
Rafael Landívar
Identidad Jesuita en Guatemala



Grupo de
Editoriales
Universitarias
AUSJAL