



## 5 RECURSOS HÍDRICOS

Autores: Manuel Basterrechea<sup>1</sup> y Alex Guerra Noriega<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Academia de Ciencias de Guatemala, [asebaste@gmail.com](mailto:asebaste@gmail.com)

<sup>2</sup>Instituto Privado de Investigación sobre Cambio Climático, [aguerra@icc.org.gt](mailto:aguerra@icc.org.gt)

**Forma de citar este capítulo:**

Basterrechea, M., & Guerra Noriega, A. (2019). Recursos hídricos. En E. J. Castellanos, A. Paiz-Estévez, J. Escribá, M. Rosales-Alconero, & A. Santizo (Eds.), *Primer reporte de evaluación del conocimiento sobre cambio climático en Guatemala*. (pp. 86–107). Guatemala: Editorial Universitaria UVG.



#### Mensajes clave:

- Guatemala cuenta con abundantes recursos hídricos (la disponibilidad per cápita es de 6000 m<sup>3</sup> por año), pero la gestión de este provoca que exista una escasez económica de agua (baja cobertura de agua potable y solamente un embalse de regulación anual).
- El cambio climático presenta un riesgo adicional importante debido a la reducción proyectada de la disponibilidad y calidad del recurso hídrico, que puede afectar el acceso de la población a cantidades adecuadas y a medios de subsistencia.
- La gestión integrada del recurso hídrico es aún incipiente y tiene muchos aspectos en los cuales mejorar, como el abastecimiento de agua a poblaciones, irrigación, control de avenidas, entre otros, previendo la disponibilidad desigual de este recurso en el tiempo y espacio.



# RESUMEN

Guatemala cuenta con una oferta superficial anual de agua adecuada, pero con una gestión integrada incipiente. Ante esta situación, el cambio climático presenta un riesgo adicional importante debido a la reducción y cambios proyectados en la disponibilidad y calidad del recurso hídrico, que podría afectar el acceso sostenible de la población a cantidades adecuadas y a los medios de subsistencia, así como al desarrollo socioeconómico y preservación de los ecosistemas.

La gestión integrada del recurso hídrico en el país puede mejorarse de varias maneras, lo que permitirá una mejor adaptación al cambio climático. La coordinación y el fortalecimiento de las capacidades de las entidades públicas y municipalidades para generar, sistematizar y evaluar información permitiría realizar una adecuada planificación del recurso. Es recomendable contar con una ley de aguas, pero se puede seguir avanzando en mejorar la actual gestión del recurso, incluyendo la generación de información confiable antes de lograr dicha ley. El sector privado y la academia también deben seguir contribuyendo a la generación de información en coordinación mutua y con las entidades del sector público y municipalidades.

La información adecuada permitirá planificar el desarrollo de programas y proyectos de uso, aprovechamiento y conservación de los recursos hídricos; el Estado, a través de las entidades públicas relacionadas, debe formular el plan nacional de gestión integrada de estos recursos. El país cuenta únicamente con un embalse de regulación anual y es con fines hidroeléctricos, lo cual es una limitante para el aprovechamiento de la disponibilidad hídrica anual. El desarrollo sostenible del país en un escenario de cambio climático requiere de más embalses de regulación anual con múltiples propósitos, como el abastecimiento de agua a poblaciones, irrigación, control de avenidas, entre otros, debido a la desigual disponibilidad en el tiempo y en el espacio. Para lograrlo, se requerirán condiciones favorables de gobernanza, que consisten principalmente en leyes, instituciones, planificación, presupuesto, y que se incluya la participación de la población desde el inicio hasta su puesta en práctica.

Recientemente en el país, debido a los cambios en disponibilidad del recurso hídrico, sobre todo en las cuencas de la vertiente del Pacífico, se están dando condiciones favorables de gobernanza, lo cual servirá para futuros programas de aprovechamiento y usos múltiples del agua que sirvan en los procesos de adaptación a un futuro con menos lluvia y, por tanto, menos disponibilidad hídrica.



# CONTENIDO

<b>5.1</b>	La oferta y la seguridad de los recursos hídricos de Guatemala en el contexto del cambio climático.....	90
5.1.1	Oferta superficial.....	90
5.1.2	Oferta subterránea.....	91
5.1.3	El almacenamiento superficial de agua.....	92
5.1.4	Potenciales impactos del cambio climático en la disponibilidad de los recursos hídricos.....	92
5.1.5	Retos actuales de adaptación para la seguridad hídrica ante el cambio climático.....	92
5.1.5.1	La certeza jurídica y políticas en torno al agua.....	92
5.1.5.2	La información y el conocimiento sobre los recursos hídricos.....	93
5.1.5.3	La planificación hídrica a nivel nacional y regional.....	94
5.1.5.4	Organización municipal, comunal y social.....	94
5.1.5.5	Infraestructura verde y gris para gestionar el agua.....	95
5.1.6	Medidas institucionales y financieras para facilitar la adaptación del recurso hídrico al cambio climático.....	95
5.1.6.1	Inversiones en el manejo del agua.....	95
5.1.6.2	Organización de usuarios a nivel de comités de cuencas, subcuencas o microcuencas.....	95
5.1.6.3	Canon de aprovechamiento y vertido (contaminación).....	96
<b>5.2</b>	La demanda actual de los recursos hídricos de Guatemala en el contexto de la seguridad hídrica.....	96
5.2.1	Demanda actual a nivel nacional, por vertiente y cuencas y balance en la época seca.....	96
5.2.2	La demanda futura en los escenarios de cambio climático.....	97
5.2.3	Acciones y medidas de adaptación para contribuir a la seguridad hídrica ante el cambio climático.....	100
5.2.4	Costos estimados de los impactos al sector hídrico por el cambio climático.....	100
<b>5.3</b>	Calidad del agua.....	102
5.3.1	Tipos, niveles y fuentes de contaminación en ríos y lagos.....	102
5.3.2	¿Qué tan grande es el reto de limpiar el agua? Calidad el agua requerida para los distintos usos.....	103
<b>5.4</b>	Conclusión.....	103
<b>5.5</b>	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	106

## 5.1 La oferta y la seguridad de los recursos hídricos de Guatemala en el contexto del cambio climático

La contribución del agua en la economía del país es directa. SEGEPLAN (2006) estimó que su aprovechamiento participa en el 70 % de las actividades que conforman el producto interno bruto (PIB). El agua para riego sirve como insumo para el 18 % del total de las exportaciones y la generación directa del valor agregado del agua es equivalente al 5.6 % del PIB.

Guatemala tiene una superficie terrestre 108 889 km<sup>2</sup>, tres vertientes (Pacífico, mar Caribe y golfo de México) y 38 cuencas (capítulo 1). Según el último balance hídrico nacional del 2003, el Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología de Guatemala (INSIVUMEH) reporta una disponibilidad hídrica total de 93 338 millones de m<sup>3</sup> (GWP Centroamérica, 2015), mientras que el diagnóstico de la Estrategia de Gestión Integrada de los Recursos Hídricos de Guatemala (SEGEPLAN, 2006), reporta un caudal total de 97 120 millones de m<sup>3</sup>. Recientemente, la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), el Fondo Nórdico de Desarrollo (NDF, por sus siglas en inglés), el Banco Interamericano de Desarrollo (BID) y el Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales (MARN) (2018) reportan que la disponibilidad anual es de 154 900 millones de m<sup>3</sup>.

La relación entre la seguridad hídrica<sup>1</sup> y el impacto que el cambio climático puede tener en Guatemala es en dos vías. Por una parte, el cambio climático presenta riesgos significativos a través de los cambios que se puedan experimentar en la disponibilidad y calidad de los recursos hídricos. Por otra parte, no contar con seguridad hídrica en el presente hace a Guatemala altamente vulnerable al cambio climático. Por lo tanto, trabajar en la seguridad hídrica es un componente fundamental para la adaptación al cambio climático.

<sup>1</sup> Es la capacidad de una población para salvaguardar el acceso sostenible a cantidades adecuadas y de calidad aceptable de agua para sostener la subsistencia, bienestar humano y desarrollo socioeconómico, para asegurar la protección en contra de contaminación hídrica y desastres relacionados con el agua, y para la preservación de ecosistemas en un clima de paz y estabilidad política.

### 5.1.1 Oferta superficial

Las tres publicaciones sobre estimaciones de la disponibilidad hídrica anual (CEPAL et al., 2018; GWP Centroamérica, 2015; SEGEPLAN, 2006) evidencian que no se cuenta con datos oficiales y precisos por falta de un sistema de mediciones meteorológicas e hidrológicas adecuado en el país. Según la Red Interamericana de Academias de Ciencias (IANAS, 2012), la disponibilidad hídrica superficial es de 63 421 millones de m<sup>3</sup>. Este volumen anual está asociado a 459 km<sup>2</sup> de cuerpos de agua, de los cuales 198 son mayores a 0.1 km<sup>2</sup> (GWP Centroamérica, 2015).

La distribución temporal y espacial de la precipitación en el país hace que la mayor disponibilidad hídrica superficial a nivel nacional se concentre principalmente en la vertiente del golfo de México (42.1 %), donde habita la menor cantidad de personas. Esta vertiente está compuesta de 10 cuencas, en donde se encuentran los ríos de mayor caudal del país, tales como Salinas, La Pasión, Usumacinta, San Pedro e Ixcán. La vertiente del Pacífico concentra el 23.7 % del volumen disponible de agua, se distribuye en 18 cuencas en donde habita la mayor cantidad de personas y en ella se llevan a cabo las mayores actividades económicas del país. La vertiente del mar Caribe concentra el 34.2 % restante del volumen disponible de agua y está integrada por 10 cuencas (SEGEPLAN, 2006).

La población al 30 de junio del 2014 estaba proyectada en 15.6 millones de personas (INE, 2016), por lo que la disponibilidad de agua per cápita es entre 5983, 6230 y 9930 m<sup>3</sup>/habitante/año dependiendo del valor utilizado de disponibilidad hídrica anual. En todo caso, los valores están por arriba del umbral de estrés hídrico (1700 m<sup>3</sup>/habitante/año) y de escasez hídrica (1000 m<sup>3</sup>/habitante/año). Esta alta disponibilidad no redundaría necesariamente en bienestar para la población, ya que el acceso limitado a la infraestructura básica, específicamente al agua y al saneamiento, afecta el bienestar social y económico y, consecuentemente, la calidad de vida. Por lo tanto, existe «escasez económica» del agua (WWAP, 2012).

CEPAL (2018) indica que en la población urbana el 98 % cuenta con el servicio de agua mejorada<sup>2</sup> y el 95 % tiene el servicio de agua entubada. En la población rural, el servicio de agua mejorada alcanza al 90 % de la población, mientras que el de agua entubada al 68 %. Si se considera a toda la población, el servicio de agua mejorada llega al 94 % y el servicio de agua entubada al 81 %. Sin embargo, estas altas cifras de cobertura no reflejan el problema de calidad de agua. El saneamiento mejorado es un catalizador para mejorar los resultados de salud; sin embargo, casi la mitad de los guatemaltecos carecen de acceso a un saneamiento mejorado. Las estimaciones actuales indican que solo el 15 % de las fuentes de agua son desinfectadas antes de su distribución (con sistemas tradicionales, típicamente con cloro) y que menos del 5 % de las aguas residuales se trata antes de su descarga (Banco Mundial, 2017).

### 5.1.2 Oferta subterránea

La evaluación adecuada de la oferta del agua subterránea en Guatemala se ve obstaculizada por el hecho de que la información sobre pozos mecánicos de agua es de carácter privado y no está disponible al público. Por lo tanto, este apartado incluye algunos aspectos generales y estimaciones burdas que se han hecho.

Carlos Muñoz Palacios (1992), citado por IANAS (2012), dividió el país en cuatro regiones hidrogeológicas: a) las llanuras aluviales cuaternarias de la costa sur, consideradas las de mayor potencial; b) el altiplano volcánico de rocas terciarias y cuaternarias, en depresiones tectónicas rellenas con depósitos piroclásticos y potencial de ocurrencia a profundidades relativamente grandes; c) la cadena montañosa de las tierras altas cristalinas, de rocas ígneas graníticas y metamórficas, formación con menor recurrencia en el país; y d) la región sedimentaria del norte de rocas calizas del Cretácico karstificadas, donde el agua subterránea ocurre en conductos y cuya dinámica, a pesar de su importancia, ha sido poco estudiada. La disponibilidad anual de agua renovable se estima en 33 699 millones de m<sup>3</sup>, los cuales están

<sup>2</sup> Es un agua que es susceptible de ser tomada sin que cause problemas de salud, pero que no cumple con los valores de ciertos parámetros requeridos por la norma COGUANOR 29001 (1985).

incluidos dentro de la disponibilidad total de 97 120 millones de m<sup>3</sup>.

El Cuerpo de Ingenieros de Estados Unidos (2000) definió seis tipos de acuíferos: i) aluvión cuaternario no confinado, principalmente localizado en planicies costeras, valles de los ríos y cuencas internas. De muy poca a grandes cantidades de agua subterránea se encuentran disponibles en la planicie costera del Pacífico. Las cantidades disminuyen durante la época seca de noviembre a abril en todas partes del país, con excepción del norte. ii) Kárstico y piedra caliza cretácica fracturada, principalmente localizado en las tierras bajas y altas del Petén y en las sierras de los Cuchumatanes y Chamá. De escasas a muy grandes cantidades de agua subterránea están disponibles en los acuíferos de piedra caliza. Las mayores cantidades de agua subterránea se encuentran en áreas donde existe más disolución y fracturamiento de este tipo de piedra. Las cantidades se reducen en la época seca.

La definición sigue con los siguientes: iii) acuíferos volcánicos piroclásticos y de lava del cinturón volcánico del Pacífico, el acuífero es fácilmente recargado debido a la alta permeabilidad del medio. Hidrológicamente, esta es la unidad más importante en el altiplano volcánico y es un acuífero altamente utilizado. iv) Rocas ígneas y metamórficas de la era paleozoica, principalmente localizadas en la parte central de las tierras altas centrales, a lo largo de un cinturón de 20 a 60 kilómetros de ancho, el cual corre de este a oeste a través del país. Estas rocas son por lo general impermeables y de baja porosidad. El agua subterránea proviene principalmente de fracturas. Escasas a pequeñas cantidades de agua subterránea se encuentran disponibles en los acuíferos ígneos y metamórficos. v) Acuíferos sedimentarios terciarios y cretácicos, principalmente localizados en las planicies, lomas y montañas, en la región central del país y al norte de Petén. El agua subterránea proviene principalmente de fisuras, lechos, juntas y porosidades. Debido a la muy baja permeabilidad, esta unidad no se considera un acuífero regional. De muy poca a grandes cantidades de agua subterránea se encuentran en los acuíferos sedimentarios. vi) Sedimentos cuaternarios no consolidados, principalmente arenas, localizados a lo largo de la costa del Pacífico y del Caribe. El agua subterránea proviene



de los espacios vacíos en los poros de los sedimentos no consolidados; el agua dulce es escasa o inexistente (Cuerpo de Ingenieros de los Estados Unidos de América, 2000).

CEPAL (2018) reporta que muchos acuíferos de la vertiente del Pacífico presentan alta salinidad, la cual se ha incrementado notablemente desde el año 2005, y que su uso futuro se ve más amenazado por la posibilidad de la elevación del nivel del mar.

### 5.1.3 El almacenamiento superficial de agua

La capacidad para regular el agua disponible del país era del 1.5 %, lo cual equivale a alrededor de 475 millones de m<sup>3</sup> de agua; de este volumen, la presa de la planta hidroeléctrica Chixoy representaba el 96 % del total (SEGEPLAN, 2006). Es decir, hasta hoy solo hay un embalse de regulación anual en el país; el lago de Amatitlán es utilizado también para almacenar agua durante la época de lluvias y se cuenta para ello con compuertas en su salida hacia el río Michatoya. Las demás presas y embalses de regulación de las centrales hidroeléctricas son de regulación diaria.

### 5.1.4 Potenciales impactos del cambio climático en la disponibilidad de los recursos hídricos

En el capítulo 3 de este reporte, se muestran las tendencias del conjunto de proyecciones de temperatura y precipitación, respectivamente. La proyección de temperatura muestra que, en el escenario más pesimista, se espera para Guatemala un aumento de seis grados para el año 2100 y una reducción de precipitación de más del 30 %. En el escenario más optimista, la temperatura podría aumentar 2.5 grados y la precipitación se reduciría en un 12 % aproximadamente.

Entre 1998 y 2018 el país fue impactado por una serie de desastres, que dejaron pérdidas humanas y económicas significativas, así como impactos en los recursos hídricos (capítulo 2 y capítulo 4). Este tipo de fenómenos impactan en la variación de la precipitación, canícula y temperatura y, en consecuencia, en la cantidad y calidad del agua superficial y subterránea (CEPAL et al., 2018). Asimismo, hay impactos en la infraestructura para provisión de agua (puntos de

captación de agua y tubería), que son destruidos por deslizamientos y desborde de ríos. Se sabe también de la contaminación de pozos artesanales por las inundaciones que se dan, especialmente en la costa sur, aunque lamentablemente no se conocen estudios sobre los niveles de contaminación ocasionados de esta manera.

En el caso de las lagunas y lagos, los efectos son mixtos; pues, por una parte, las crecidas considerables resultantes de eventos de precipitación extrema transportan volúmenes significativos de sedimentos (incluyendo basura). Por otra parte, recargan los cuerpos de agua, haciendo que el agua se almacene en los mismos y esté disponible por varios meses o años. Sin embargo, el aumento en el nivel de las lagunas y lagos también puede tener impactos negativos sobre la infraestructura que ha sido construida en sus márgenes, como ha sido el caso en el lago de Atitlán y el lago Petén Itzá.

### 5.1.5 Retos actuales de adaptación para la seguridad hídrica ante el cambio climático

En este apartado se exponen distintos aspectos del manejo del agua que intervienen en la seguridad hídrica y en los que se necesita trabajar para la adaptación al cambio climático.

#### 5.1.5.1 La certeza jurídica y políticas en torno al agua

La legislación existente relacionada al agua es fragmentada y presenta numerosos traslapes, vacíos y contradicciones que dificultan su gobernanza adecuada. Por lo tanto, es necesaria una ley general para contar con la certeza jurídica y así avanzar hacia la seguridad hídrica. Desde la década de 1950, se han presentado iniciativas de ley de aguas, pero ninguna ha sido aprobada. La Constitución Política de la República de Guatemala vigente (Acuerdo legislativo 18-93, 1993) define al agua como un bien de dominio público y hace un mandato expreso (Artículo 127) sobre la creación de una ley de aguas, lo cual sigue siendo una tarea pendiente (GWP Centroamérica, 2015). Tampoco hay negociaciones bilaterales entre países, a pesar de que alrededor del 75 % de la disponibilidad hídrica anual de Guatemala va hacia los países veci-

nos. CEPAL (2018) indica que la gestión compartida de recursos hídricos está llamada a fortalecerse ante escenarios de cambio climático que podrían modificar la cantidad y calidad del agua, el transporte de sedimentos y la trayectoria de los ríos de las cuencas transfronterizas.

La falta de una ley ha impedido también la definición de un ente rector específico del agua. Se cuenta con varias instituciones que tienen competencias en la gestión del agua, como el Ministerio de Energía y Minas que autoriza el derecho del uso de fuentes de agua para hidroeléctricas y minería; el Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación (MAGA), que autorizaba y controlaba los derechos de uso para riego agrícola y pecuario; el Instituto Nacional de Fomento Municipal (INFOM); gobiernos municipales, organizaciones no gubernamentales y la cooperación internacional, que desarrollan proyectos de agua y saneamiento; el Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social (MSPAS), que está encargado de la formulación de políticas tendientes a incrementar la cobertura y mejorar la calidad de los servicios de agua domiciliar; y el MARN, con el Consejo Nacional de Áreas Protegidas y el Instituto Nacional de Bosques (INAB), que conservan y protegen el recurso en cuerpos de agua y zonas de recarga hídrica, cada uno con diferentes propósitos y con muy bajo impacto (GWP Centroamérica, 2015). Así también, existen cinco autoridades de cuenca: Petén Itzá e Izabal (adscritos al MARN), Amatitlán y Atilán (adscritos a la Vicepresidencia de la República) y subcuenca del río Pensativo (adscrita a la gobernación departamental de Sacatepéquez).

En síntesis, la falta de una ley general del agua dificulta de manera significativa el ordenamiento del recurso en el país y está incidiendo en que se convierta en una limitante y fuente de conflicto, en lugar de ser un elemento de progreso social y económico. Sin un marco jurídico adecuado, será extremadamente difícil planificar y poner en marcha acciones para disminuir la vulnerabilidad asociada al agua, que es probablemente el elemento que atañe a todos los sectores de la sociedad. El ordenamiento de los recursos hídricos es esencial para tomar medidas de adaptación al cambio climático (Castellanos & Guerra, 2009).

### 5.1.5.2 La información y el conocimiento sobre los recursos hídricos

La base para manejar cualquier recurso es la información tanto de la oferta como de la demanda. Guatemala presenta una debilidad alta en ambos tipos de información. La entidad encargada del monitoreo hidrológico es el INSIVUMEH, que debe actualizar el balance hídrico nacional y de las principales cuencas del país para conocer la oferta y demanda del recurso y su calidad. GWP Centroamérica (2015) reportó que el sistema del INSIVUMEH constaba de 68 estaciones hidrométricas, cuyo funcionamiento era irregular y variable por problemas presupuestarios en operación y mantenimiento. También contaba en ese año con una red de estaciones automáticas (adquiridas a través de un crédito del Banco Centroamericano de Integración Económica). Sin embargo, sus recursos seguían siendo muy limitados para lograr una cobertura continua, eficaz y oportuna de los niveles y caudales de los ríos. La disponibilidad y acceso de los datos por los usuarios, aunque había mejorado, requiere avances importantes.

Aparte de los datos e información, se requiere también de su análisis y de investigación sobre distintos aspectos de los recursos. En el país existen numerosos estudios, la mayoría elaborados a través de tesis universitarias. La Red de Formación e Investigación Ambiental de Guatemala (REDFIA) inició en 2018 un esfuerzo por centralizar las investigaciones relacionadas al agua y hacerlas accesibles, así como sistematizarlas para aportar a un conocimiento y comprensión del agua en Guatemala.

En síntesis, a pesar de la disponibilidad anual de agua superficial y subterránea, existen zonas y periodos con un déficit importante, que aún no pueden ser identificados con acierto porque el sistema nacional de información no produce la información hidrológica necesaria, que permita elaborar balances hídricos mensuales, sino únicamente balances promedios anuales (SEGEPLAN, 2006). Por lo anterior, la elaboración de los balances hídricos a nivel mensual de las principales cuencas, subcuencas y microcuencas del país debe ser una prioridad. Además, se debe continuar promoviendo en



los centros de investigación y universidades (Instituto de Investigación y Proyección sobre Ambiente Natural y Sociedad de la Universidad Rafael Landívar [IARNA-URL]; la Dirección General de Investigación [DIGI], Instituto de Problemas Nacionales [IPNUSAC], la Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos [ERIS] y la Facultad de Agronomía [FAUSAC-USAC] de la Universidad de San Carlos de Guatemala; el Centro de Estudios Ambientales y Biodiversidad de la Universidad del Valle [CEAB-UVG]; el Instituto Privado de Investigación sobre Cambio Climático [ICC]; entre otros), el estudio de las causas y efectos de la situación de los recursos hídricos y de las medidas a tomar en las principales cuencas del país (SEGEPLAN, 2006).

#### 5.1.5.3 La planificación hídrica a nivel nacional y regional

Los retos actuales en la planificación del recurso para alcanzar la seguridad hídrica son los siguientes (IANAS, 2015): i) elaborar planes de manejo de las principales cuencas del país, con involucramiento de los usuarios del agua. Existen experiencias positivas de lo realizado en la parte baja de las cuencas de los ríos Madre Vieja y Achiguate (Gobernación de Escuintla, ACH, & ICC, 2017). ii) Ordenar el aprovechamiento de los acuíferos a través de distintos instrumentos de gestión, cuya aplicación resulte del consenso entre las partes; así como favorecer la infiltración y reutilización del agua de lluvia de las áreas impermeabilizadas en áreas urbanas, empezando por la región metropolitana de Guatemala y las nueve ciudades intermedias. La iniciativa de la Fundación para la Conservación del Agua en la región Metropolitana de Guatemala (FUNCAGUA) es un esfuerzo reciente pero relevante en este aspecto. iii) Si se toma en cuenta que no se produce la información suficiente para la elaboración de balances hídricos mensuales, debido a la baja densidad de las estaciones hidrométricas y meteorológicas en el país, que son operadas por distintas entidades, es recomendable unificar la información en una sola institución como el INSIVUMEH y ampliar la red, para lo cual se debe asignar los recursos humanos y financieros.

#### 5.1.5.4 Organización municipal, comunal y social

En Guatemala, la participación social en el tema del agua se circunscribe mayoritariamente a expresar las necesidades y demandas que la población tiene del recurso. Son pocos los casos donde, a nivel municipal, se haya interiorizado la importancia de participar en la gestión integrada de los recursos hídricos de las zonas que abastecen de agua a sus municipios (IARNA-URL & IIA, 2006). Además, la organización para el manejo del agua o las cuencas no está regulada.

Solamente dos de las autoridades de cuenca para lagos principales del país cuentan con recursos financieros significativos: la Autoridad para el Manejo Sustentable de la Cuenca y el Lago de Amatitlán (AMSA) y la Autoridad para el Manejo Sustentable de la Cuenca del Lago de Atitlán y su Entorno (AMSCLAE) (GWP Centroamérica, 2015). Ha habido diversas iniciativas para la formación de comités de cuencas de ríos, la mayoría promovidas por organizaciones no gubernamentales como la Fundación Defensores de la Naturaleza, que estableció la organización por cuencas como un eje de trabajo del Fondo del Agua en la Sierra de las Minas desde 2003.

Existen varios casos de mancomunidades que han hecho esfuerzos por el manejo integrado de cuencas. Entre las que destacan están la Mancomunidad de la Gran Ciudad del Sur, en la cuenca de lago de Amatitlán, conformada por seis municipalidades de la cuenca (sin la ciudad capital). También está la MANCUERNA, en la cuenca del río Naranjo, la MANCTZOLOJYA y MANKATITLAN; cada una integra a un grupo de municipios en la cuenca del lago de Atitlán para proteger el lago y mejorar la infraestructura básica de agua. Asimismo, la mancomunidad COPAN-CHORTI, en Río Grande de Zacapa, ha logrado un buen manejo del recurso hídrico y un incremento en la cobertura de servicios básicos. El INAB ha promovido iniciativas de pagos por servicios ambientales en diferentes municipios para proteger las zonas de recarga hídrica (GWP Centroamérica, 2015).

### 5.1.5.5 Infraestructura verde y gris para gestionar el agua

La iniciativa de la FUNCAGUA es un mecanismo financiero para invertir en infraestructura verde (protección de suelos, bosques y aguas; mejores prácticas de sistemas productivos; infraestructura de cosecha de agua y recarga hídrica; fortalecimiento a la gobernanza e institucionalización; educación para el ahorro del agua). La iniciativa prevé que los grandes usuarios del agua estén dispuestos a poner recursos financieros para fortalecer el fondo. Además, con el fin de diseñar y poner en marcha la FUNCAGUA, se ha constituido un grupo promotor en donde participan siete empresas privadas, que aportaron el capital semilla y The Nature Conservancy (TNC) como brazo técnico. La fundación ha hecho alianzas con autoridades, gobiernos locales, instituciones académicas y organizaciones no gubernamentales, con quienes implementa acciones de conservación del agua.

La infraestructura gris contempla rehabilitar y construir plantas de tratamiento y entrenar a técnicos que operen los sistemas de tratamiento, empezando en las principales cabeceras municipales del país. La inversión millonaria que se requerirá deberá ser compartida con los generadores a través de cánones por vertido.

### 5.1.6 Medidas institucionales y financieras para facilitar la adaptación del recurso hídrico al cambio climático

#### 5.1.6.1 Inversiones en el manejo del agua

GWP Centroamérica (2015) documentó algunos datos sobre las inversiones que se han hecho en distintos años: En el 2006 se alcanzó una inversión de más de USD 120 millones para el sector agua y saneamiento. En el año fiscal de 2012, el INFOM solicitó al Ministerio de Finanzas un presupuesto de GTQ 789 millones (aproximadamente USD 100 millones) para proyectos de agua y saneamiento, de los cuales fueron autorizados GTQ 245 millones (USD 30 millones). No solo la asignación representó el 30 % del total, sino que también la ejecución de dichos fondos fue del 35 % (MARN,

2013). En el año 2013, según el Ministerio de Finanzas, se invirtió alrededor de USD 0.5 millones en sistemas de riego y otros USD 23 millones en agua y saneamiento. Se estima que, en políticas y manejo de cuencas, incluidos los presupuestos de las autoridades de cuenca, se invirtieron unos USD 6 millones (MINFIN, 2013 citado por GWP Centroamérica [2015]).

Existen otras inversiones que se han hecho, pero que es difícil conocer, puesto que las cuentas nacionales no facilitan la contabilidad de estas. Los datos anteriores implican una reducción continua de los gastos de gobierno en el manejo de agua, que, aunada a una ejecución deficiente, implican una disminución alarmante de los recursos financieros estatales dedicados al recurso hídrico (GWP Centroamérica, 2015).

La inversión en el manejo del agua, que ayude al país a adaptarse al cambio climático, deberá incluir la infraestructura para almacenamiento, conducción, tratamiento antes y después de utilizar el agua, administración, monitoreo e investigación, gestión de cuencas, y protección de fuentes de agua. Por su envergadura, algunas de dichas inversiones solamente pueden hacerse a través del Estado, como en el caso del almacenamiento del agua. En otros casos, podrá haber una combinación de fondos públicos y recursos de los usuarios del agua. Los costos de no manejar el agua adecuadamente pueden ser mucho más altos para todos los sectores de la sociedad (CEPAL et al., 2018).

#### 5.1.6.2 Organización de usuarios a nivel de comités de cuencas, subcuencas o microcuencas

En la época seca (enero a mayo) del año 2016, los caudales de los ríos Madre Vieja, Ocosito y Achiguaté, de la vertiente del Pacífico, fueron insuficientes para suplir la demanda de agua de los distintos usuarios, por lo que hubo conflictos entre las agroindustrias y las comunidades. Para resolverlos, en 2016 se conformaron comités y mesas técnicas con comunidades, autoridades municipales, gobernación departamental, organizaciones no gubernamentales y empresas; el tipo y conformación de cada comité varió según la cuenca. Entre

los logros de las mesas técnicas estuvieron contar con un inventario de usuarios, aforos en puntos estratégicos para llegar a contar con series temporales de cantidad y que el agua de los ríos llegara a desembocar al océano Pacífico. Los comités continúan su trabajo a la fecha, logrando mecanismos para coordinar acciones que hagan posible utilizar el agua y asegurar que los ríos lleguen a su desembocadura, lo cual incidió en que bajaran los niveles de conflictividad (Gobernación de Escuintla et al., 2017; ICC, 2017).

En el país, hay otras experiencias positivas, como cuando los usuarios de la cuenca de un río aportan recursos financieros y en especie para que se mantenga el volumen y la calidad del agua. Guerra y Alvarado (2006) y Guerra y Reyes (2008) describen la experiencia del pago por servicios ambientales en las cuencas de la Sierra de Las Minas hacia el valle de San Jerónimo y en la subcuenca del río Ixtacapa, respectivamente (IANAS 2018).

De 2015 a 2017, el INAB promovió y fortaleció cinco mecanismos de pago por servicios ambientales (PSA) hídricos en diferentes zonas del país: Olinstepeque y Concepción Chiquirichapa en Quetzaltenango; Esquipulas Palo Gordo en San Marcos; Finca Nacional El Durazno en San Jerónimo, Baja Verapaz; y Los Amates, Izabal (INAB, 2017, citado por IANAS [2018]).

#### 5.1.6.3 Canon de aprovechamiento y vertido (contaminación)

El actual reglamento de descargas y reúso de aguas residuales y de la disposición de lodos (Acuerdo gubernativo 236-2006, 2006) tiene varias deficiencias, su aplicación es ineficaz y, en muchos aspectos, no mejoró lo que se había estipulado en los reglamentos previos de 1989, pero sobre todo del 2005. El reglamento actual exige menor calidad de agua del efluente final del ente generador, no diferencia a los cuerpos de agua receptores, no distingue los tipos de industria, no incluye la medición de la demanda química de oxígeno (DQO) ni patógenos (bacterias entre otros), los periodos de cumplimiento de las distintas

fases son más largos<sup>3</sup>, se redujeron las categorías de reúso de agua residual, no define periodicidad al MARN para realizar los controles de descargas de aguas residuales y crea confusión en cuanto a las competencias del MARN y del MSPAS en el control de aguas residuales, entre otras carencias (Siguí, 2016, citado por IANAS [2018]).

## 5.2 La demanda actual de los recursos hídricos de Guatemala en el contexto de la seguridad hídrica

### 5.2.1 Demanda actual a nivel nacional, por vertiente y cuencas y balance en la época seca

La demanda de agua a nivel nacional, al igual que lo indicado para la oferta, ha sido estimada en tres estudios diferentes y con resultados distintos.

Un primer estudio, publicado en el 2006, indicó que la demanda fue de 9596 millones de m<sup>3</sup>, de los cuales el 53.6 % fue para usos consuntivos y el restante 46.4 % para no consuntivos. Del total del agua para usos consuntivos que se utilizaba en el 2006, un 16.2 % fue para consumo humano, el 6.7 % para la industria, el 76.9 % para riego y el restante 0.2 % para otros usos. Del agua total ofertada para esa fecha, solo el 9.9 % era demandada. La demanda con respecto a la oferta en la vertiente del Pacífico era del 23.3 %, el 4.4 % en la del golfo de México y el 7.4 % en la del mar Caribe (SEGEPLAN, 2006).

Un segundo estudio de la demanda, basado en el estudio de cuentas ambientales del Banco de Guatemala y el IARNA (2009), indicó que la utilización anual de agua en 2010 representó el 22 % de la oferta hídrica disponible anualmente para Guatemala. De los 20 373.88 millones de m<sup>3</sup>, el 37.5 % (7 643.17 millones), fueron empleados por la industria, incluida la agroindustria. Por otro lado, las actividades agropecuarias y silviculturales usaron el 31.9 % (6 496.56 millones de m<sup>3</sup>) de los recursos hídricos del país. El otro usuario importante, aunque su uso no es consuntivo, es la generación hidroeléctrica, que utiliza un estimado de 24.8 % (5000 millones de m<sup>3</sup>).

<sup>3</sup> El anterior del 2005 solo otorgaba seis años en dos etapas, ahora son cuatro etapas de cinco años y la última es a 2024. Además, se han dado tres ampliaciones de dos años cada una a las municipalidades para su cumplimiento.



Por su parte, el consumo doméstico fue apenas un 2.3 % (alrededor de 461 millones). El resto de las actividades consume un 3.5 % del total.

Un tercer informe, CEPAL (2018), reportó que la extracción anual es de 5140 millones de m<sup>3</sup>. El uso agrícola demanda el 77 %, el municipal (abastecimiento humano) el 16.2 % y el industrial el 8.7 % restante.

A pesar de la alta disponibilidad anual de agua superficial y subterránea existen evidencias de problemas, como la existencia de algunos ríos secos en algunas cuencas de la vertiente del océano Pacífico, además del incremento de las demandas de la población por un mejor servicio de agua potable, especialmente en el área metropolitana de Guatemala, y los crecientes conflictos por el uso del agua en varios puntos del país. Hay zonas y periodos con importantes déficits, que aún no pueden ser identificados con acierto porque, como se indicó, el sistema nacional de información aún no produce la información hidrológica necesaria, consistente en balances mensuales (SEGEPLAN, 2006).

Efectivamente, el hecho de que el régimen hidrológico depende exclusivamente de la lluvia y el almacenamiento subterráneo, además de que la lluvia se presenta en promedio durante seis meses, hace que la diferencia entre el flujo de los ríos durante el periodo de lluvias y el del periodo seco sea muy significativa. Al comparar la disponibilidad anual por habitante, se tiene que la del golfo de México es seis veces mayor que la del Pacífico y dos veces mayor que la del mar Caribe; sin embargo, en el mes más seco, la relación es de cuatro y dos veces, respectivamente (SEGEPLAN, 2006).

Por otra parte, la distribución espacial de la lluvia es muy irregular y la disponibilidad natural del agua no coincide exactamente con las demandas. En las regiones localizadas en las partes altas de las cuencas y que reciben menor precipitación, la ocurrencia de agua como flujo superficial es menor y es ahí donde precisamente se asienta la mayor cantidad de población del país, como es el caso del área metropolitana de Guatemala, 10 de las 22 cabeceras departamentales más pobladas del país y más de 130 de las 340 cabeceras municipales (SEGEPLAN, 2006).

Dado el capital hídrico del país y el total de demandas consuntivas, se tiene un superávit original de 87 524 millones de m<sup>3</sup>; a ello se le suman los volúmenes de uso no consuntivo, los de aguas contaminadas y de retorno, lo cual da un saldo anual de 94 984 millones de m<sup>3</sup>. Sin embargo, por falta de tratamiento de las aguas residuales e incapacidad de las fuentes de diluir por completo la contaminación, se convierten en agua disponible de baja calidad (SEGEPLAN, 2006). CEPAL (2018) estimó que la intensidad de uso es baja, solo se demanda el 3.32 % de la disponibilidad total.

### 5.2.2 La demanda futura en los escenarios de cambio climático

La demanda para todos los usos consuntivos y no consuntivos estimada para el 2025 en el escenario tendencial se ha estimado en 17 796 millones de m<sup>3</sup>, de los cuales el uso consuntivo alcanzaría 10 499 millones y la demanda de uso no consuntivo se estima en 7298 millones. El consumo de los anteriores volúmenes de agua generará un total de 2557 millones de m<sup>3</sup> de aguas contaminadas en el país, con las secuelas que esta situación representa, y un volumen de aguas de retorno del riego de 2935 millones (SEGEPLAN, 2006). Si bien hay una distribución de la disponibilidad por cuenca, debido a la falta de un catastro de usuarios y derechos, la estimación de la demanda por cuenca se hace muy difícil (GWP Centroamérica, 2015).

En la época de estiaje, la situación será conflictiva para la vertiente del Pacífico, ya que para el año 2025, el mes más seco podría encontrarse en la situación siguiente: la oferta o capital hídrico será de 755 millones de m<sup>3</sup>, pero si se descuenta un caudal ecológico equivalente al 25 %, será de 566 millones; y el uso consuntivo alcanzará 1056 millones, es decir, un déficit de agua de 301 o 490 millones (sin y con caudal ecológico). Además, el uso de agua para generación eléctrica requerirá de 217 millones de m<sup>3</sup> y se generarán 379 millones de m<sup>3</sup> de aguas contaminadas. Esto último implica que en algunos puntos de las cuencas el agua fluiría en los ríos casi como aguas negras (SEGEPLAN, 2006). De convertirse en realidad esta situación, haría que la vulnerabilidad climática sea más alta.

El área potencial irrigable para usos productivos agrícolas es de 2.6 millones de hectáreas y, según el censo agrícola del año 2003, solamente se encontraban bajo riego 311 557 ha. Según la Política de Promoción del Riego 2013-2023 (MAGA, 2013), se estima que para el año 2012 eran un total de 337 471 ha bajo riego, de las cuales 86 % pertenecían al sector empresarial, 5 % al miniriego, 3 % a las unidades de riego y 6 % al riego artesanal. Con base en las áreas

y según los datos del IARNA, el volumen anual de consumo de agua bajo riego es de 6496 millones de m<sup>3</sup>, es decir 31 % de la demanda (IARNA-URL, 2012).

Para evaluar los impactos del cambio climático en los recursos hídricos, CEPAL (2018) reporta los escenarios futuros de disponibilidad de agua sin cambio climático y bajo los escenarios de emisiones B2 y A2, los cuales se muestran en el Cuadro 5-1.

**Cuadro 5-1** Evolución de la disponibilidad total de agua renovable de acuerdo con los escenarios B2 y A2 para los años 2000-2100

Escenario	Años						Variación (porcentajes)				
	2000	2020	2030	2050	2070	2100	2020	2030	2050	2070	2100
Base	154.9	154.9	154.9	154.9	154.9	154.9	0	0	0	0	0
B2	145.5	147.2	150.9	137.0	124.3	103.3	1	4	-6	-15	-29
A2	134.0	128.6	140.7	100.9	92.2	51.1	-4	-5	-25	-31	-62

**Nota:** Los datos se presentan en miles de millones de m<sup>3</sup> por año y variación porcentual respecto al promedio 2000-2004 para cada escenario. El escenario B2 se considera el escenario optimista, mientras que el A2 se considera el escenario pesimista. Tomado de CEPAL (2018), con base en datos de CEPAL, CCAD/SICA, UKAID y DANIDA (2011).

El escenario base tiene una disponibilidad total de agua renovable de 154 900 millones de m<sup>3</sup>; en el escenario B2, las variaciones serían del -4 % al 2030, -6 % para el 2050 y -29 % para el 2100; y en el escenario A2, las variaciones serían del -5 % al 2030, -25 % para el 2050 y -62 % para el 2100. Los índices que se usaron y que se basan en un cálculo simplificado de la disponibilidad de agua renovable son la disponibilidad de agua per cápita y la intensidad de uso o de estrés hídrico (Jiménez y Asano, 2008, citado por CEPAL, [2018]).

Los escenarios de demanda de agua se muestran en el Cuadro 5-2 y se diseñaron a partir de la demanda consuntiva de agua en 2005, considerando la homogeneidad, calidad y disponibilidad de la información por sector en función del escenario macroeconómico base sin cambio climático: agua municipal (crecimiento poblacional y se mantiene la dotación per cápita actual); agrícola: crecimiento del PIB sectorial y del consumo de agua por unidad del PIB actual; e industrial: solo se consideró el crecimiento del sector. La tendencia de la demanda total sería creciente en todos los escenarios, lo que indica mayor presión sobre el recurso (CEPAL et al., 2018) y mayor sensibilidad a la variabilidad y cambio climático.

Según CEPAL (2018), el sector municipal en el esce-

nario base muestra una demanda de agua creciente hasta 2050, que luego se torna plana y empieza a declinar en los años cercanos a 2100, como resultado de una menor tasa de crecimiento demográfico. La demanda podría crecer 89 % para 2030 y hasta 168 % en 2100, comparada con la del 2000. En los escenarios B2 y A2, la demanda sería creciente todo el periodo: un aumento del 200 % en B2 y del 234 % en A2 para finales de siglo. El incremento de la demanda futura de agua del sector municipal es menor que el de la industria y el de la agricultura.

Según CEPAL (2018), el sector agrícola, que predomina en el escenario base, crecería 144 % en 2030 y hasta 1882 % en el 2100; además, representaría 79 % y 88 % de la demanda total, respectivamente. En los escenarios B2 y A2, la demanda aumentaría 25 % y 28 % más que en el escenario base en 2100, respectivamente. El sector industrial proyecta una tendencia creciente en el escenario base, con un incremento de 2200 % para el 2100. En el escenario A2, la distribución del consumo a final del siglo podría ser 90 % agrícola, 8 % industrial y 2 % municipal. El incremento de la demanda de agua de sectores específicos debe considerarse en la toma de decisiones, ya que se prevén aumentos de entre una quinta y una cuarta parte aun sin cambio climático (CEPAL et al., 2018).

Cuadro 5-2 Evolución de la demanda de agua total, municipal, agrícola e industrial de acuerdo con los escenarios B2 y A2 para los años 2000-2100

## a) Demanda total

Escenario	Variación respecto al año 2000 (porcentaje)										
	2000	2020	2030	2050	2070	2100	2020	2030	2050	2070	2100
Base	5140.6	9259.9	12 44.8	21 20.0	38 594.7	90 843.2	90	140	324	651	1667
B2	5114.8	10 878.0	14 35.3	26 21.7	46 976.7	110 86.6	113	184	411	818	2070
A2	5118.3	10 893.0	14 67.3	25 23.4	46 723.7	113 84.6	113	183	406	813	2119

## b) Demanda municipal

Escenario	Variación respecto al año 2000 (porcentaje)										
	2000	2020	2030	2050	2070	2100	2020	2030	2050	2070	2100
Base	746.5	1169.9	1412.8	1809.6	2039.5	1999.7	57	89	142	173	168
B2	738.2	1194.3	1475.7	1936.7	2264.8	2217.3	62	100	162	207	200
A2	741.6	1208.7	1444.5	1918.9	2293.7	2473.9	63	95	159	209	234

## c) Demanda agrícola

Escenario	Variación respecto al año 2000 (porcentaje)										
	2000	2020	2030	2050	2070	2100	2020	2030	2050	2070	2100
Base	4010.3	7270.2	9801.1	17 921.1	32 719.4	79 488.0	81	144	347	716	1882
B2	3953.9	8862.2	11 925.3	22 095.7	40 876.1	99 413.8	124	202	459	934	2414
A2	4010.3	8862.9	11 888.5	21 915.2	40 594.2	101 594.2	121	196	446	912	2437

## d) Demanda industrial

Escenario	Variación respecto al año 2000 (porcentaje)										
	2000	2020	2030	2050	2070	2100	2020	2030	2050	2070	2100
Base	402.9	819.8	1130.9	2089.3	3835.8	9355.5	103	181	419	852	2222

**Nota:** a) Evolución de la demanda de agua total de acuerdo con los escenarios B2 y A2 para los años 2000-2100. b) Evolución de la demanda de agua municipal de acuerdo con los escenarios B2 y A2 para los años 2000-2100. c) Evolución de la demanda de agua agrícola de acuerdo con los escenarios B2 y A2 para los años 2000-2100. d) Evolución de la demanda de agua industrial de acuerdo con los escenarios B2 y A2 para los años 2000-2100. Los datos se presentan en miles de millones de m<sup>3</sup> por año y variación porcentual respecto al año 2000 para cada escenario. En el escenario B2, se considera una disminución en la cantidad de emisiones de gases de efecto invernadero a nivel mundial; mientras que el escenario A2 prevé un aumento significativo en la generación de emisiones de gases de efecto invernadero. Adaptado de CEPAL (2018), con base a datos de CEPAL, CCAD/SICA, IKAID y DANIDA (2011).

La evolución del índice de intensidad de uso del agua en el país se muestra en el Cuadro 5-3. La literatura internacional acepta que una intensidad de uso su-

perior al 20 % del total de agua renovable disponible coloca a un país en situación crítica (WRI, 2009 citado por CEPAL [2018]).

Cuadro 5-3 Evolución del índice de intensidad de uso del agua de acuerdo con los escenarios B2 y A2 para los años 2000-2100

Escenario	2000	2020	2030	2050	2070	2100
Base	3.32	5.98	7.97	12.09	24.92	58.65
B2	3.35	8.14	9.39	26.55	66.55	162.76
A2	3.29	7.90	8.62	19.94	52.57	251.03

**Nota:** Los datos se muestran en porcentajes. En el escenario B2, se considera una disminución en la cantidad de emisiones de gases de efecto invernadero a nivel mundial; mientras que el escenario A2 prevé un aumento significativo en la generación de emisiones de gases de efecto invernadero. Tomado de CEPAL (2018), con base en datos de CEPAL, CCAD/SICA, IKAID y DANIDA (2011).



En el escenario base (año 2000), el índice de intensidad del uso del agua<sup>4</sup> era del 3.32 %, sería 7.97 % en 2030 y llegaría a 58.65 % en 2100. Estos porcentajes resultan mucho mayores en los escenarios de cambio climático: 9.39 % en el 2030 y 162.76 % en el 2100 en el escenario B2, y 8.62 % en el 2030 y 251.03 % en el 2100 en el escenario A2. Estas situaciones colocarían al país en situación crítica desde la mitad del siglo (CEPAL et al., 2018).

### 5.2.3 Acciones y medidas de adaptación para contribuir a la seguridad hídrica ante el cambio climático

Las medidas técnicas a utilizar en diversos sectores para avanzar en la seguridad hídrica son medidas de adaptación al cambio climático. Son escasas las prácticas en manejo del agua que ya están siendo utilizadas o que han sido identificadas y que se encuentran documentadas en la literatura científica. Las que se conocen están incluidas en informes técnicos elaborados en su mayoría por organizaciones no gubernamentales, entidades de cooperación e instituciones de investigación que han ejecutado proyectos de desarrollo, de ambiente o de acción climática. Algunos ejemplos son los siguientes: las prácticas comunitarias en manejo del agua en el Altiplano Occidental, impulsadas y documentadas por el proyecto de USAID Nexos Locales (2017); las prácticas en manejo del agua como medidas de adaptación al cambio climático en los cultivos de maíz y frijol, documentadas por el ICC (2014); las prácticas de adaptación al cambio climático para la regulación del ciclo hidrológico, que incluyen la conservación de suelos y agua, y el manejo de los cultivos (USAID CNEC, 2017); y las alternativas de adaptación identificadas para el corredor seco (CCAFS, CIAT, & MAGA, 2015). La gran mayoría de dichas prácticas se enfocan en el área rural, en los cultivos (especialmente de productores en condición de subsistencia e infrsubsistencia) y en el paisaje.

A una escala mayor, se ha señalado que la construcción de obras de regulación de caudales contribuirá

<sup>4</sup> El índice de intensidad de uso del agua mide el agua renovable disponible, que incluye la cantidad que escurre o se almacena en cuerpos superficiales o acuíferos y puede ser fácilmente utilizada, pero no incluye agua recibida de ríos transfronterizos o por desalinización de agua del mar.

a enfrentar el cambio climático, buscando proveer agua a sitios con estrés hídrico y reducir los efectos por el exceso de agua (Castellanos & Guerra, 2009). Entre dichas obras están los embalses, que pueden (y debieran) ser multiusos, destinados no solo para generación hidroeléctrica, sino también para riego, abastecimiento de agua a poblaciones y control de caudales pico durante la época lluviosa, lo cual reduciría desastres relacionados con las inundaciones. La promoción de las obras de regulación es una de las medidas propuestas en la estrategia para la gestión integrada de los recursos hídricos (SEGEPLAN, 2006).

El manejo de la demanda del agua es también una medida importante para alcanzar la seguridad hídrica. A través de un uso óptimo por la mejora de los sistemas y la implementación de tecnología, puede haber reducciones en el uso del agua a nivel agrícola, industrial y doméstico (Castellanos & Guerra, 2009). El beneficio del aumento en eficiencia es doble, puesto que, por una parte, se ejerce menos presión por extracción del agua de las distintas fuentes y, por otra, se reduce el volumen de agua contaminada. Los mismos autores también argumentan que la reutilización del agua es una medida que debe adoptarse.

### 5.2.4 Costos estimados de los impactos al sector hídrico por el cambio climático

CEPAL (2018) reportó los costos del cambio climático, calculando la diferencia de los costos por empleo de agua entre el escenario base y los escenarios con cambio climático. En la estimación se realizaron las siguientes consideraciones:

- El costo de recurrir a nuevas fuentes, debido al incremento de la demanda por cambio climático, respecto de la demanda prevista sin cambio climático. El costo se obtiene de las tarifas de las nuevas fuentes, considerando que aumentarán con el tiempo. Dicho incremento reflejará el costo de transportar el agua desde mayores distancias (trasvases) y/o de usar agua de menor calidad.
- El déficit de uso, que es igual a la disponibilidad menos el uso, se calcula como volumen en m<sup>3</sup>, multiplicado por la tarifa de cada uso, la cual se supone constante en este análisis.

- El costo de mermar el volumen ecológico disponible, que representa la pérdida de capital ambiental. Este cálculo está hecho con el volumen ecológico de referencia (volumen ecológico inicial) menos la capacidad de dotación con cambio climático (disponibilidad total renovable con cambio climático menos uso total con cambio climático).
- El costo del cambio climático es calculado mediante la resta del costo de los escenarios del costo del escenario base sin cambio climático. Los cálculos se hicieron a precios constantes del año 2000.

Se estimaron los costos asociados al cambio climático según la tendencia de la demanda de agua por sectores y la disponibilidad total de agua renovable (CEPAL, CCAD/SICA, UKAID y DANIDA, 2011, citado por CEPAL [2018]) para garantizar el abasto ante un alza de la temperatura media y una menor disponibilidad de precipitación.

Los costos acumulados se calcularon a Valor Presente Neto (VPN) con tasas de descuento del 0.5 %, 2 %

y 4 %<sup>5</sup>, como porcentaje del PIB del 2008. Las cifras correspondientes permitieron estimar el costo del impacto del cambio climático sobre el recurso hídrico en el periodo 2008-2100. Los costos estimados fueron calculados a valor corriente por las tarifas crecientes, para después estimar los costos a valor constante considerando una tasa de inflación a largo plazo de 3.5 % para Guatemala. Los costos no consideran subsidios (CEPAL et al., 2018). Las estimaciones de los costos totales por abastecimiento de agua bajo los escenarios B2 y A2 se presentan en el Cuadro 5-4.

En el escenario B2 se observa que con una tasa de descuento del 0.5 % se tendrían costos del 0.96 % del PIB para 2030 y de hasta el 6.26 % para el 2100. Con una tasa de descuento del 2 %, resultaría un costo del 2.94 %. Con una tasa del 4 %, los costos podrían llegar a 1.40 % del PIB. Bajo el escenario A2 con una tasa de descuento del 0.5 %, se tendría un costo de hasta el 12.95 %, mientras que con una tasa del 4 %, se podría llegar al 1.96 % del PIB.

**Cuadro 5-4** Estimación inicial del costo acumulado del impacto de cambio climático, para los escenarios A2 y B2, en los recursos hídricos a 2100

Escenario	Tasas de Descuento	2020	2030	2050	2070	2100
B2	0.50	0.51	0.96	2.05	3.35	6.26
	2.00	0.46	0.80	1.47	2.06	2.94
	4.00	0.41	0.65	1.00	1.21	1.40
A2	0.50	0.59	1.06	2.46	4.11	12.95
	2.00	0.52	0.88	1.72	2.47	5.12
	4.00	0.45	0.69	1.14	1.40	1.96

**Nota:** Los datos se presentan en porcentaje del producto interno bruto de 2008 a valor presente neto. En el escenario B2, se considera una disminución en la cantidad de emisiones de gases de efecto invernadero a nivel mundial; mientras que el escenario A2 prevé un aumento significativo en la generación de emisiones de gases de efecto invernadero. Tomado de CEPAL (2018), con base en datos de CEPAL, CCAD/SICA, UKAID y DANIDA (2011).

<sup>5</sup> Las tasas de descuento estiman el valor actual de los costos futuros. El valor de la tasa de descuento refleja el porcentaje en que una unidad de beneficios presentes es más valiosa que esa misma unidad en un momento futuro. Una tasa de descuento más elevada supone un mayor descuento en el futuro, lo que muestra una mayor indiferencia hacia las generaciones futuras y un mayor apego al consumo actual (CEPAL, CCAD/SICA, UKAID y DANIDA, 2011 citado por CEPAL [2018]).

### 5.3 Calidad del agua

La calidad de agua de algunos de los ríos y lagos es medida en forma sistemática por varias instituciones como AMSA, el INSIVUMEH, el MSPAS y algunas universidades. Sin embargo, los esfuerzos se limitan a áreas geográficas específicas y no a nivel nacional. Por ejemplo, el INSIVUMEH ha concentrado sus esfuerzos desde el 2007 en la cuenca del río Olopa/Güija, con datos de calidad del agua tanto superficiales como de pozos, que han revelado concentraciones preocupantes de cadmio, plomo y cromo (INSIVUMEH, 2013 citado por GWP Centroamérica [2015]). AMSA solo lo hace en los ríos que desembocan en el Lago de Amatitlán y en el propio lago (AMSA, 2003). El lago presenta altos niveles de contaminación resultante de las descargas domiciliarias e industriales de la zona metropolitana de Guatemala. La Universidad del Valle de Guatemala (UVG) ha realizado estudios en la cuenca del Lago de Atitlán, a lo cual ha contribuido AMSCLAE. En la última década, estos esfuerzos han sido impulsados para monitorear los brotes de cianobacteria. El MSPAS, por su parte, hace monitoreo de los sistemas de agua doméstica. Asimismo, el MARN hace algunas mediciones, pero son más puntuales que sistemáticas. Según IARNA, en 2009 había 14 cuencas con alta contaminación física, biológica y contaminantes tóxicos (IARNA-URL, 2012).

#### 5.3.1 Tipos, niveles y fuentes de contaminación en ríos y lagos

De toda el agua utilizada en el país, se generan anualmente alrededor de 1540 millones de m<sup>3</sup> de aguas residuales, las cuales en su mayoría son vertidas sin tratamiento a cuerpos de agua receptores. Alrededor del 5 % de las aguas residuales se tratan (SEGEPLAN 2007 citado por IANAS [2012]), a pesar de que se cuenta con la normativa específica desde 1989 y actualizada en el 2006 (Acuerdo gubernativo 236-2006, 2006), la cual exige el cumplimiento de cierta calidad del efluente que se descarga a los cuerpos de agua (IANAS, 2018).

Además, los residuos de los agroquímicos utilizados en la agricultura son una fuente no puntual del deterioro de la calidad del agua al ser transportados por los procesos de precipitación-escorrentía. Sin embargo, no hay regulaciones en el país para el control de las fuentes no puntuales de contaminación de los cuerpos de agua.

El cambio de uso de la tierra, sin las medidas de conservación de suelos y aguas, genera, además de la pérdida de la cobertura vegetal, erosión y sedimentación que aporta a la degradación del agua. En el país, el sobreuso de la tierra es del 25 % y la tasa de erosión potencial en las áreas sobre-utilizadas es ocho veces mayor a las subutilizadas (Coc y Vane-gas, 2015 citado por IANAS [2018]).

La normativa sobre la calidad del agua para consumo humano y de descargas de aguas residuales del país (Acuerdo gubernativo 236-2006, 2006; COGUANOR, 1985) no establece parámetros para contaminantes emergentes (fármacos, disruptores endocrinos y nanopartículas) ni pruebas de ecotoxicidad, entre otros; por lo que no aseguran que estos no estén presentes (IANAS, 2018).

Por lo anterior, el deterioro de la calidad del agua es un problema grande en el país, por los efectos en la salud pública, en los ecosistemas acuáticos y en las actividades económicas. De continuar la tendencia de deterioro, la vulnerabilidad climática será mayor, puesto que la contaminación del agua limita su uso para ciertos fines.

El volumen de agua contaminada que se descarga a las cuencas proviene en un 40 % de los municipios, otro 40 % de las actividades agropecuarias, un 13 % de las industrias y el 13 % restante de las agroindustrias. Sin embargo, la carga de contaminación (toneladas de DBO o DQO al año) no guarda la misma proporción que el volumen, como lo mostró un estudio de caso, donde las agroindustrias ubicadas en dos cuencas de la vertiente del Pacífico contribuyeron con mayor carga que la generada por la población (SEGEPLAN, 2006).



### 5.3.2 ¿Qué tan grande es el reto de limpiar el agua? Calidad del agua requerida para los distintos usos.

La falta de cumplimiento de la reglamentación y normatividad por parte de las instituciones que por ley deben velar por la calidad del agua se derivan de una institucionalidad débil. En 2016 se estimó una población de 16 millones de habitantes para Guatemala, 53 % de los cuales vivía en las ciudades. De estos, alrededor de tres millones vivían en la ciudad capital y en los municipios vecinos, ubicados en la parte alta de cuencas de la vertiente del Pacífico y del mar Caribe, específicamente en las partes altas de las cuencas de los ríos María Linda y Motagua, donde la principal fuente de agua es subterránea.

La urbanización ha provocado la reducción de la infiltración, sobreexplotación de los acuíferos por la demanda creciente y la contaminación de las fuentes de agua por la descarga de aguas residuales sin tratamiento. En el año 2030, se estima que cerca de 70 % de la población vivirá en espacios urbanos y habrá nueve ciudades intermedias –de medio a más de un millón de habitantes– que requerirán de abastecimiento de agua y saneamiento (IANAS, 2015).

El reto de limpiar el agua requiere voluntad política, fortalecer capacidades en las instituciones para ejercer el cumplimiento de la reglamentación existente (Acuerdo gubernativo 236-2006, 2006) y fuertes inversiones financieras (IANAS, 2018).

### 5.4 Conclusión

Guatemala es un país privilegiado con una disponibilidad promedio de agua de entre 5983 y 12 197 m<sup>3</sup> per cápita al año, dependiendo de cuál de los tres balances hídricos reportados en el país se utilice. En todo caso, la disponibilidad per cápita es mayor al promedio mundial y al valor límite de riesgo hídrico (1000 m<sup>3</sup>/habitante/año). Este hecho constituye una ventaja significativa que debe aprovecharse para construir un país resiliente.

Esta disponibilidad se caracteriza por ser desigual en el tiempo debido a los periodos de lluvia y sequía, la diferencia de precipitación entre la época seca y de lluvias, que en promedio duran seis meses cada una, y debido también a la variación interanual. Existe, además, una diferencia de disponibilidad que depende de la ubicación en el país. La demanda también presenta variaciones de acuerdo con los asentamientos humanos densos, el desarrollo industrial y la producción agrícola de riego. Considerando que existe suficiente agua en el país, el reto recae en la administración del recurso. CEPAL (2018) reportó que, con el aumento de la población y el crecimiento de las actividades productivas, la demanda de agua podría crecer un 140 % en 2030, un 324 % en 2050 y hasta un 1667 % al final del siglo en el escenario base sin cambio climático. En los escenarios A2 y B2, estos aumentos podrían llegar al 183 %, 406 % y 2119 % en los mismos cortes de tiempo. En este mismo escenario, la disponibilidad total de agua en Guatemala podría disminuir un 25 % en 2030, un 31 % en 2050 y un 62 % en 2100, respecto al año 2000. La disponibilidad de agua per cápita podría pasar de 12 197 a 1467 m<sup>3</sup> por habitante al año hacia el 2100 (CEPAL et al., 2018). Si se utiliza el valor de disponibilidad menor (97 120 millones de m<sup>3</sup> al año), en el escenario A2 al año 2100, se tendría una dotación per cápita menor al valor límite de riesgo hídrico.

La combinación de cambios en la demanda y en la disponibilidad del recurso hídrico con cambio climático aumentaría la intensidad del uso de agua en el escenario A2 en un 8.6 % en 2030, un 19.9 % en 2050 y un 251 % en 2100, si no se realizan las medidas de adaptación y ahorro.

El nivel de intensidad del uso de agua de 2100 sería muy superior al umbral del 20 % aceptado internacionalmente como crítico para el estrés hídrico (CEPAL et al., 2018). Estos datos nos indican que las presiones sobre el agua serán cada vez más fuertes, por lo que la necesidad del ordenamiento de los recursos hídricos es impostergable.

La gestión adecuada de los recursos hídricos requiere manejar el agua en ciclos cerrados y definir un volumen ecológico, que es la cantidad de agua necesaria para el mantenimiento y la reproducción de los ecosistemas, la conservación de la diversidad biológica, los bienes y servicios que estos proveen, y las reservas hídricas superficiales y subterráneas en el presente y en el futuro (CEPAL et al., 2018).

Por lo anterior, la gestión de los recursos hídricos debe implementar medidas para la mayor eficiencia del consumo, incluyendo al sector agropecuario, que es el mayor usuario, y desarrollar un plan maestro de gestión integral de recursos hídricos con portafolios de proyectos financiables. La gestión debe orientarse también a completar la cobertura del acceso al agua potable de la población que vive en situación de pobreza e impulsar programas de saneamiento y salud pública en áreas rurales (CEPAL et al., 2018).

Se listan a continuación, las necesidades y vacíos para lograr una seguridad hídrica, descritos en varios documentos especializados sobre el tema (Castellanos & Guerra, (2009); CEPAL, (2018) con base en CEPAL, CAC, COMISCA, CCAD, COSEFIN, SIECA, UKAID y DANIDA, 2015; GWP Centroamérica, [2015]):

- Completar la cobertura del acceso al agua potable de la población en situación de pobreza.
- Manejar el agua en la forma de ciclos cerrados: protección de fuentes, colección y distribución sin desperdicio ni fugas, consumo responsable; así como el tratamiento, reutilización y reciclado del agua residual para su utilización y su reintegración al ambiente, no solo como servicio de suministro y de saneamiento.
- Definir un volumen ecológico en términos del ambiente al que se aspira, referente para acciones de conservación de la diversidad biológica, bienes y servicios de los ecosistemas y de las reservas hídricas superficiales y subterráneas en el presente y en el futuro.
- En el sector municipal, controlar las pérdidas de agua y asegurar el uso final eficiente mediante tarifas progresivas y justas por volumen de consumo; ampliar y combinar fuentes de agua (reutilizadas, superficiales y subterráneas, especialmente la captura de agua de lluvia) para restaurar el caudal ecológico y recargar acuíferos y fuentes alternas de agua potable; y tratar las aguas residuales comunes.
- En el sector agropecuario, implementar opciones de ahorro y almacenamiento de agua, como estanques de almacenamiento locales, obras de conservación de suelos y aguas, incluyendo terrazas; reducir la evaporación cubriendo el suelo con rastrojo; monitorear la humedad del suelo y el agua precipitada; usar con eficiencia el agua de riego; reubicar la agricultura más sensible a zonas con la precipitación requerida; desarrollar cultivos y variedades con menor consumo de agua y más resistentes a la sequía; coordinar la planificación agrícola con la hídrica; y promover el uso responsable de fertilizantes y plaguicidas para prevenir la contaminación del agua.
- En los sectores industrial y de servicios, incluido el turismo, implementar certificaciones comerciales como la norma ISO 14000, que prevé el uso eficiente, reciclaje y no contaminación del agua; otorgar incentivos económicos y fiscales; reemplazar tecnologías de uso intensivo de agua por las de uso eficiente (por ejemplo, el beneficio seco del café y la reutilización del agua de enfriamiento en el procesamiento del azúcar); y evitar vertidos de descargas industriales sin tratar.

- Reforzar y ampliar los marcos legales impulsando mejoras progresivas a las normas nacionales y programas de pago por servicios ambientales, y de uso eficiente, ahorro, tratamiento y reciclaje del agua.
- Desarrollar un plan maestro de gestión integral de recursos hídricos con un portafolio de proyectos financiados que promuevan la integración regional.
- Integrar la planeación y el manejo del agua en cuencas hidrográficas con la coordinación en todos los niveles de gobierno, usuarios del agua y autoridades municipales y locales, para desarrollar programas de trabajo por regiones político-administrativas y asegurar su viabilidad.
- Establecer diseños y normas de infraestructura hídrica y planes de gestión flexibles ante posibles cambios estacionales, como mayor variabilidad de la precipitación y de la disponibilidad del agua a nivel espacial y temporal.
- Crear y fortalecer capacidades en las entidades públicas relacionadas con el agua para planificar una gestión integrada de los recursos hídricos, incluyendo la recopilación, manejo y ampliación de datos e información hidrometeorológica, estimación de demandas, catastro de usuarios, entre otras.
- Considerar diversas escalas de presas, incluidas las minihidráulicas de abastecimiento para regiones específicas, y analizar la conveniencia de implementar proyectos de represas de usos múltiples (generación de hidroelectricidad, riego, consumo humano y gestión de flujos).
- Crear un marco de negociación social de proyectos de infraestructura hidráulica que supere la conflictividad del pasado y presente, y que permita el desarrollo equitativo y sostenible de poblaciones aledañas a las obras y en las zonas de conservación.
- Desarrollar una gestión adecuada de conflictos asociados a los embalses mediante el uso diversificado de presas y embalses reguladores: hidroelectricidad, piscicultura, ecoturismo, riego agrícola, educación ambiental, beneficios directos a pobladores del lugar y otros.
- Desarrollar campañas de información pública y alentar la participación responsable de todos los sectores, como apoyo político y social para instrumentar el uso eficiente y la protección del recurso hídrico.

## 5.5 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Acuerdo gubernativo 236-2006. Reglamento de las descargas y reuso de aguas residuales y de la disposición de locos (2006). Guatemala.
- Acuerdo legislativo 18-93. Constitución Política de la República de Guatemala (1993). Guatemala.
- Autoridad para el Manejo Sustentable de la Cuenca y del Lago de Amatitlán (AMSA). (2003). *Plan maestro de manejo integrado de la cuenca y del lago de Amatitlán*.
- Banco de Guatemala (BANGUAT), & Instituto de Investigación y Proyección sobre Ambiente Natural y Sociedad (Iarna-URL). (2009). *Cuenta integrada de tierra y ecosistemas (CITE). Sistema de contabilidad ambiental y económica integrada de Guatemala*. Recuperado a partir de <http://biblio3.url.edu.gt/publiclg/IARNA/divulgativa/08.pdf>
- Banco Mundial. (2017). *Diagnóstico de agua, saneamiento e higiene y su relación con la pobreza y nutrición en Guatemala*. Washington, D.C. Recuperado a partir de <http://documentos.bancomundial.org/curated/es/845711520948334504/pdf/124240-WP-PUBLIC-WWPDGuatemalaSP.pdf>
- Castellanos, E., & Guerra, A. (2009). *El cambio climático y sus efectos sobre el desarrollo humano en Guatemala*. Cuadernos de desarrollo humano 2007/2008. Guatemala.
- CGIAR Research Program on Climate Change, Agriculture and Food Security (CCAFS), Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), & Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación (MAGA). (2015). *Agricultura sostenible adaptada al clima (ASAC): alternativas para el Corredor Seco en Guatemala*. Cali, Colombia. Recuperado a partir de <https://cgspace.cgiar.org/rest/bitstreams/115217/retrieve>
- Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), Fondo Nórdico de Desarrollo (NDF), Banco Interamericano de Desarrollo (BID), & Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales (MARN). (2018). *La economía del cambio climático en Guatemala - Documento técnico 2018*. Ciudad de México. Recuperado a partir de [https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/43725/1/S1800650\\_es.pdf](https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/43725/1/S1800650_es.pdf)
- Comisión Guatemalteca de Normas (COGUANOR). Co-guanor Ngo 29 001:99. Agua potable (1985). Guatemala.
- Cuerpo de Ingenieros de los Estados Unidos de América. (2000). *Evaluación de recursos de agua de Guatemala*. Recuperado a partir de <http://www.sam.usace.army.mil/Portals/46/docs/military/engineering/docs/WRA/Guatemala/Guatemala WRA Spanish.pdf>
- Gobernación de Escuintla, Acción Contra el Hambre (ACH), & Instituto Privado de Investigación sobre Cambio Climático (ICC). (2017). *Sistematización de la experiencia de las mesas técnicas de los ríos Madre Vieja y Achiguate en el departamento de Escuintla*. Guatemala. Recuperado a partir de [https://icc.org.gt/wp-content/uploads/2018/02/libro\\_sistematizacion\\_de\\_mesas\\_tecnicas\\_-\\_baja\\_resolucion.pdf](https://icc.org.gt/wp-content/uploads/2018/02/libro_sistematizacion_de_mesas_tecnicas_-_baja_resolucion.pdf)
- Guerra, A., & Alvarado, M. (2006). *De la Sierra de las Minas al valle de San Jerónimo: acciones locales para la gestión integrada del agua*. Turrialba: CATIE.
- Guerra, A., & Reyes, L. (2008). Experiencia de participación y contribuciones de los recursos naturales en la subcuenca del Río Ixtacapa. *Revista Mesoamericana de la Conservación*, 1(2), 19–26. <https://doi.org/ISSN:1998-0493>
- Global Water Partnership Centroamérica (GWP). (2015). *Situación de los recursos hídricos en Centroamérica*. Tegucigalpa. Recuperado a partir de [https://www.gwp.org/globalassets/global/gwp-cam\\_files/srh\\_guatemala\\_2016.pdf](https://www.gwp.org/globalassets/global/gwp-cam_files/srh_guatemala_2016.pdf)



- Instituto de Investigación y Proyección sobre Ambiente Natural y Sociedad (Iarna-URL). (2012). *Perfil ambiental de Guatemala 2010-2012: vulnerabilidad local y creciente construcción de riesgo*. Guatemala: Instituto de Agricultura, Recursos Naturales y Ambiente, Universidad Rafael Landívar.
- Instituto de Investigación y Proyección sobre Ambiente Natural y Sociedad (Iarna-URL), & Asociación Instituto de Incidencia Ambiental (IIA). (2006). *Perfil ambiental de Guatemala 2006: tendencias y reflexiones sobre la gestión ambiental*. Guatemala. Recuperado a partir de <https://www.url.edu.gt/publicacionesurl/FileCS.aspx?id=41022>
- Instituto Nacional de Estadística (INE). (2016). *Encuesta de condiciones de vida 2014. Tomo I*. Guatemala: Instituto Nacional de Estadística.
- Instituto Privado de Investigación sobre Cambio Climático (ICC). (2014). *Prácticas de adaptación a la variabilidad y cambio climático en los cultivos de maíz y frijol en Guatemala*. Guatemala.
- Instituto Privado de Investigación sobre Cambio Climático (ICC). (2017). *Informe de labores 2016*. Guatemala. Recuperado a partir de <https://icc.org.gt/wp-content/uploads/2017/04/ICC-Informe-de-labores-2016.pdf>
- Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación (MAGA). (2013). *Política de promoción del riego 2013-2023*. Guatemala: Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación.
- Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales (MARN). (2013). *Informe ambiental del estado de Guatemala 2012*. Guatemala.
- Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (WWAP). (2012). *The United Nations World Water Development report 4: managing water under uncertainty and risk (Vol. 1)*. Paris: World Water Assessment Programme, UNESCO.
- Programa Clima, Naturaleza y Comunidades en Guatemala (USAID CNCG). (2017). *Acciones exitosas de adaptación al cambio climático y reducción de la pobreza en el altiplano occidental de Guatemala*. Recuperado a partir de <http://www.usaid-cncg.org/wp-content/uploads/2018/04/Acciones-Exitosas-Final-1.pdf>
- Red Interamericana de Academias de Ciencias (IANAS). (2012). *Diagnóstico del agua en las Américas*. México, D.F. Recuperado a partir de <http://www.ianas.org/water/book/guatemala.pdf>
- Red Interamericana de Academias de Ciencias (IANAS). (2015). *Desafíos del agua urbana en las Américas*. México, D.F. Recuperado a partir de <http://unesdoc.unesco.org/images/0024/002452/245202s.pdf>
- Red Interamericana de Academias de Ciencias (IANAS). (2018). *Calidad del agua en las Américas*.
- Secretaría de Planificación y Programación de la Presidencia (SEGEPLAN). (2006). *Política nacional de gestión integrada de los recursos hídricos y de la estrategia nacional de gestión integrada de los recursos hídricos*. Guatemala. Recuperado a partir de [http://cebem.org/revistaredesma/vol11/pdf/legislacion/engirh\\_guatemala.pdf](http://cebem.org/revistaredesma/vol11/pdf/legislacion/engirh_guatemala.pdf)
- USAID Nexos Locales. (2017). *Planes municipales de adaptación al cambio climático*.