

Public Disclosure Authorized

Public Disclosure Authorized

Public Disclosure Authorized

Public Disclosure Authorized

Cutzamala

Diagnóstico integral

Diagnóstico para el manejo integral de las subcuencas Tuxpan, El Bosque, Ixtapan del Oro, Valle de Bravo, Colorines-Chilesdo y Villa Victoria pertenecientes al Sistema Cutzamala

Copyright © 2015 por Banco Internacional de Reconstrucción y Fomento / Banco Mundial
1818 H Street, N.W.
Washington, D.C. 20433, U.S.A.
www.bancomundial.org.mx
Todos los derechos reservados
Primera edición en español: Mayo 2015

El Banco Mundial y la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) no aceptan responsabilidad alguna por cualquier consecuencia derivada de su uso o interpretación. El Banco Mundial y la CONAGUA no garantizan la exactitud de la información incluida en esta publicación y no acepta responsabilidad alguna por cualquier consecuencia derivada de su uso o interpretación.

Los límites, los colores, las denominaciones y demás información contenida en los mapas de este libro no presuponen, por parte del Grupo del Banco Mundial y la CONAGUA, juicio alguno sobre la situación legal de cualquier territorio, ni el reconocimiento o aceptación de dichos límites.

Los resultados, interpretaciones y conclusiones expresadas en este libro son en su totalidad del autor y no deben ser atribuidas en forma alguna al Banco Mundial, a sus organizaciones afiliadas o a los miembros de su Directorio Ejecutivo ni a los países que representan y a la CONAGUA.

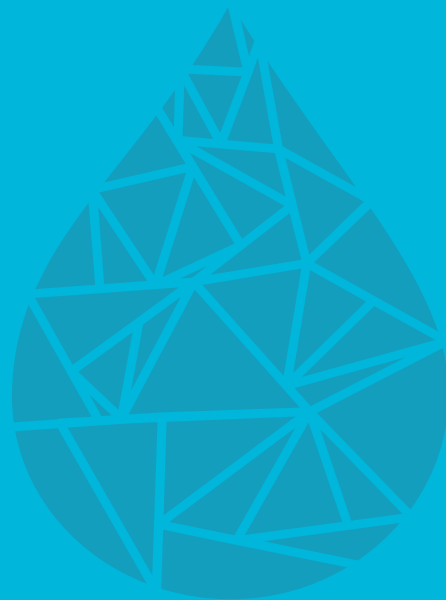
Derechos y Permisos

El material de esta publicación está protegido por el derecho de propiedad intelectual. Las solicitudes de autorización para reproducir partes de esta publicación deberán enviarse a el Oficial Sénior de Comunicaciones de la Oficina del Banco Mundial para Colombia y México al Fax (55) 5480-4222. Cualquier otra pregunta sobre los derechos y licencias debe ser dirigida al Banco Mundial en México en el número de fax referido.

Banco Mundial
Impreso y hecho en México / 2015
Edición y corrección de estilo: María Isabel López Santibáñez
Diseño de Interiores y Portada: Alejandro Espinosa/sonideas
Fotografía de la portada e interiores: Adalberto Ríos Szalay/Adalberto Ríos Lanz

Diagnóstico para el manejo integral de las subcuencas Tuxpan, El Bosque, Ixtapan del Oro, Valle de Bravo, Colorines-Chilesdo y Villa Victoria pertenecientes al Sistema Cutzamala. – México : Banco Mundial, 2015.
xxx p. : il.; maps.

1. Agua potable – Manejo de Subcuencas – Río Tuxpan – Michoacán, Mexico. – 2. Agua potable – Manejo de Subcuencas – El Bosque - Michoacán, Mexico. – 3. Agua potable – Manejo de Subcuencas – Ixtapan del Oro, México, Estado de – 4. Agua potable – Manejo de Subcuencas - Agua potable – Manejo de Subcuencas – Valle de Bravo – Mexico, Estado de. – 5. Agua potable – Manejo de Subcuencas –Colorines-Chilesdo - México, Estado de. – 6. Agua potable – Manejo de Subcuencas – Villa Victoria, México, Estado de.
628.1/4/09725/D43



Contenido

Reconocimientos	7
Presentación	9
Introducción	11
Plan del Informe	15
I. El sistema Cutzamala y el abastecimiento de agua a los Valles de México y Toluca	19
1. Balance hídrico en el Valle de México	19
2. Los orígenes del sistema	22
3. El sistema Cutzamala	23
II. Medio biofísico	31
1. Geología	31
2. Suelos	34
3. Clima	34
4. Precipitación	34
5. Hidrografía	36
6. Vegetación y usos del suelo	40
7. Cambios en el paisaje por el crecimiento urbano	46
8. Deterioro de la calidad de los recursos	46
9. Hipótesis sobre las consecuencias del cambio climático	51
10. Conclusiones	52

III. Panorama socioeconómico y de comunicación	55
1. Transformaciones y contrastes en el paisaje social.....	55
2. Una población creciente, con rápidos cambios.....	56
3. Persistente pobreza, con alta marginación.....	58
4. Actividades económicas.....	60
5. Tenencia de la tierra.....	61
6. Actores y conflictividad.....	62
7. Comunicación y compromiso con la comunidad.....	63
8. Conclusiones.....	63
IV. Infraestructura	67
1. Componentes.....	67
2. Comentarios y recomendaciones.....	72
3. Inversiones propuestas.....	78
4. Conclusiones.....	78
V. Usos del agua en las subcuencas	81
1. Administración del agua.....	81
2. Usos del agua.....	82
3. Transferencias de agua a las zonas metropolitanas.....	85
4. Conflictividad.....	85
5. Conclusiones.....	86
VI. Aspectos Hidroagrícolas	89
1. Áreas de riego.....	89
2. Consumo de agua en la agricultura de riego.....	98
3. Situación y perspectivas de la irrigación en las subcuencas.....	98
4. Conclusiones.....	100
VII. Balances hídricos	103
1. Aspectos generales.....	103
2. Metodología.....	104
3. Resultados.....	105
4. Conclusiones.....	109
VIII. Calidad del agua en las subcuencas	111
1. El proceso de deterioro.....	111
2. Presencia de algas en los embalses.....	112
3. La calidad del agua en el sistema Cutzamala.....	113
4. Escenarios futuros.....	118
5. Medidas.....	120
6. Conclusiones.....	123
IX. Aspectos económicos y financieros	127
1. Costo total del agua en el sistema Cutzamala.....	127

2.	Balance financiero	134
3.	Balance económico	135
4.	Costos y subsidios adicionales en el suministro de agua	136
5.	Complejidad institucional del esquema de financiamiento	138
6.	Conclusiones y recomendaciones	138
X.	Aspectos institucionales y de planeación	141
1.	Complejidad institucional-territorial	141
2.	El OCAVM: desafíos institucionales	142
3.	El OCB: desafíos institucionales	143
4.	Desafíos de coordinación intersectorial	143
5.	Planeación y coordinación de la acción pública	146
6.	Consejos de cuenca y órganos auxiliares: los desafíos en la gobernanza del agua	148
7.	Conclusiones	149
XI.	Aspectos legales	151
1.	Antecedentes	151
2.	Marco legal del sistema Cutzamala	152
3.	Actos de autoridad	153
4.	Regulación de las subcuencas de aportación en relación con el sistema Cutzamala	154
5.	Normas aplicables e instrumentos de fomento	156
6.	Conclusiones	157
XII.	Realidades en las subcuencas	161
1.	Subcuenca Tuxpan	162
2.	Subcuenca El Bosque	163
3.	Subcuenca Ixtapan del Oro	166
4.	Subcuenca Valle de Bravo	167
5.	Subcuenca Villa Victoria	171
6.	Subcuenca Chilesdo-Colorines	173
7.	Conclusiones	177
XIII.	Conclusiones y desafíos	181
1.	Los hallazgos que confortan	182
2.	Las circunstancias que preocupan	182
3.	Los desafíos hacia la sustentabilidad	186
4.	Una visión aglutinante y un pacto social para la sustentabilidad	187
5.	Próximos pasos	188
	Bibliografía	191
	Índice de Figuras	195
	Índice de tablas	198



Reconocimientos

El equipo de trabajo desea agradecer a la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), a su Subdirector General de Planeación, al Organismo de Cuenca Aguas Valle de México (OCAVM) y al Organismo de Cuenca Balsas (OCB) por el liderazgo y el apoyo otorgado durante la elaboración de este *Diagnóstico Integral del Sistema Cutzamala y sus Subcuencas de Aportación*. Las sesiones del Comité Directivo de la Cooperación Técnica CONAGUA-Banco Mundial proporcionaron una invaluable orientación general en relación con las políticas públicas y los objetivos de desarrollo. El equipo de trabajo también le extiende un agradecimiento especial al MI Fernando González Cáñez por su dirección en la realización de los trabajos. Se destaca la coordinación continua de la Gerencia de Cooperación Internacional de la CONAGUA y de la Dirección de Planeación del OCAVM en la realización de este estudio.

Deseamos también agradecer la colaboración y las aportaciones recibidas de cada uno de los miembros de los grupos de trabajo.

El grupo “Aspectos Legales, Institucionales y de Planeación” trabajó bajo la coordinación de Arsenio E. González Reynoso, Luis Enrique Ramos Bustillos y Gustavo A. Ortiz Rendón, consultores del Banco Mundial, y contó con el apoyo de Itzkuauhtli Zamora Sáenz y María Guadalupe Díaz Santos, consultores. Apreciamos las contribuciones de sus integrantes, en particular: Francisco Villarreal Snyder (OCAVM), Jesús Manuel Ham Chi (CONAGUA), Emma Mercado Molina (CONAGUA), Aniceto Ortega Caballero (OCAVM), Miguel Ángel Córdova Rodríguez (IMTA), Suraya Padua Díaz (CONAGUA), Beatriz Castillo (UNAM), Héctor García Martínez (OCAVM), Jorge Reyes Gaytán (OCB), Juan Manuel García Varela (OCAVM), Prudencio Alfredo Mora Fonseca (OCAVM), Adolfo Caso Lara (OCAVM), Sonia Prado (OCB), Wendy Marisol Ayala Cortés (UNAM), Zaira Hernández Carrillo (OCAVM) y Arturo Villanueva (Banco Mundial).

Los grupos “Calidad de Agua en las Subcuencas” y “Usos del Agua en las Subcuencas” fueron encabezados por José Luis Calderón Bartheneuf y Carlos Menéndez Martínez, consultores del Banco Mundial. Agradecemos las colaboraciones de sus miembros, en particular: José Luis Jardines (OCAVM), Juan Manuel Martínez (OCAVM), Ramiro Gutiérrez Wood (OCAVM), Juan Daniel McNaught González (OCAVM), Maximiliano Olivares (ANEAS), Patricio Maya Vilchis (OCB), Miguel Ángel Córdova Rodríguez (IMTA), Hugo Samuel Rojano Solorio (OCAVM), Gustavo López Fernández (OCAVM), Joel Hernández Gómez (OCB), Pedro Oropeza Gutiérrez (ANEAS), Greg Morris (consultor, Banco Mundial), Alex Horne (consultor, Banco Mundial) y Renán Poveda (Banco Mundial).

El grupo “Información y Herramientas” fue liderado por Javier Aparicio, consultor del Banco Mundial, y contó con las aportaciones de los siguientes profesionales: Juan Carlos García Salas (OCAVM), Guadalupe Fuentes (Instituto de Ingeniería de la UNAM), Laura Berenice Medina Bocanegra (OCB), Delia González Rojas (OCB), Ramón López Flores (OCAVM), Paula Uyttendaele (consultora, Banco Mundial) y Jorge Ecurra (consultor, Banco Mundial).

El grupo “Panorama Socioeconómico y de Comunicación” contó con el liderazgo de Santiago Funes, consultor del Banco Mundial, y colaboraron los siguientes miembros: José Luis Montalvo Espinoza (OCAVM), Daniel Mauricio Reyes Hernández (OCAVM), Porfirio Caballero Cerón (OCAVM), Felipe de Jesús González Garza (OCAVM), Miguel Basilio Varela (OCAVM), Ramón Cárdenas Arredondo (OCAVM), Efrén Hernández Barro (OCAVM), Jorge A. Reyes Gaytán (OCB), Sonia Prado Roque (OCB), Myriam Anguiano Vázquez (OCB), Virginia Ugalde y Pimienta (CONAGUA), Hugo T. Sánchez Hernández (OCB), Soraya Méndez Pacheco (IMTA), Raúl Medina Mendoza (IMTA), José Ramón Romero Franzolo (CONAGUA), Raúl Ocaña Sánchez (OCAVM), Carlos Zolla (UNAM), María Luisa Torregrosa (FLACSO), Karina Kloster (FLACSO), J. Amalia Salgado López (FLACSO), Horacio Bonfil (PROCUENCA / BIOMA SC), Esteban Jacques (C3-Consensus), Fernando Calderón (C3-Consensus) y Diana Fonseca (C3-Consensus).

El grupo “Medio Biofísico y Aspectos Hidroagrícolas” fue encabezado por Manuel Contijoch, consultor del Banco Mundial, y agradecemos las aportaciones a sus miembros: Rafael Renero Amparán (OCAVM), Miguel Ángel Aguayo y Camargo (OCAVM), Ezequiel González Guerrero (CONAGUA), Mario Villareal (CONAGUA), Everardo Arroyo Salgado (OCB), Raúl Medina Mendoza (IMTA), Enrique Mejía Sáenz (COLMERN), Agustín Rodríguez González (COLMERN), David Vázquez Soto (COLMERN), Alejandra Flores Ávalos (COLMERN), Raúl Solís Castro (OCAVM), Nessi J. Rivera Ulloa (OCAVM), Sergio Enríquez Zapata (OCAVM) y Laurencio Rosano (OCAVM).

El grupo “Aspectos Económico-Financieros de la Operación del Sistema Cutzamala” fue liderado por Luz María González, consultora del Banco Mundial, y contó con las aportaciones de las siguientes personas: Claudia Hernández (OCAVM), Karime Y. Orozco Acosta (CONAGUA), Griselda Medina Laguna (CONAGUA), Emma Mercado Molina (CONAGUA), Héctor Madrid Luna (CONAGUA), María de los Ángeles Suárez (CONAGUA), Gustavo Barrera (OCB), María Teresa Hernández (OCB), Raymundo Rafael Díaz Noria (CONAGUA), Yunuen Chanes López (CONAGUA), Germán Rangel (CONAGUA), José Raúl Millán López (CONAGUA), Noé Sahue (CONAGUA), Najil Rodríguez (OCAVM), Jesús Padilla (OCAVM), Jorge González García (OCAVM), Alejandro Beltrán Valladares (OCAVM), José Luis Jardines (OCAVM), Ramiro Gutiérrez Wood (OCAVM), Amado Croda (OCAVM), Gerardo Chaparro Rocha (CONAGUA), Rafael B. Carmona Paredes (CONAGUA), Yliana Hernández Hernández (CONAGUA), Ricardo Pizzuto (CONAGUA), Alfredo Piña Bernal (CONAGUA) y Alfonso Oláiz (consultor, Banco Mundial).

El grupo “Infraestructura del Sistema Cutzamala” fue liderado por Manuel Contijoch, Rafael Torres, Antonio Hernández y José Simas, consultores del Banco Mundial, y contó con el apoyo de los siguientes integrantes: José Luis Jardines (OCAVM), Ramiro Gutiérrez Wood (OCAVM), Abdías Montoya (OCAVM), Javier Vilchis (CONAGUA), Ezequiel González Guerrero (CONAGUA) y Gerardo Méndez (CONAGUA).

Presentación

Este Informe se elaboró en el marco de la Cooperación Técnica CONAGUA-Banco Mundial “Contratación de servicios de consultoría y asesoría técnica especializada para el estudio del diagnóstico para el manejo integral de las subcuencas Tuxpan, El Bosque, Ixtapan del Oro, Valle de Bravo, Colorines-Chilesdo y Villa Victoria pertenecientes al Sistema Cutzamala”.

El objetivo general del diagnóstico es obtener un panorama multidisciplinario de la situación actual y una visión del conocimiento vigente disponible sobre el Sistema Cutzamala. Una vez validado y difundido en diálogo con los diferentes actores, se espera que el diagnóstico proporcione la base para el plan integral de gestión del Sistema Cutzamala, que definirá las inversiones necesarias y suficientes para asegurar su sustentabilidad, así como la propuesta institucional para su ejecución y seguimiento.

Para la elaboración de este diagnóstico se realizó un análisis basado, en gran parte, en el conocimiento de profesionales de las diferentes direcciones y subdirecciones del Organismo de Cuenca Aguas del Valle de México, del Organismo de Cuenca Balsas y de otras entidades de la CONAGUA. El trabajo contó con la participación de profesionales del Instituto de Ingeniería de la UNAM, el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua y el Colegio Mexicano de Especialistas en Recursos Naturales. Asimismo, se formaron varios grupos de trabajo en los que participaron más de 115 especialistas que definieron y enriquecieron los estudios temáticos, con base en los cuales se ha preparado este Informe. Estos estudios constituyen una colección aparte, disponible para la consulta y el examen de los detalles.

En el transcurso del proceso de diagnóstico, y cuando la redacción de los distintos estudios temáticos estaba ya avanzada, el equipo de trabajo recibió orientaciones y sugerencias de las autoridades sectoriales. En particular, el OCAVM propuso una metodología de integración basada en una visión de desarrollo territorial que vincula agua, suelos, bosques, medio ambiente y energía, y que permite organizar el análisis en torno a los ejes de autoridad, ley, fomento y participación social.

Este Informe presenta, condensados, los principales resultados y las conclusiones preliminares del diagnóstico. Como todos los productos de la Cooperación Técnica, está destinado a la discusión interna de los grupos participantes, y tiene la pretensión de ofrecer una oportunidad para recibir orientaciones que permitan enriquecer y precisar las etapas inmediatas del trabajo en curso, particularmente la de validación y difusión con participación de los diferentes actores involucrados. Con esas orientaciones, podrá avanzarse más rápida y eficazmente en la formulación de una visión de las soluciones más adecuadas a la problemática reconocida, así como en la identificación de los objetivos y estrategias que organizarán en los próximos meses la formulación del plan integral de gestión del Sistema Cutzamala hacia la sustentabilidad.



La redacción del presente Informe estuvo a cargo de un equipo del Banco Mundial integrado por expertos mexicanos e internacionales, encabezado por Erwin De Nys, Especialista Sénior en Recursos Hídricos. Manuel Contijoch, Consejero Estratégico del Proyecto, aportó la visión global del diagnóstico integrado, movilizó a expertos clave e incorporó comentarios que contribuyeron a la consolidación del diagnóstico. Santiago Funes fue responsable de integrar los capítulos en el diagnóstico general. La primera versión de noviembre 2014 fue distribuida a todos los grupos de trabajo y a los funcionarios responsables en la CONAGUA, el OCAVM y el OCB, que realizaron aportaciones correctivas y sugerencias de nuevos contenidos. El equipo editorial fue encabezado por María Isabel López Santibáñez y contó con el apoyo de Arturo Villanueva.

Introducción

En el México del siglo XXI el Sistema Cutzamala es a la vez una infraestructura esencial para la vida de millones de personas en dos grandes metrópolis urbanas, y un espacio social y físico en el que se desenvuelve la existencia de cientos de miles de habitantes en ciudades medias y en más de mil pequeñas localidades rurales.

El agua que se genera en las subcuencas ubicadas en los estados de México y de Michoacán, suficiente en la actualidad para sostener tanto el desarrollo de la población de esas subcuencas como los servicios proporcionados al Valle de México y la zona de Toluca, requiere un uso más eficiente, tanto como los recursos naturales en el territorio demandan una mejor protección y acciones de conservación.

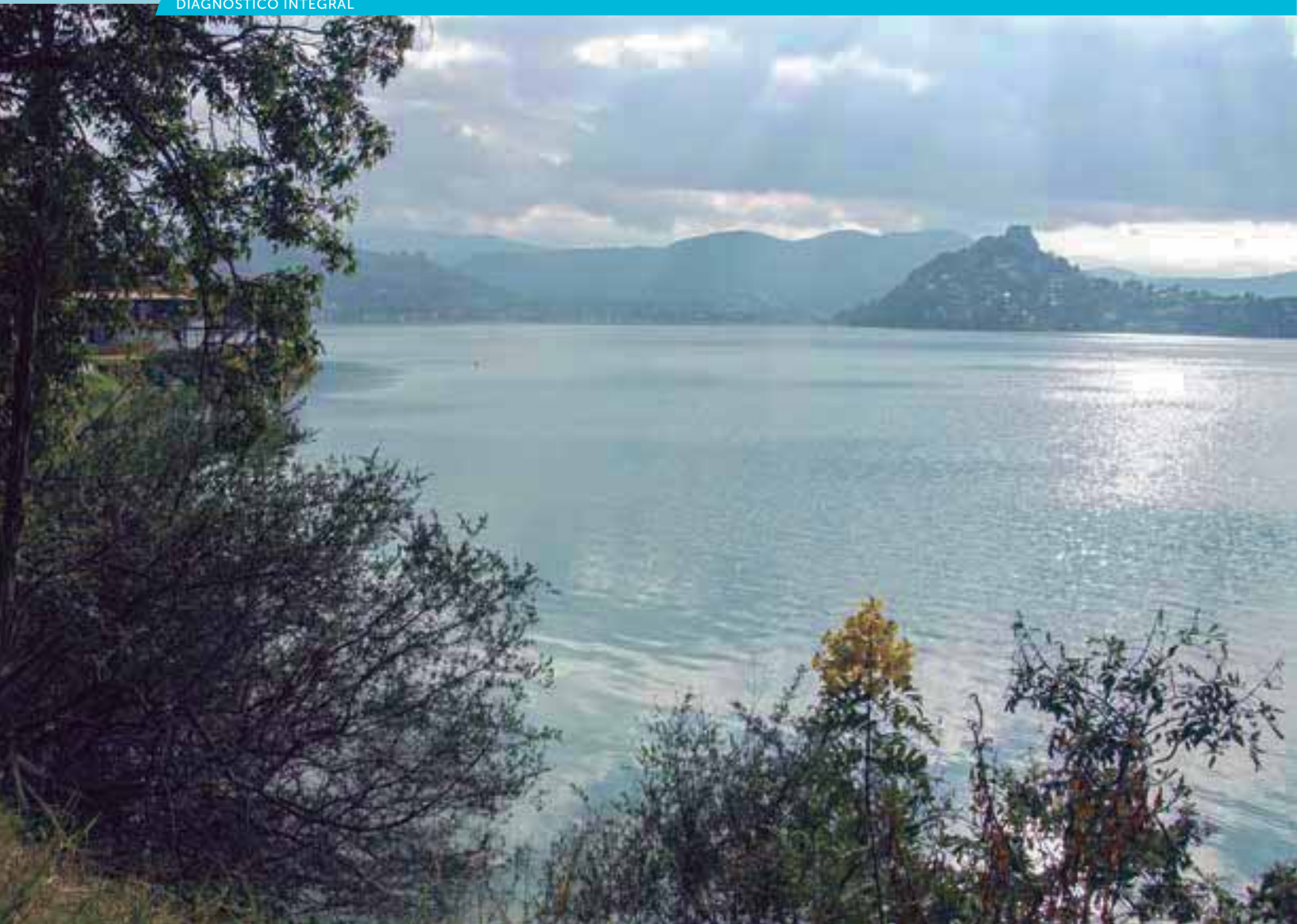
Hoy la sustentabilidad está en riesgo y es una preocupación común que se expresa de manera disímula, con desigualdades en la información disponible para los actores interesados y con conocimientos y creencias a menudo contrastantes.

Hoy los conflictos son crecientes, se originan en expectativas legítimas y tienden a agudizarse a causa de la ineficiencia institucional y sus carencias de coordinación, así como por la ausencia de espacios de negociación y colaboración.

Hoy es, entonces, indispensable actualizar y reconstruir la visión que la sociedad y las instituciones tienen sobre el Sistema Cutzamala, sobre el territorio y la población de las subcuencas, aceptando que son indisolubles tanto para el análisis como para la acción. Tal es el punto de partida de este diagnóstico.

Como complejo hídrico de producción, almacenamiento, conducción, potabilización y distribución de agua dulce, el Sistema proporciona un servicio indispensable para la población y las actividades económicas en el Distrito Federal y en el Estado de México. Aprovecha las aguas de la cuenca alta del río Cutzamala, que provienen de las presas que antes formaban parte del Sistema Hidroeléctrico Miguel Alemán, así como de la presa Chilesdo, construida para aprovechar las aguas del río Malacatepec. Esta obra del Gobierno Federal, desarrollada en diversas etapas, ha estado en funcionamiento con dos objetivos diferentes y sucesivos durante cerca de 80 años.

En la actualidad, el Sistema proporciona el 24% del agua potable que se suministra a la red de distribución en las zonas metropolitanas del Valle de México (ZMVM) y de Toluca (ZMT), que generan alrededor del 38% del PIB nacional, y provee de presión a buena parte del sistema de distribución en la Ciudad de México. Por bombeo, el agua es elevada desde una altura de 1,600 msnm en su punto más bajo hasta 2,702 msnm en el más alto. Atiende además algunas necesidades urbanas y agrícolas en las subcuencas de aportación localizadas en los estados de México y de Michoacán de Ocampo.



Una obra que en su momento figuró —y aún hoy destaca— entre las proezas de la ingeniería hidráulica mundial, el Sistema Cutzamala es un reflejo de la política del manejo del agua como respuesta a las necesidades de dos vastas zonas metropolitanas cuya población y actividades no cesan de crecer. Configura una cuenca que vierte aguas arriba y que al mismo tiempo la conduce desde grandes distancias para entregarla, tratada, a dos sistemas usuarios principales. El Sistema Cutzamala es resultado de una decisión política que atiende al interés general.

Con tal carácter, el Sistema ha tenido y tiene un papel central para el desarrollo de la vida y de las actividades humanas en las áreas donde presta sus servicios. Tal contribución será más significativa en el futuro. Considerando las acciones orientadas a alcanzar un uso más eficiente del agua y un mejor manejo de la demanda en ambas zonas metropolitanas, la aportación del Sistema es crucial. Hasta la fecha no se han iniciado las acciones que permitirían, en el largo plazo, obtener agua de otras fuentes.

Han transcurrido más de tres décadas desde la inauguración, en 1982, del Sistema con propósitos de abastecimiento de agua. Desde entonces, el mundo y el país, la ciencia y la tecnología, las exigencias de justicia y democracia, las formas de definición y realización de las políticas públicas, y el papel del agua en el desarrollo humano han experimentado transformaciones fundamentales y han generado nuevos y difíciles desafíos. A ello se agregan las complejas consecuencias del cambio climático.

El Sistema Cutzamala y las subcuencas que nutren los caudales conducidos y proporcionan el hábitat para su población han cambiado también de manera significativa. Nuevos factores afectan la confiabilidad del Sistema; prevalecen expectativas y necesidades crecientes en la sociedad local; en

algunas subcuencas los conflictos entre usos y entre usuarios del agua tienden a aumentar. Aunque heterogéneos en cada subcuenca, los fenómenos de degradación del medio natural están en curso y la presión humana contribuye a acelerarlos.

La población de las subcuencas ha pasado de 300,000 habitantes a más de 730,000, buena parte de la cual está en condiciones de marginación y pobreza que se acentúan por la carencia de servicios apropiados de agua. Los habitantes en las subcuencas tienen legítimas aspiraciones de mejoría de sus condiciones de vida, de trabajo, de seguridad, y exigen agua para las necesidades domésticas y para las actividades económicas.

El uso del suelo en esos territorios también se ha transformado. Nuevos desarrollos turísticos, la acuicultura y la floricultura, entre otros, así como la expansión de los centros urbanos medios reflejan una actividad económica creciente y una mayor vinculación con la economía regional y nacional.

La actividad agrícola con orientación comercial en superficies regadas —principalmente en las subcuencas ubicadas en Michoacán— ha aumentado en 45% desde 1980 y en 533% en áreas de riego fuera de las subcuencas pero que usan agua producida en ellas. La ausencia de control y de organización en las extracciones del Canal El Bosque-Colorines implica un grave riesgo para los volúmenes suministrados. El deterioro de la infraestructura en el Distrito 045 Tuxpan genera el derroche de un líquido que tiene un alto y creciente valor.

La tala de bosques y el uso del suelo en contra de su mejor vocación, con prácticas inadecuadas de labor y de riego, profundizan el deterioro de la cubierta vegetal y los procesos erosivos en algunas áreas significativas. La carencia de servicios de saneamiento, generalizada en las pequeñas poblaciones, y la ausencia de sistemas eficaces de tratamiento de aguas residuales producen cantidades crecientes de residuos sólidos y afectan la salud de la población local. La erosión y la contaminación alteran de forma creciente tanto la cantidad como la calidad del agua captada, generan nuevas y mayores exigencias para la potabilización, y aumentan los riesgos para el cumplimiento de los servicios proporcionados por el Sistema.

Los cambios ocurridos y los previsible, las realidades incómodas y las tendencias que se registran en este diagnóstico en todos los aspectos analizados suponen que las condiciones necesarias para lograr un servicio sustentable del Sistema Cutzamala en el mediano plazo no están completamente satisfechas.

El análisis revela, como se verá en las páginas que siguen, que existe una estrecha relación entre todas las dimensiones: ambientales, sociales, económicas, financieras, tecnológicas, institucionales y políticas. Se trata de una interrelación compleja, cuya comprensión requiere mejorar la información y hacerla accesible a todos los actores, aprovechar al máximo los conocimientos disponibles y desarrollar con urgencia otros nuevos.

En particular, las acciones que puedan emprenderse o reforzarse para atender la situación actual demandan una mayor eficacia y una mejor coordinación institucional en el sector del agua y, además, entre localidades, municipios, entidades de los gobiernos estatales y del Gobierno Federal en torno a las políticas públicas. Más aún, suponen una concertación creadora con la población local en las subcuencas, que tome en cuenta sus necesidades y sus expectativas, sus conocimientos.

El papel del Consejo de Cuenca y sus diversas instancias resultará esencial en ese contexto. El convenio recientemente firmado (Huixquilucan, 12 de septiembre de 2014) entre los gobiernos del estado de México y del Distrito Federal y la Comisión Nacional del Agua para la colaboración y el acceso a la información proporciona una nueva y positiva señal en ese sentido, y promete un mejor marco para el indispensable fortalecimiento institucional en el territorio del Sistema Cutzamala.

El diagnóstico en curso, cuyos principales resultados se presentan conforme al Plan del Informe detallado a continuación, debería leerse como una recopilación de información y conocimientos orientada a constituir acuerdos sucesivos sobre la situación actual, sus causas principales y sus consecuencias siempre interrelacionadas, como una invitación a la reflexión compartida y a la generación también compartida de los mejores caminos de solución.



Plan del Informe

El esquema de presentación adoptado en este Informe procura facilitar el desarrollo de una visión en la que las obras físicas y los servicios de producción y trasvase de agua potable, así como su disponibilidad para sostener vidas humanas y actividades económicas en las subcuencas de aportación son, como se ha anticipado en la Introducción, indisociables. En el primer apartado se ofrece una síntesis de los antecedentes históricos del Sistema Cutzamala; asimismo, como complemento para la mejor comprensión del contexto en el que se realiza el diagnóstico, se presentan los resultados del análisis realizado sobre el balance hídrico en el Valle de México.

El segundo apartado, *Medio Biofísico*, describe la evolución del medio natural en el que fue construido y opera el Sistema Cutzamala. Ofrece información específica sobre las subcuencas que lo integran.

El siguiente apartado, *Infraestructura*, proporciona una visión de conjunto del Sistema Cutzamala y del estado en el que se encuentra la obra física y sus instalaciones. Se ha prestado atención particular tanto a los resultados de un mantenimiento eficaz, no obstante las limitaciones de recursos, como a los puntos de fragilidad y riesgo que demandan correcciones inmediatas y modernización en el mediano y largo plazo.

En el apartado de *Calidad del Agua en las Subcuencas* se describe cómo, en las últimas dos décadas, el agua de las presas del Sistema Cutzamala ha sufrido un deterioro significativo en su calidad, e identifica las principales causas de esa degradación y sus consecuencias. Un énfasis especial se ha prestado a los fenómenos de sedimentación y limnológicos presentes en las presas y en otras instalaciones, distinguiendo entre las problemáticas en las subcuencas, en los almacenamientos y en la instalación de potabilización, todas ellas interrelacionadas.

El apartado de *Balances Hídricos* contiene información útil para evaluar los componentes del ciclo hidrológico y los usos del agua en su conjunto. Incluye la determinación de la disponibilidad como base para el planteamiento de acciones y estrategias específicas en cuanto a volúmenes de usos del agua, su gestión y administración.

Dedicado al *Panorama Socioeconómico y de Comunicación*, el siguiente apartado muestra cómo el crecimiento de la población, las transformaciones ocurridas en el marco de una nueva ruralidad urbanizada con índices altos de marginación y pobreza, el avance significativo de la agricultura de riego en ciertas subcuencas, así como las carencias del desarrollo de los centros urbanos, plantean presiones en general negativas sobre los recursos naturales, en particular sobre el agua. Se analizan también las formas y contenidos de la conflictividad social.

La administración del agua en las subcuencas del Sistema Cutzamala se realiza en el marco del decreto que establece la veda para las aguas del río Balsas y todas sus subcuencas. El apartado de *Usos del*

Agua en las Subcuencas analiza las extracciones totales y su destino en relación con los diferentes usos, la situación de los organismos operadores y las transferencias realizadas a las ZMVM y ZMT, así como la conflictividad específica. Los problemas identificados en este apartado tienen todos relación con el estado de los recursos suelo, agua, bosques, medio ambiente y energía, y han contribuido a la degradación de esos recursos.

El apartado de *Aspectos Hidroagrícolas* muestra cómo la agricultura de riego ha tendido a ampliarse hasta alcanzar 26,509 hectáreas dentro de las subcuencas y 8,046 hectáreas fuera de ellas. El análisis utilizó la información existente del Distrito de Riego 045, y en particular de su módulo 7, así como de algunas Unidades de Riego relativamente próximas al canal Tuxpan-El Bosque-Colorines, tanto por su importancia subregional como porque los problemas observados caracterizan también a otras áreas de riego en las subcuencas. El apartado señala que, impulsado por las fuerzas del mercado y las ventajas comparativas de las áreas en cuestión, pero también por la libre disponibilidad del agua, ese ímpetu requiere un esfuerzo de ordenamiento y de tecnificación.

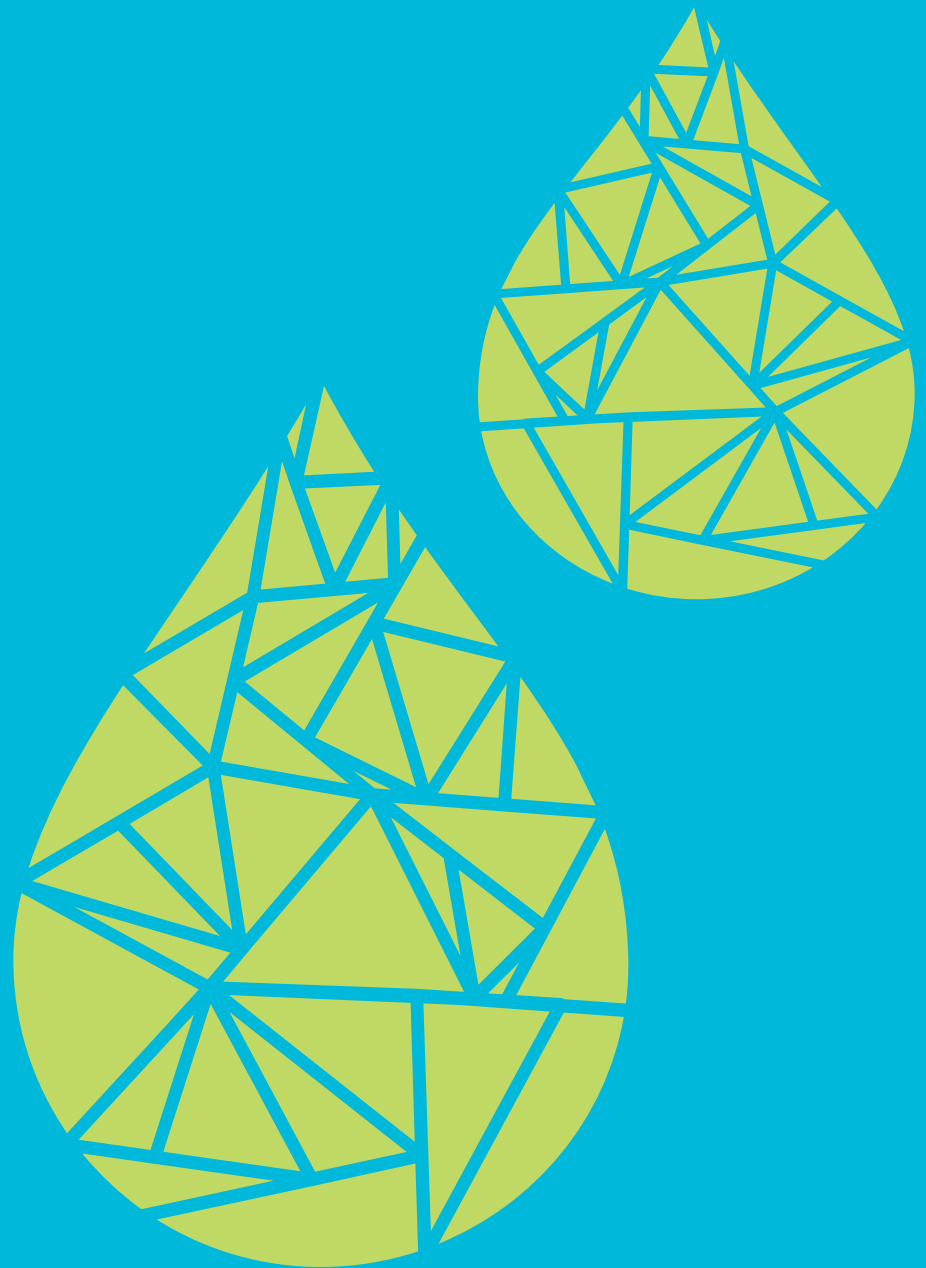
A su vez, el apartado de *Aspectos Económicos y Financieros* presenta los balances financiero y económico del Sistema Cutzamala. El balance financiero expone los costos e ingresos del Sistema, tal como los registran y asumen el OCAVM y la CONAGUA. El balance económico proporciona una aproximación de los costos reales del Sistema. Ambos análisis muestran la situación actual y se proyectan considerando escenarios diferentes en materia de eficiencia.

Los *Aspectos Institucionales y de Planeación* se abordan en el siguiente apartado. Se analizan los marcos que estructuran la acción pública en las subcuencas de aportación del Sistema Cutzamala; se distinguen los aspectos directamente relacionados con el mandato de la CONAGUA, la multiplicidad de agentes institucionales, y los planes y programas que inciden en el territorio. Se presentan también los déficits de coordinación observados.

Un penúltimo apartado se dedica a los *Aspectos Legales*. Se ofrece en primer término una síntesis de los antecedentes legales relativos a las condiciones en que se realizan los diferentes actos vinculados con el Sistema Cutzamala. Enseguida, se exponen los resultados del análisis de la situación legal, tomando en cuenta los ejes propuestos en el enfoque metodológico adoptado para el diagnóstico.

El apartado de *Realidades en las Subcuencas* integra la información disponible en el nivel de las subcuencas con el propósito de caracterizarlas en su diversidad y en sus problemáticas específicas —que resultan, como se observará, en fuertes contrastes—, así como en su potencialidad de ofrecer sustento a una mejoría de las condiciones de vida y trabajo de la población en ellas localizada.

Cada uno de los apartados expone las conclusiones a las que llegó el grupo de trabajo responsable de la preparación del estudio temático correspondiente, luego de varias reuniones generales de participación y reflexión, de numerosas sesiones de discusión grupales e intergrupales, así como de intercambios preliminares con funcionarios y representantes de usuarios en las subcuencas. Todo ello ha permitido formular el cuadro de *Conclusiones y Desafíos* que emerge en la etapa actual del diagnóstico y que procura establecer las bases para la segunda etapa del trabajo consistente en la formulación del plan integral de gestión del Sistema Cutzamala hacia la sustentabilidad y el correspondiente programa de inversiones e intervenciones.





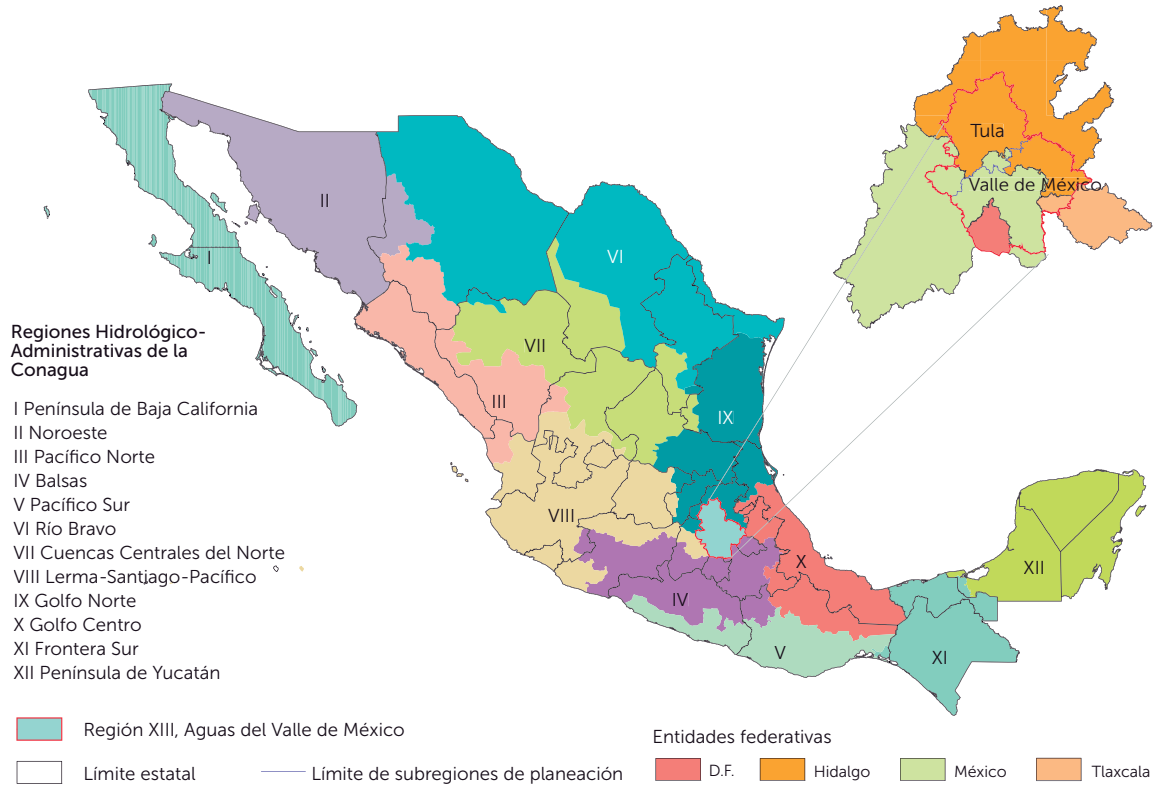
El sistema Cutzamala y el abastecimiento de agua a los Valles de México y Toluca

El Valle de México tiene un complejo sistema de abastecimiento y desalojo del agua que conlleva importantes desafíos para su gestión. En este apartado se describen los principales componentes del Sistema Cutzamala, así como diversos aspectos de su historia, su gestión y su funcionamiento.

1. Balance hídrico en el Valle de México

1. **Un complejo sistema de abastecimiento y desalojo.** El Valle de México tiene un sistema muy complejo de abastecimiento y desalojo del agua (la Figura 1.1 muestra esquemáticamente esta complejidad). Con fines de planeación, la región hidrológico-administrativa XIII, Aguas del Valle de México, se divide en la subregión Valle de México y la subregión Tula (Figura 1.1 y Figura 1.2). La subregión Valle de México comprende 16 delegaciones y 69 municipios, y su población es de aproximadamente 21.5 millones de habitantes. Por otro lado, la zona metropolitana del valle de Toluca tiene una población de cerca de 1.9 millones de habitantes.
2. **Fuentes de abastecimiento.** Las fuentes de abastecimiento en la región son fundamentalmente tres:
 - *el acuífero del Alto Lerma*, ubicado en la región hidrológico-administrativa VIII, Lerma-Santiago-Pacífico;
 - *el Sistema Cutzamala*, ubicado la zona del medio Balsas, correspondiente a la región hidrológico-administrativa IV, y
 - *los acuíferos del Valle de México* (Cuautitlán-Pachuca, Texcoco, Chalco-Amecameca y zona metropolitana de la Ciudad de México).
3. **Balance de agua.** La Figura 1.3 muestra esquemáticamente el balance hídrico del Valle de México. Como se puede observar, las primeras dos fuentes de abastecimiento son externas al Valle de México y contribuyen con 20 m³/s, equivalentes a aproximadamente un 32 % del abastecimiento *total* al Valle de México (63 m³/s). Los acuíferos del Valle de México aportan el resto, es decir, 43 m³/s. Más adelante, en el apartado de *Balances Hídricos*, se presenta un análisis detallado de los distintos componentes

■ **Figura 1.1.** Ubicación de la región XIII, Aguas del Valle de México



(Fuente: CONAGUA, 2009)

■ **Figura 1.2.** Subcuencas en la región XIII, Aguas del Valle de México

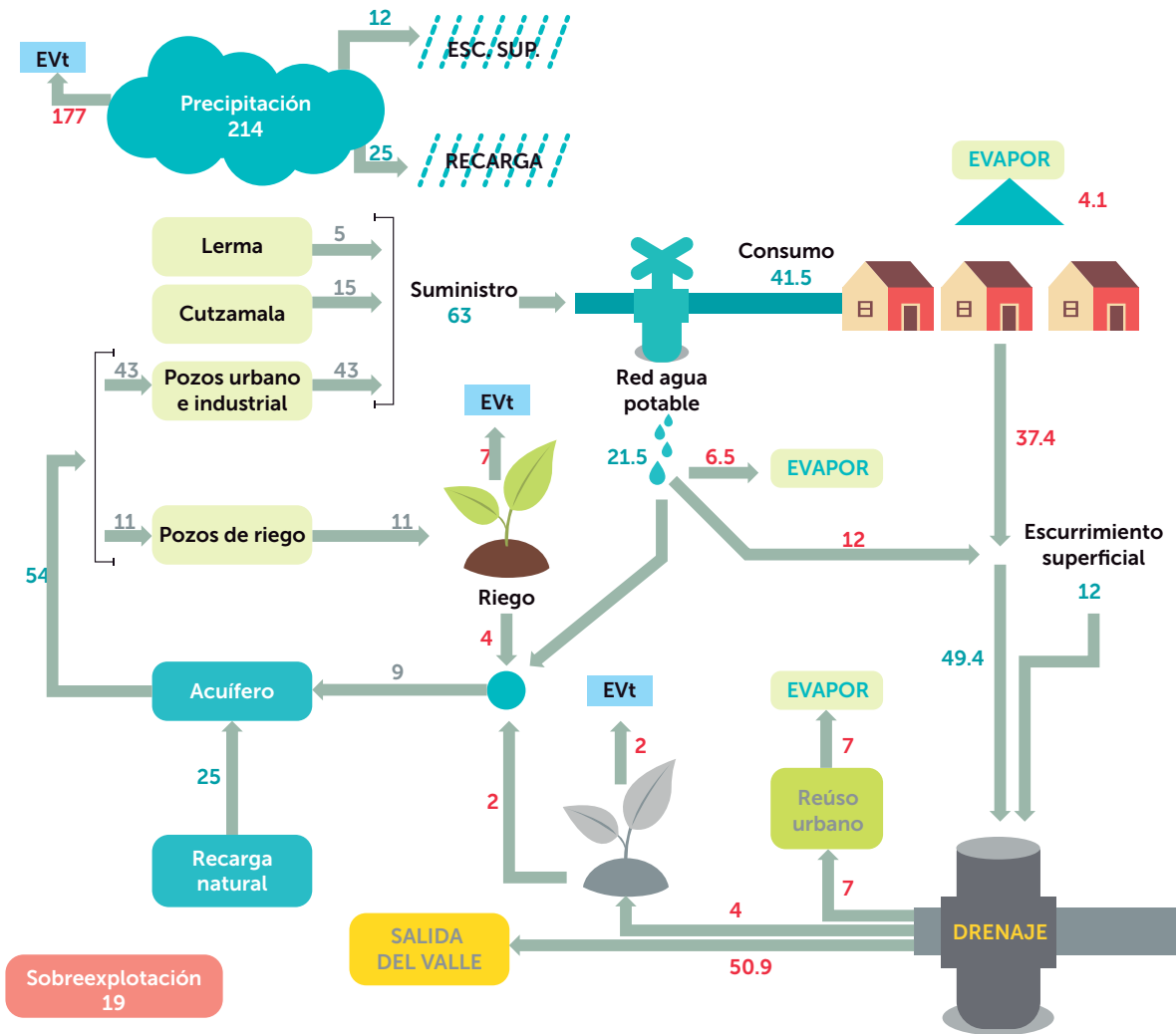


(Fuente: CONAGUA, 2009)

del ciclo hidrológico y de los usos del agua en el Sistema.

4. **Precipitación.** De los 214 m³/s de precipitación media anual, 177 m³/s regresan a la atmósfera por evapotranspiración, 12 m³/s escurren superficialmente e ingresan al sistema de drenaje, y 25 m³/s recargan al acuífero.
5. **Agua potable.** Hay tres fuentes principales de abastecimiento de agua potable:
 - los pozos del Sistema Lerma (5 m³/s),
 - el agua proveniente del Sistema Cutzamala (15 m³/s), y
 - los pozos dentro del área metropolitana (43 m³/s), que extraen el agua de los tres acuíferos mencionados (incluido el sistema de pozos denominado Plan de Acción Inmediata, PAI, que abastece 7.5 m³/s), además de otros sistemas, entre los que se encuentran Barrientos, Chiconautla, la Caldera y manantiales dentro de la zona metropolitana (SACMEX, 2012).
6. **Fugas.** Las fugas de agua en la región son muy significativas. De los 63 m³/s que abastecen al Valle de México, cerca del 34% se pierde en las

■ **Figura 1.3.** Balance hídrico en la cuenca del Valle de México (promedio anual, m³/s)



(Fuente: Antonio Capella, comunicación personal)

redes de distribución de agua potable, y el 56% del volumen de las fugas ingresa directamente a la red de drenaje sin uso previo. El drenaje transporta, entonces, tanto aguas negras como las provenientes de las fugas. Cabe notar que los 21.5 m³/s que se fugan de las redes de agua potable equivalen a un gasto 43% mayor a las aportaciones del Sistema Cutzamala.

- Consumo.** La población urbana del Valle de México consume 41.5 m³/s, de los cuales 37.4 m³/s se devuelven al sistema de drenaje. El volumen de drenaje combinado residual/pluvial se usa básicamente para el riego, tanto en el Valle de México como en el vecino estado de Hidalgo.
- Sobreexplotación de los acuíferos.** Los acuíferos cumplen un papel primordial en el abastecimiento de agua al Valle de México. Además

de aportar el 68% del suministro total para agua potable, contribuyen con 11 m³/s para los distritos de riego en el Valle de México; esta cantidad equivale, en magnitud, al aporte del Sistema Cutzamala. Considerando que una proporción significativa de la irrigación en el Valle de México se destina a cultivos forrajeros —principalmente alfalfa—, ese volumen podría sustituirse por aguas residuales tratadas que pueden emplearse para riego; no obstante, esta sustitución no se ha logrado. Actualmente los acuíferos Cuautitlán-Pachuca, Texcoco, Chalco-Amecameca y de la zona metropolitana de la Ciudad de México están sobreexplotados. La recarga natural asciende a aproximadamente 25 m³/s y la sobreexplotación es del orden de 19 m³/s.

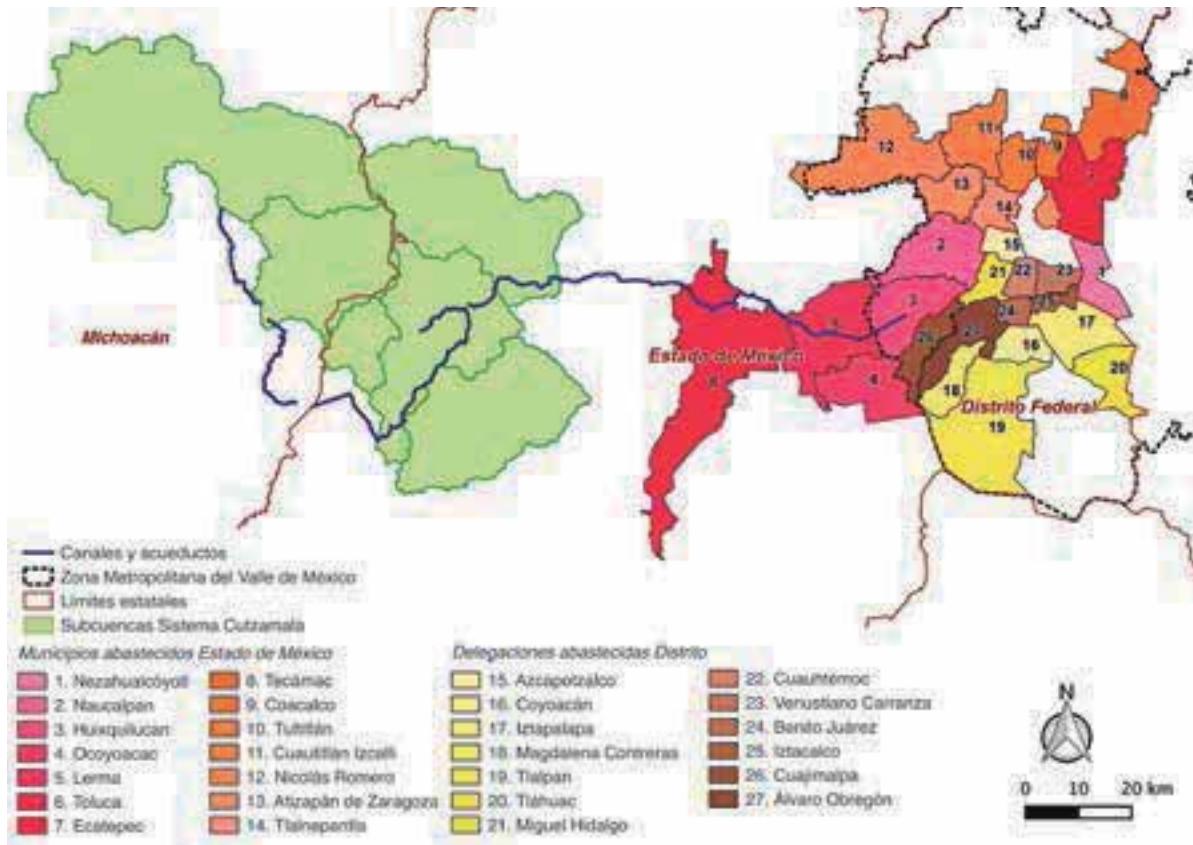
- Salidas del Valle de México.** El sistema de drenaje conduce 50.9 m³/s hacia afuera del Valle

de México, a la cuenca del río Pánuco en el estado de Hidalgo. Esta cifra es muy significativa, pues representa el 81% del suministro total.

2. Los orígenes del sistema

10. **Una cuenca artificial.** El Valle de México es una de las regiones del planeta que ha sufrido las más profundas transformaciones ambientales. Una de las razones de este cambio se inició en 1607, con la apertura artificial de su condición de cuenca endorreica (es decir, que no tiene salida fluvial) para proteger a la Ciudad de México de las inundaciones. De esta manera, un ecosistema lacustre se transformó a lo largo de cuatro siglos —gracias a la sucesiva construcción de infraestructuras de drenaje y evacuación de aguas pluviales y residuales— en un valle que alberga a la ciudad más poblada del país y una de las más grandes del mundo.
11. **Antecedentes de la gestión del agua.** A principios de la década de 1940, como resultado del proceso de desecación de los lagos del Valle de México y por los impactos de la extracción de sus aguas subterráneas (relacionados, en particular, con los hundimientos), las autoridades reconocieron la magnitud y la complejidad de los problemas de la gestión de los recursos hídricos en el Valle de México. Se planteó entonces la posibilidad de efectuar un trasvase desde otra cuenca hidrológica. En este contexto, el Departamento del Distrito Federal (ahora Gobierno del Distrito Federal), en plena etapa de industrialización y modernización del país, construyó el Sistema Lerma, un proyecto de abastecimiento de agua que, aunque era distante para una capital con casi tres millones de habitantes, ofrecía una alternativa para los problemas de desabasto en el Valle.
12. **El Sistema Lerma.** Inaugurado en 1951, el Sistema Lerma aportó en su inicio un caudal de 4 m³/s, que ingresó al Valle de México por un primer túnel (Atarasquillo-Dos Ríos); éste permitía conducir las aguas subterráneas del Alto Lerma (vertiente del Pacífico) al Valle de México, desde donde, después de ser usadas, eran y siguen siendo expulsadas por los túneles de desagüe hacia la vertiente del Golfo.
13. **Aumento de la población urbana.** La migración del campo hacia la ciudad y los procesos de conurbación de los municipios del Estado de México dieron lugar a un acelerado crecimiento demográfico que en dos décadas multiplicó la demanda de agua; esto generó una fuerte presión, no sólo sobre las fuentes subterráneas locales, sino también sobre el Sistema Lerma, cuya extracción llegó hasta los 14 m³/s en 1974. Posteriormente, a partir de 1978, los volúmenes extraídos disminuyeron paulatinamente, lo que se acentuó después de 1982, cuando comenzó a funcionar el Sistema Cutzamala. Finalmente, el gasto se estabilizó en la década de 1990 en alrededor de 5 m³/s.
14. **El Sistema Hidroeléctrico Miguel Alemán.** Ubicado al sur del Estado de México, a partir de la 1930 se desarrolló el Sistema Hidrológico Miguel Alemán (antes llamado Ixtapantongo) para satisfacer los requerimientos de energía eléctrica de la población y de la industria de la Ciudad de México y Toluca. Integrado por seis plantas escalonadas, el sistema tenía una capacidad instalada total de 370,675 kW y aprovechaba las corrientes de los ríos Malacatepec, Valle de Bravo, Ixtapan del Oro, Tuxpan y Zitácuaro. Un conjunto de presas permitía estos aprovechamientos; entre ellas se encontraban Villa Victoria, Valle de Bravo, Tilostoc, Tuxpan, El Bosque, Colorines, Ixtapantongo y Los Pinzanes. En su momento, la construcción de estas presas modificó el entorno natural de las corrientes, así como las actividades económicas de los habitantes de la región.
15. En la década de 1960 la Comisión Hidrológica de la Cuenca del Valle de México realizó una serie de estudios para encontrar un segundo sistema que permitiera captar un caudal adicional. Se trataba de aligerar la presión sobre el acuífero local y sobre los acuíferos del Alto Lerma que ya comenzaban a mostrar signos de sobreexplotación.
16. **Una nueva vocación.** La cartera de anteproyectos evaluados en términos de factibilidad técnica, económica y política incluía la captación de agua de Apan-Oriental, Necaxa, Amacuzac y Balsas, Tepeji y Tecolutla. Como resultado de la evaluación, se decidió que el entonces Sistema Miguel Alemán cambiaría su vocación hidroeléctrica hacia un sistema de abastecimiento de agua potable para el Valle de México.
17. **Desarrollo por etapas.** La puesta en marcha del Sistema Cutzamala se desarrolló en tres etapas:
 - En 1982 se inició la operación de la primera etapa, diseñada para captar y conducir un

■ **Figura 1.4.** Municipios del Estado de México y delegaciones abastecidas por el Sistema Cutzamala



(Fuente: Antonio Capella, comunicación personal)

gasto de 4 m³/s de la presa Villa Victoria; se incluyó la planta potabilizadora Los Berros.

- En 1985 se puso en marcha la *segunda etapa*, con un gasto de diseño de 6 m³/s, que aprovechaba las aguas almacenadas en la presa Valle de Bravo. En esta etapa se construyó, además, el túnel Analco-San José que conduciría el agua de la cuenca del Balsas hacia el Valle de México.
 - La *tercera etapa*, complemento de las anteriores, contó con un gasto de diseño adicional de 9 m³/s y comprendía los subsistemas Chilesdo y Colorines. La presa Chilesdo está en operación desde 1993.
18. **Disponibilidad.** Desde que se inauguró el Sistema Cutzamala, la población de la Ciudad de México y su zona conurbada ha crecido de 14 millones a más de 20 millones de habitantes, y su superficie ha aumentado 3.6 veces. Asimismo, el Sistema ha incrementado su caudal de 4 m³/s a 15 m³/s. Esto no ha sido suficiente para revertir la tendencia de disminución de la disponibilidad natural media anual per cápita en el Valle de México. En la actualidad, la

región presenta la menor disponibilidad en el país: en los últimos 10 años la disponibilidad ha pasado de 190 m³/hab/año a 160 m³/hab/año (CONAGUA, 2012).

3. El sistema Cutzamala

19. **Definiciones.** Para fines de este Informe se han adoptado las siguientes definiciones:

- *Cuenca del río Cutzamala.* La cuenca hidrológica del río Cutzamala (o cuenca del río Cutzamala) es, de acuerdo con el Diario Oficial de la Federación (28 de agosto de 2013), “[la cuenca que] comprende desde el nacimiento del Río Zitácuaro hasta donde se localiza la estación hidrométrica El Gallo. La cuenca hidrológica Río Cutzamala drena una superficie de 10,619.14 kilómetros cuadrados, y se encuentra delimitada al Norte por la región hidrológica número 12 Lerma-Santiago [que corresponde a la región hidrológico-administrativa VIII, Lerma-Santiago-Pacífico], al Sur por la cuenca hidrológica Río Medio Balsas, al Este por la

cuenca hidrológica Río Amacuzac y al Oeste por la cuenca hidrológica Río Tacámbaro”.

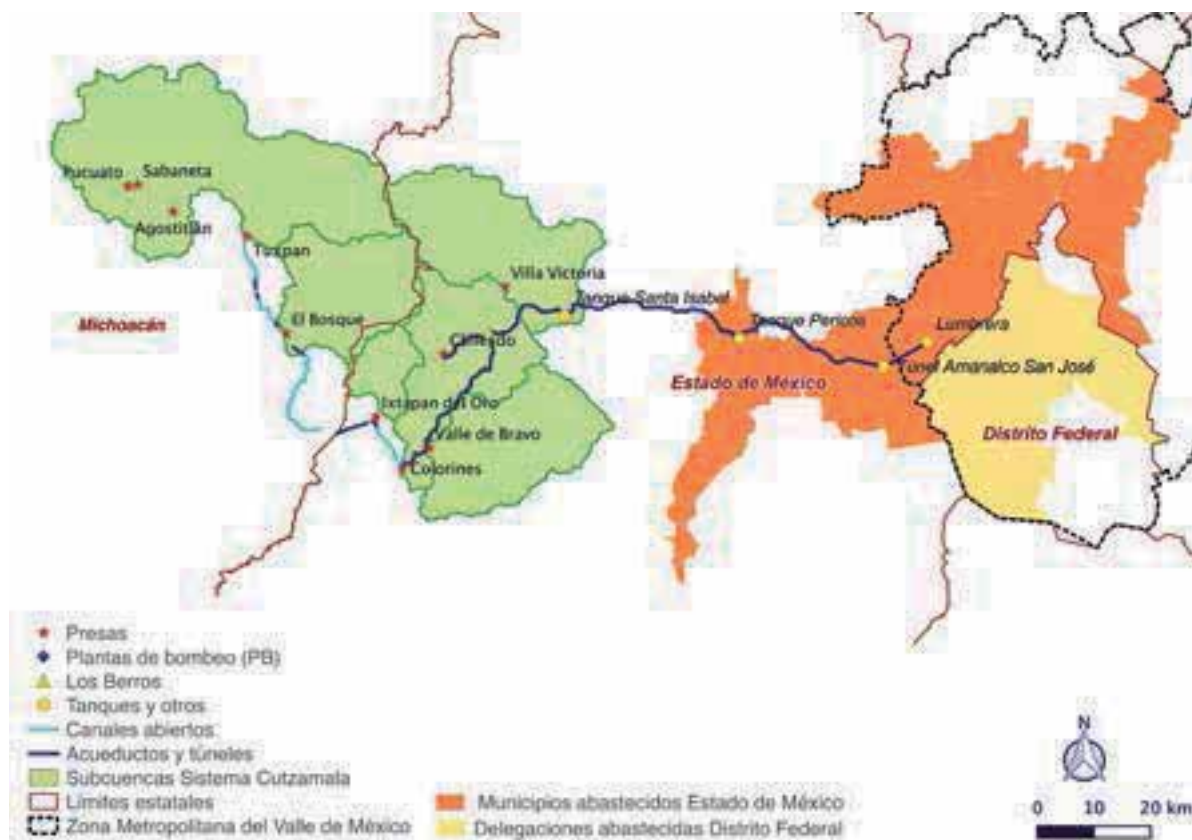
- **Sistema Cutzamala.** El Sistema Cutzamala es el conjunto de subcuencas, presas, canales, tramos de río, acueductos, plantas de bombeo, planta potabilizadora y tanques que, en conjunto, captan, tratan y conducen agua para abastecimiento de la ciudad de Toluca y la ZMVM. Está integrado por siete presas derivadoras y de almacenamiento, seis estaciones de bombeo y una planta potabilizadora (CONAGUA, 2013) (Figura 1.5).
- **Subcuencas del Sistema Cutzamala.** Se entienden como *subcuencas* las áreas geográficas de aportación a las presas Tuxpan, El Bosque, Chilesdo, Colorines, Valle de Bravo, Ixtapan del Oro y Villa Victoria (para fines de algunos análisis, las subcuencas de aportación a las presas Chilesdo y Colorines se considerarán en forma conjunta, pues los datos disponibles están agregados en muchos casos). Estas subcuencas formaban parte originalmente de la cuenca del río Cutzamala. Actualmente, sus escurrimientos ya no pasan por la salida de la cuenca, en la

estación hidrométrica El Gallo, sino que se envían a las ZMVM y ZMT. Una parte de los escurrimientos fluye hacia la cuenca baja del río Cutzamala, como se describe en el apartado de *Balances Hídricos*. En conjunto, las subcuencas del Sistema Cutzamala ocupan un área de 3,419 km², estimada a partir de la Serie V del INEGI.

- **Cuenca baja del río Cutzamala.** Se refiere a la cuenca del río Cutzamala, con excepción de las subcuencas del Sistema Cutzamala.

20. Características del Sistema. El Sistema Cutzamala es un complejo hídrico de producción, almacenamiento, conducción, potabilización y distribución de agua dulce para la población y la industria del Distrito Federal y del Estado de México. El Sistema aprovecha las aguas de la parte alta de la cuenca del río del mismo nombre, que provienen de las presas que antes formaban parte del Sistema Hidroeléctrico Miguel Alemán, así como de la presa Chilesdo, construida para aprovechar las aguas del río Malacatepec. Ubicado en los estados de México y Michoacán, así como en el Distrito Federal, el Sistema bombea agua desde una altura

■ **Figura 1.5. Infraestructura del Sistema Cutzamala entre las subcuencas y las dos zonas metropolitanas**



(Fuente: elaboración propia)

■ **Figura 1.6.** El Sistema Cutzamala en la región IV, Balsas, y en las regiones circundantes



(Fuente: elaboración propia)

- de 1,600 msnm en su punto ínfimo y llega hasta 2,702 msnm en su punto más alto. Su consumo de energía eléctrica es de 2,200 millones de kWh al año. Esta obra del Gobierno Federal ha culminado las primeras tres etapas de construcción, y hasta el momento la cuarta fase está en proceso de planeación. En cada etapa, el Gobierno Federal se ha propuesto mejorar la capacidad del Sistema para abastecer agua a su zona de influencia. El Sistema atiende tanto necesidades urbanas como agrícolas locales.
21. **Ubicación.** La Figura 1.6 muestra la ubicación del Sistema Cutzamala en el ámbito de la región hidrológico-administrativa IV, Balsas, y de las regiones XIII, Aguas del Valle de México, y VIII, Lerma-Santiago-Pacífico. Asimismo, la Figura 1.7 sitúa la cuenca del río Cutzamala con respecto a la cuenca del río Balsas.
- Seis subcuencas integran el Sistema. La Figura 1.8 muestra un recorte geográfico de las seis subcuencas del Sistema Cutzamala y de la cuenca completa del río del mismo nombre. Antes de la construcción del Sistema, todas estas subcuencas vertían hacia la

cuenca baja del río Cutzamala, y sus aguas pasaban por el sitio donde hoy está la presa El Gallo, en el extremo sur.

22. **Área de las subcuencas.** La superficie total que abarca cada una de las subcuencas se muestra en la Tabla 1.1.
23. **Componentes del Sistema Cutzamala.** El Sistema Cutzamala se compone de la siguiente infraestructura principal:
- *siete presas*, dos ubicadas en el estado de Michoacán (Tuxpan y El Bosque) y cinco en el Estado de México (Colorines, Ixtapan del Oro, Valle de Bravo, Villa Victoria y Chilesdo); de ellas, cuatro son derivadoras (Tuxpan, Ixtapan del Oro, Colorines y Chilesdo) y tres de almacenamiento (El Bosque, Valle de Bravo y Villa Victoria). Asimismo, dentro de la superficie del Sistema se encuentran otras tres presas (Pucuatón, Sabaneta y Agostitlán) que aportan agua al módulo 7 del Distrito de Riego 045; no obstante, el agua de estos embalses no se aprovecha directamente para el abastecimiento de las ZMVM y ZMT;

■ **Figura 1.7.** Ubicación de la cuenca del río Cutzamala en la cuenca del río Balsas



(Fuente: elaboración propia)

- *seis macroplantas de bombeo*, que en conjunto vencen un desnivel superior a 1,100 metros;
 - *conducciones* de diversos tipos, y
 - *una planta potabilizadora*.
24. En las figuras 1.5 y 1.9 se puede identificar la infraestructura básica del Sistema, tal como está dispuesta en la actualidad.
25. **Entregas del Sistema Cutzamala.** Originalmente se estimaba que el Sistema Cutzamala podía proveer 19 m³/s. De acuerdo con el Diario Oficial de la Federación (22 de junio de 1982), la “Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos entregará [agua] en bloque al Gobierno del Distrito Federal y al del Estado de México”, de acuerdo con la Tabla 1.2 referente a las entregas del Sistema.
26. **Volúmenes suministrados.** Los volúmenes que suministra el Sistema Cutzamala aportan el 24% del agua potable que abastece al Valle de México. Estos volúmenes benefician a 13 delegaciones del Distrito Federal y a 14

■ **Tabla 1.1.** Superficie total por subcuenca (km²)

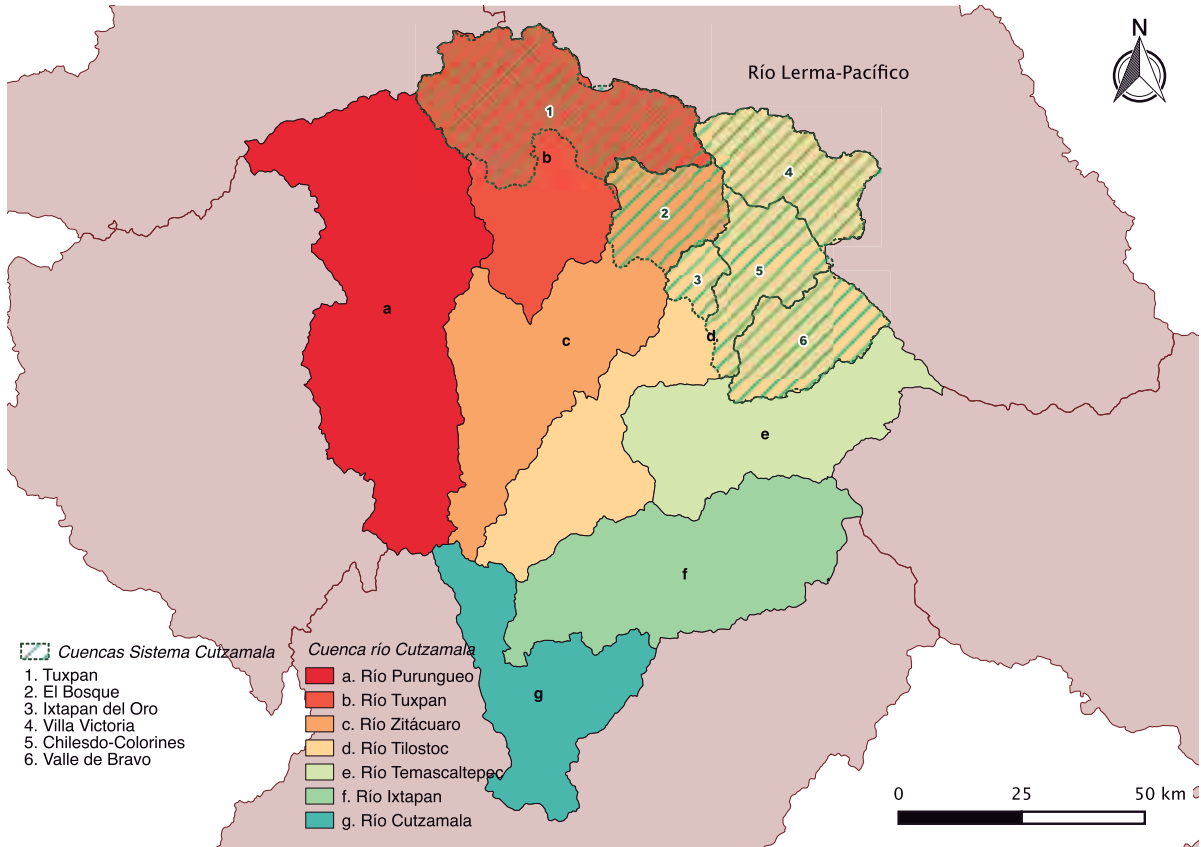
Subcuenca	Área
El Bosque	447
Villa Victoria	598
Valle de Bravo	531
Tuxpan	1,204
Ixtapan del Oro	132
Chilendo-Colorines	505
Total	3,419

(Fuente: elaboración propia con datos de la Serie V del INEGI)

municipios del Estado de México (Tabla 1.3). En promedio, el sistema Cutzamala entrega 446.65 hm³ al año.

27. **La capacidad útil total del Sistema es de 790 hm³.** El agua del Sistema Cutzamala se deriva, en primer lugar, hacia la ciudad de Toluca, y el resto se envía a la ZMVM. El Sistema entrega entre 14 m³/s y 15 m³/s anuales de agua a las ZMVM y ZMT: en promedio, se entregan 154 hm³ (4.9 m³/s) al Estado de México

■ **Figura 1.8. Subcuencas del Sistema Cutzamala**



(Fuente: elaboración propia)

■ **Figura 1.9. Infraestructura básica del Sistema Cutzamala**



(Fuente: elaboración propia)

■ **Tabla 1.2. Entregas del Sistema Cutzamala (l/s)**

	Presa Villa Victoria	Presa Chilesdo	Presa Valle de Bravo	Presa Colorines	Total
Estado de México	2,000	571	3,629	4,658	10,858
Distrito Federal	2,000	429	2,471	3,242	8,142
	4,000	1,000	6,100	7,900	19,000

(Fuente: DOF, 22 de junio de 1982)

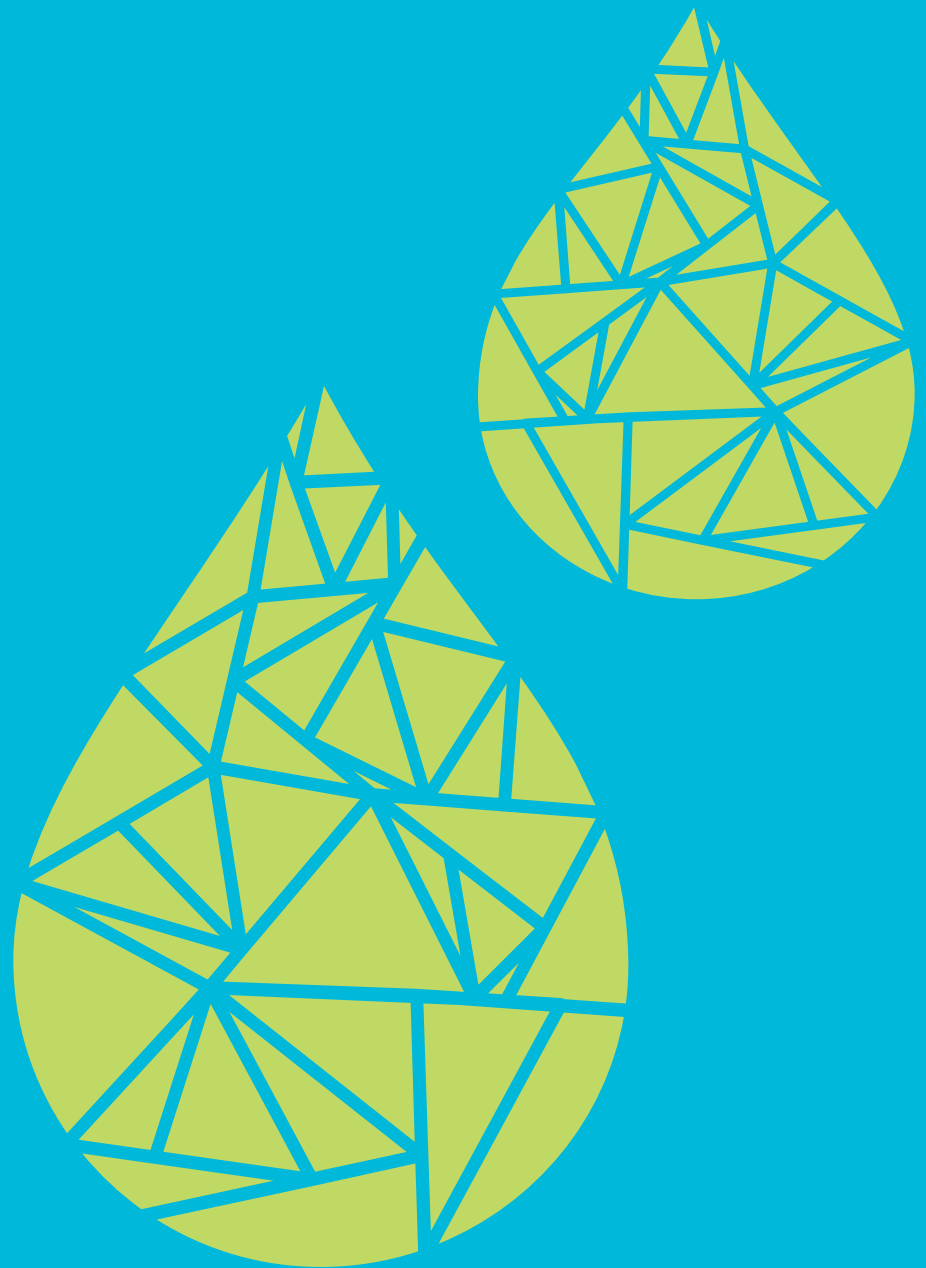
(de los cuales aproximadamente 0.8 m³/s corresponden a la ciudad de Toluca) y 292 hm³ (9.3 m³/s) al Distrito Federal; asimismo, provee de presión a las redes de abastecimiento de la ZMVM.

28. **Mayores presiones sobre el Sistema.** Las tendencias de crecimiento de la población y el consecuente aumento de la demanda del agua producida en el Sistema generarán importantes presiones. Se ha estimado que para el año 2030 aumentará en 4.6 millones la población hacia el sur del Distrito Federal, en casi todo el Estado de México y en la parte contigua del estado de Hidalgo. Por otro lado, como se describirá con detalle en el apartado de *Aspectos Hidroagrícolas*, en los últimos 30 años el uso de riego ha crecido en forma considerable, particularmente en las áreas de riego que, aunque están ubicadas fuera del Sistema, se abastecen del agua producida en él.

■ **Tabla 1.3. Delegaciones y municipios que reciben agua procedente del Sistema Cutzamala**

No.	Estado de México	No.	Distrito Federal
1	Nezahualcóyotl	15	Azcapotzalco
2	Naucalpan	16	Coyoacán
3	Huixquilucan	17	Iztapalapa
4	Ocoyoacac	18	Magdalena Contreras
5	Lerma	19	Tlalpan
6	Toluca	20	Tláhuac
7	Ecatepec	21	Miguel Hidalgo
8	Tecámac	22	Cuauhtémoc
9	Coacalco	23	Venustiano Carranza
10	Tultitlán	24	Benito Juárez
11	Cuautitlán Izcalli	25	Iztacalco
12	Nicolás Romero	26	Cuajimalpa
13	Atizapán de Zaragoza	27	Álvaro Obregón
14	Tlalnepantla		

(Fuente: Conagua, 2013)





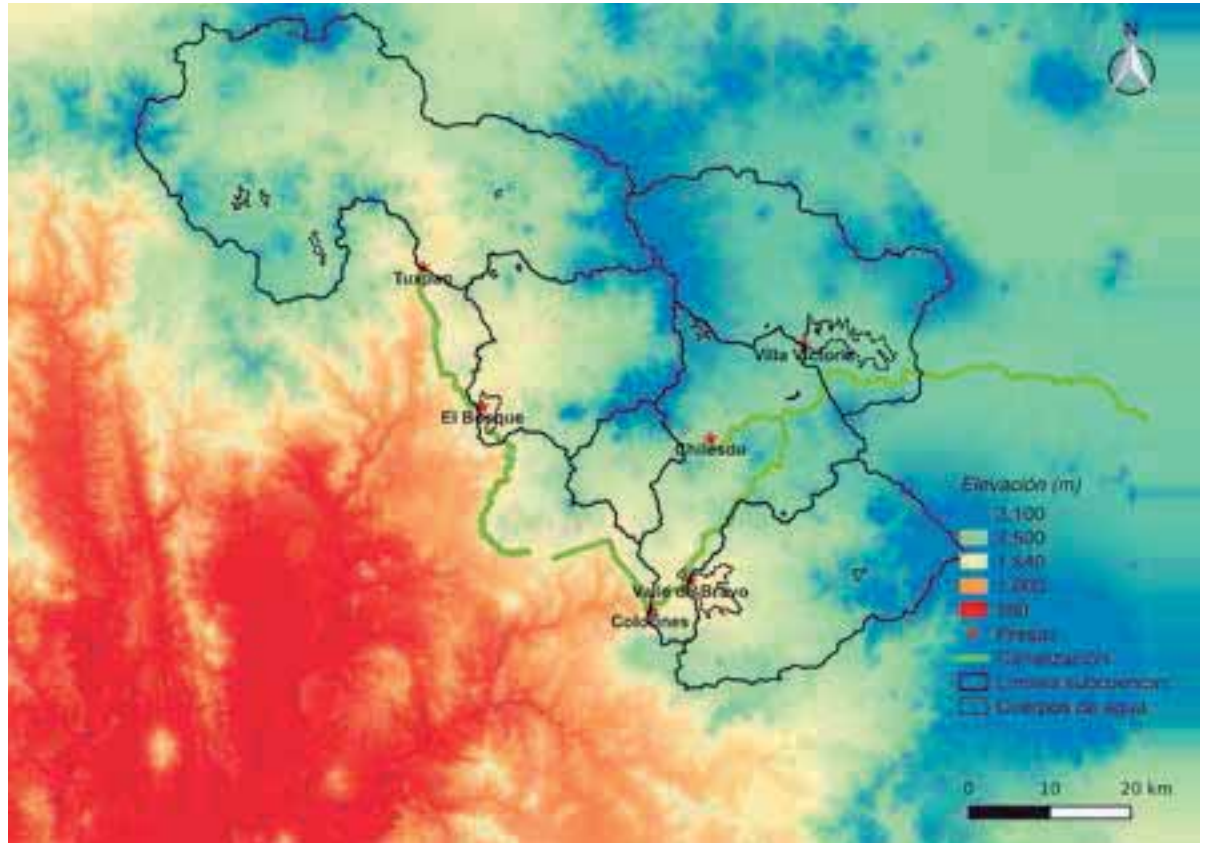
Medio biofísico

El deterioro de los recursos suelo, agua y bosque en el Sistema Cutzamala puede estar induciendo cambios no favorables en la fauna y la flora características. Asimismo influye negativamente sobre la calidad del agua aportada por las subcuencas para uso público, y de manera notable, en el agua trasvasada por el Sistema Cutzamala, lo que a su vez daña las instalaciones y afecta la vida útil de la infraestructura. Este apartado describe el medio natural en el que se construyó y opera el Sistema Cutzamala, así como el estado actual de los recursos. Asimismo, se analizan los posibles efectos del cambio climático en la disponibilidad del agua.

1. Geología

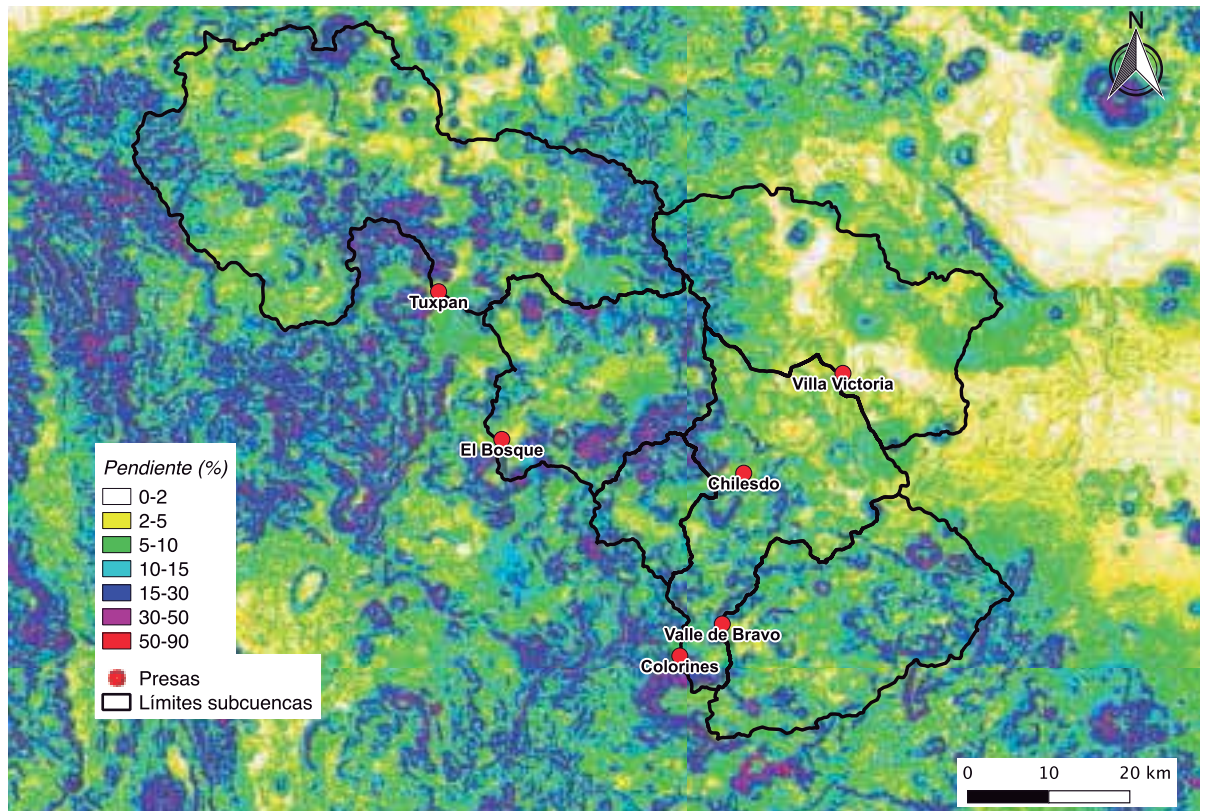
1. **Relieve.** El territorio que ocupa la cuenca del Valle de México y sus subcuencas forma parte de la Sierra Madre del Sur y del Eje Neovolcánico Transversal. Se aprecian áreas irregulares, con cerros, formaciones montañosas erectas, barrancas profundas y valles relativamente extensos. Las figuras 2.1 y 2.2 muestran esquemáticamente el relieve que predomina en el área de las subcuencas consideradas en este diagnóstico.
2. **Clases de rocas.** En el área predomina la roca ígnea extrusiva; por su composición mineralógica, esta clase de rocas, al intemperizarse, produce suelos de colores que van del café ocre al rojo, en función del grado de oxidación del material geológico. Las tobas piroclásticas (ceniza volcánica) están constituidas por material sedimentario de tamaño muy variado: desde boleos, gravas y arenas, hasta limos y arcillas. Este tipo de material constituye una fuente importante de acumulación de sedimentos en los lechos de los ríos. Se encuentran también rocas metamórficas y sedimentarias (Figura 2.3). Así, por sus características fisiográficas, estas subcuencas son altamente vulnerables a fenómenos hidrometeorológicos y geológicos extremos. Además, por sus condiciones topográficas y como resultado de la deforestación, el material de la cubierta de la zona montañosa se desliza hacia los ríos.

■ **Figura 2.1.** Elevación en las subcuencas



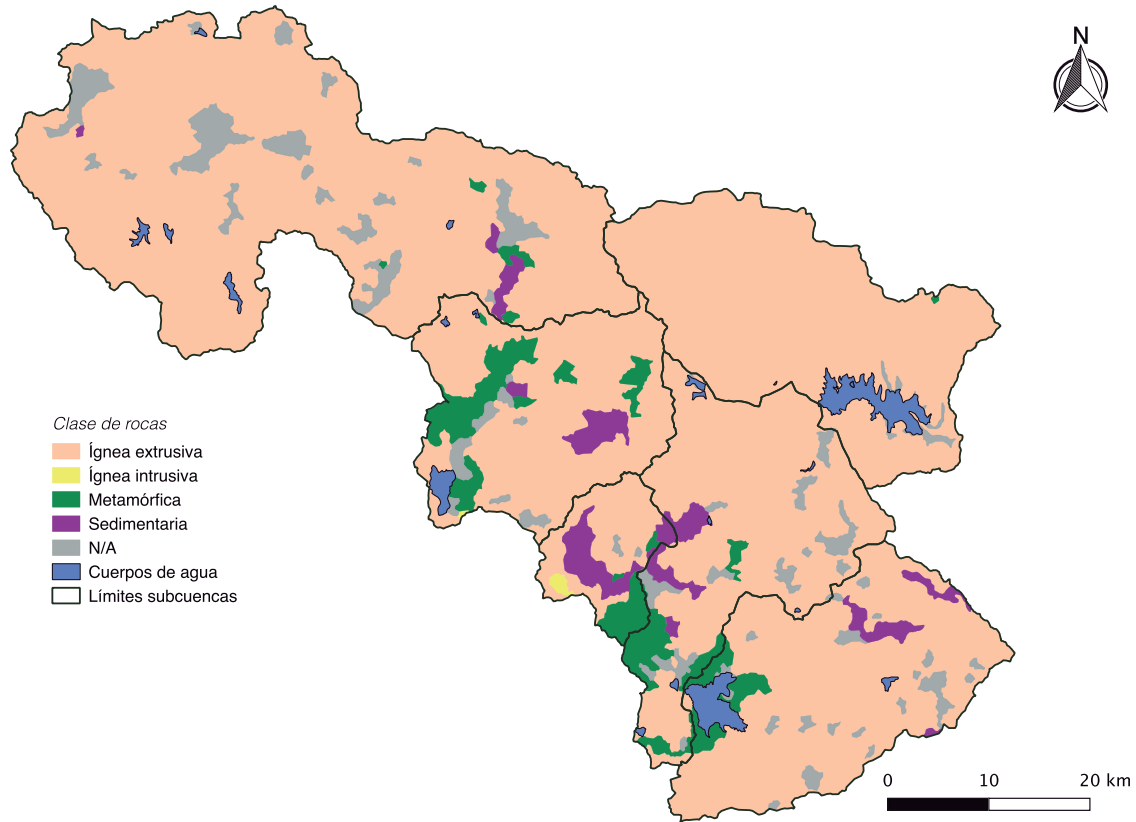
(Fuente: elaboración propia)

■ **Figura 2.2.** Pendiente (%) en las subcuencas



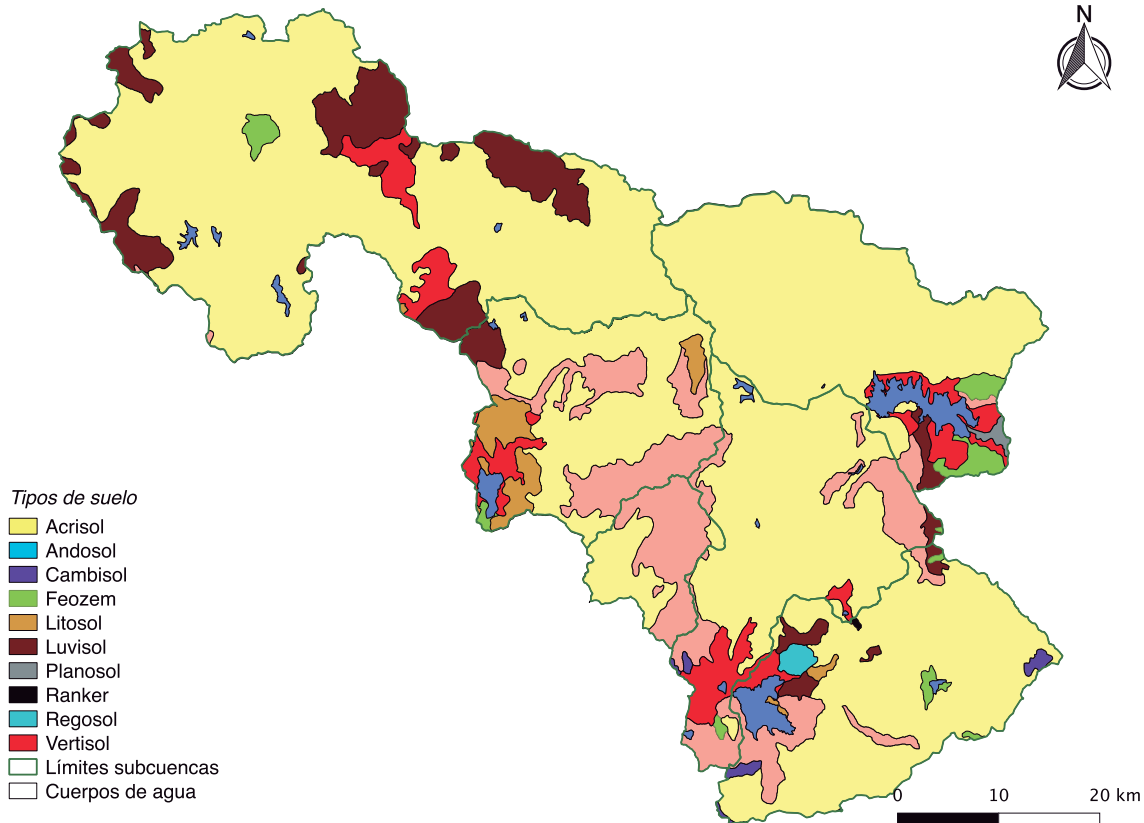
(Fuente: elaboración propia)

■ **Figura 2.3.** Clases de rocas en el Sistema Cutzamala



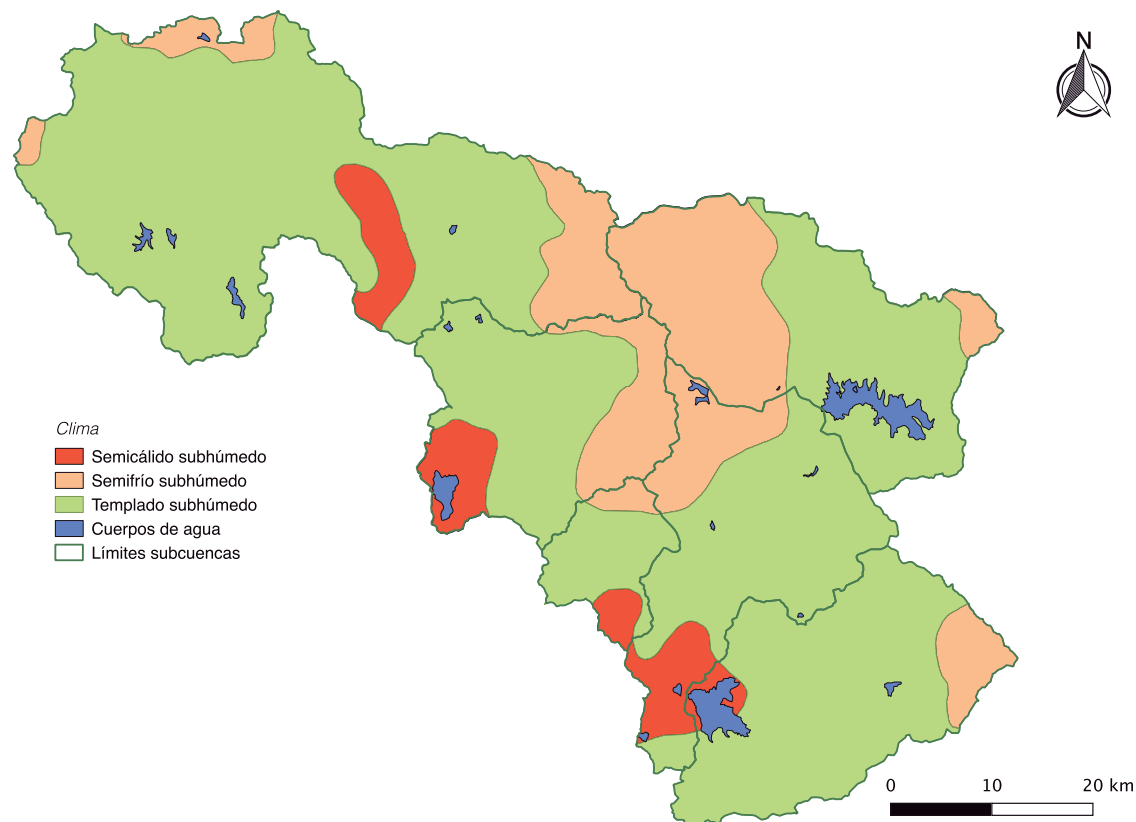
(Fuente: elaboración propia con información de UNAM, 2013)

■ **Figura 2.4.** Tipos de suelos en las subcuencas del Sistema Cutzamala



(Fuente: elaboración propia con información de UNAM, 2013)

■ **Figura 2.5. Climas presentes en las subcuencas del Sistema Cutzamala**



(Fuente: elaboración propia con información de UNAM, 2013)

2. Suelos

3. **Suelos de baja densidad.** El 73% de la superficie de las subcuencas está cubierto por suelos de tipo andosol, derivados de cenizas volcánicas. Se distribuyen principalmente en las partes altas. Les siguen en proporción, en las porciones medias de las subcuencas, los suelos de tipo acrisol. Los andosoles son suelos poco fértiles, con problemas de acidez y baja disponibilidad de fósforo; se caracterizan por tener una densidad aparente muy baja y, al estar desprovistos de vegetación y localizarse en laderas y lomeríos, son muy vulnerables a los procesos de erosión hídrica y eólica (Figura 2.4).

3. Clima

4. **Tres tipos de clima.** En las subcuencas se presentan tres tipos de clima (Figura 2.5). Predomina el templado subhúmedo en una superficie de entre 70% y 80% del área territorial de las subcuencas de Tuxpan, El Bosque, Villa Victoria y Valle de Bravo; el clima semifrío

subhúmedo prevalece en Ixtapan del Oro y Chilesdo-Colorines, y el semicálido subhúmedo se registra sobre todo en las subcuencas de Ixtapan del Oro y Chilesdo-Colorines. Los climas templado y semifrío propician condiciones ambientales muy restrictivas para la producción agropecuaria.

4. Precipitación

5. **Rango anual.** El rango de precipitación se sitúa entre los 800 mm y 1,200 mm anuales (Tabla 2.1 y Figura 2.6). En la subcuenca Valle de Bravo la precipitación puede llegar a 1,500 mm anuales.
6. **Temporada de lluvias bien definida.** La Figura 2.7 muestra los hietogramas medios anuales en cada una de las subcuencas. Como se puede apreciar, todas las subcuencas tienen una temporada húmeda bien definida, de mayo a octubre, y las lluvias invernales son muy escasas. En general, entre los meses de junio y septiembre, se concentra alrededor del 80% de la precipitación anual.

■ **Tabla 2.1. Precipitación media anual**

Subcuenca	Precipitación media anual
Tuxpan	1,156.65
El Bosque	957.13
Villa Victoria	789.06
Ixtapan del Oro	918.4
Chilesdo-Colorines	1,004.51
Valle de Bravo	1,042.44

(Fuente: Instituto de Ingeniería, UNAM, 2013)

7. **Riesgo y vulnerabilidad.** De acuerdo con el Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED, 2015), y para fines de este Informe, se han adoptado las siguientes definiciones:

- *Riesgo:* daños o pérdidas probables que puede sufrir un sujeto, un territorio o un sistema como resultado de la relación que existe entre su vulnerabilidad y la presencia de un fenómeno que pueda representar una amenaza.
- *Vulnerabilidad:* es el factor interno del riesgo de un sujeto, un territorio o un sistema

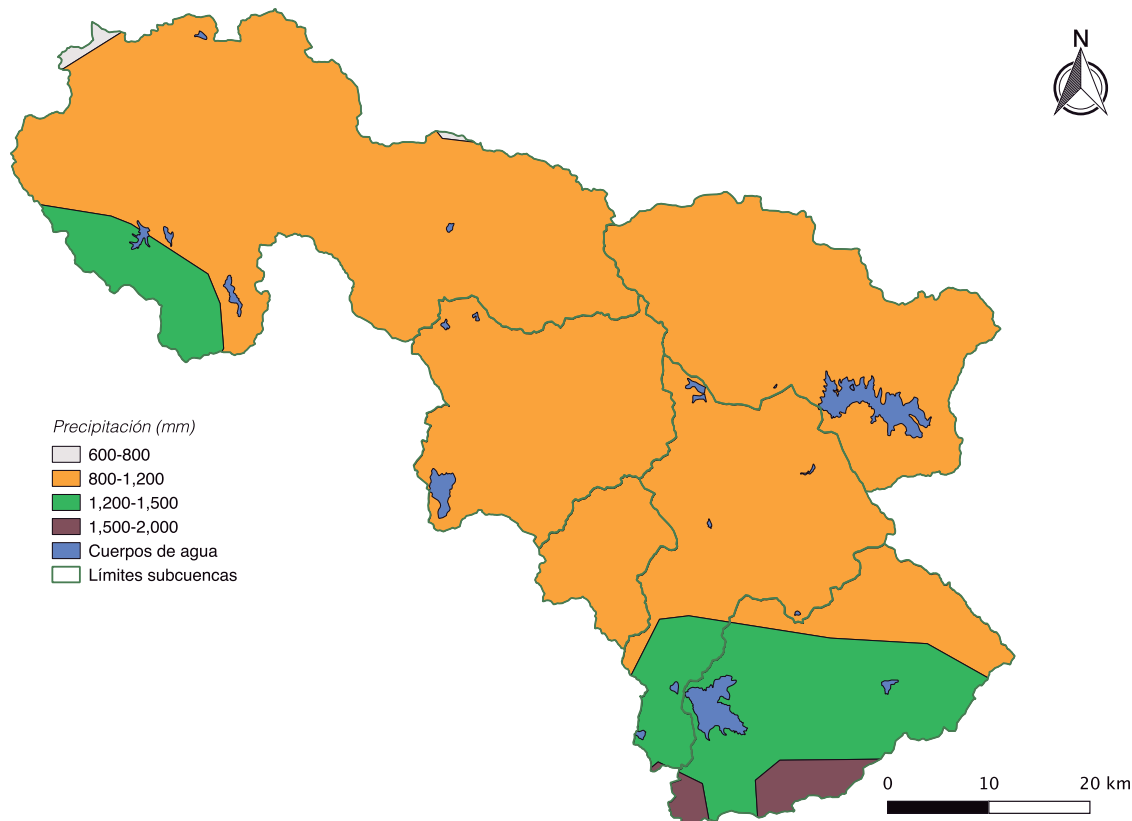
expuesto a la amenaza, y que lo dispone a sufrir un daño.

8. **Riesgo por inundaciones.** En la subcuenca de Villa Victoria los riesgos de inundación son altos. En San José del Rincón y Ocampo los riesgos son muy altos (Figura 2.8) y son territorios con una gran vulnerabilidad. Zitácuaro, a pesar de ser un área con un riesgo bajo, es altamente vulnerable (Figura 2.9).

9. **Riesgo de sequía.** Aporo, Ocampo y Villa Victoria presentan un riesgo medio de sequía. En el resto de los municipios, el riesgo de sequía es de bajo a muy bajo (Figura 2.10). En general, la duración de las sequías es menor a tres años, salvo en Aporo e Ixtapan del Oro, donde la duración media de la sequía es de tres a cuatro años (Figura 2.11).

10. **Los datos anteriores son de carácter general.** Históricamente, se han dado episodios puntuales de inundaciones importantes. Por ejemplo, en febrero de 2010, se presentaron nevadas, granizadas y precipitaciones extraordinarias en los límites de los estados de Michoacán y México, que produjeron graves inundaciones en los poblados de Tuxpan

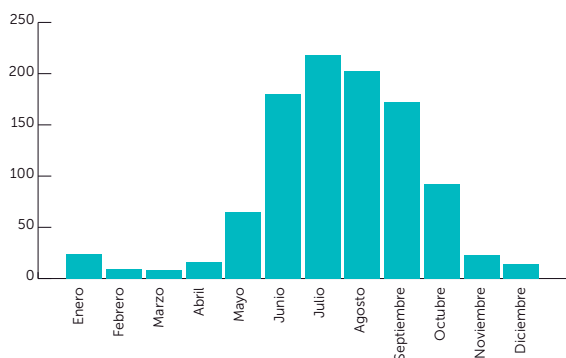
■ **Figura 2.6. Isoyetas en las subcuencas**



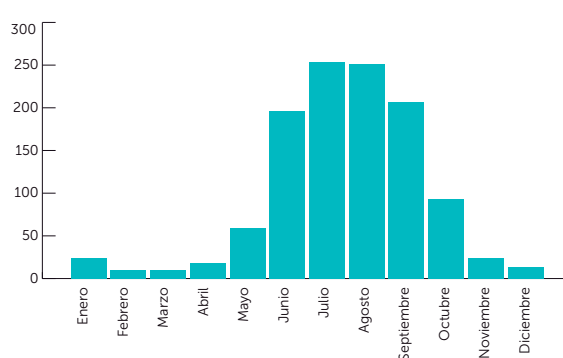
(Fuente: elaboración propia con información de UNAM, 2013)

■ **Figura 2.7. Distribución mensual de la lluvia por subcuencas (mm)**

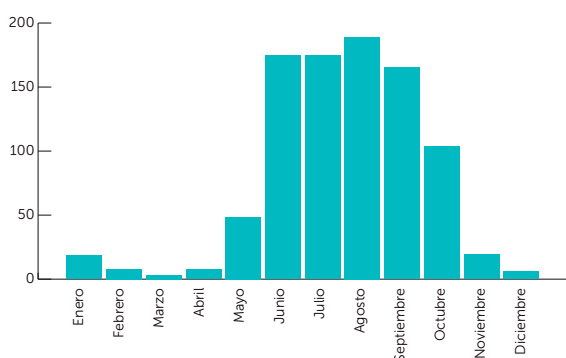
Lluvia media mensual en la cuenca VALLE DE BRAVO (mm)



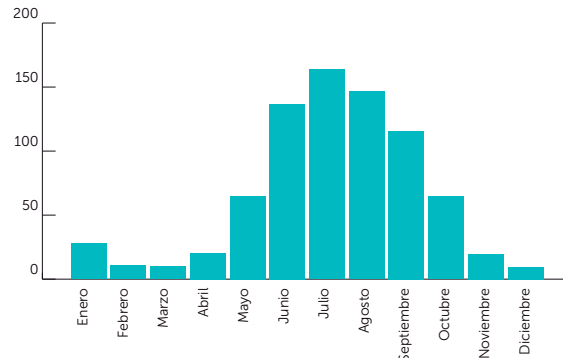
Lluvia media mensual en la cuenca TUXPAN (mm)



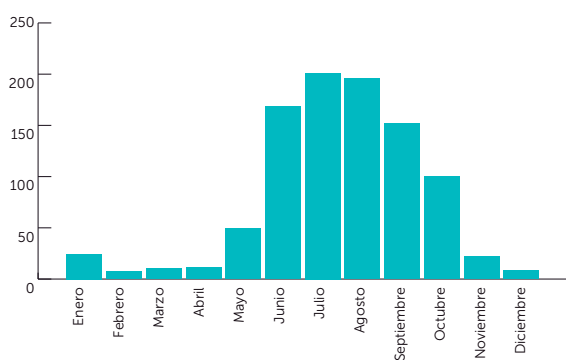
Lluvia media mensual en la cuenca IXTAPAN DEL ORO (mm)



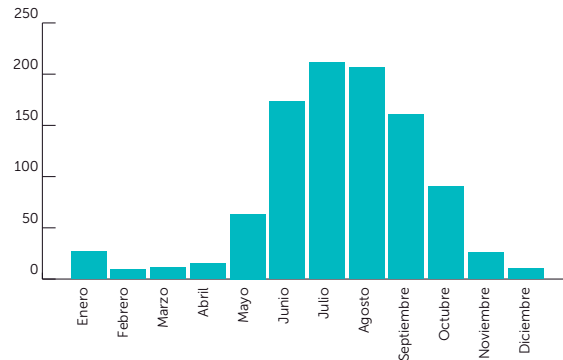
Lluvia media mensual en la cuenca VILLA VICTORIA (mm)



Lluvia media mensual en la cuenca EL BOSQUE (mm)



Lluvia media mensual en la cuenca CHILESDO-COLORINES (mm)



(Fuente: elaboración propia)

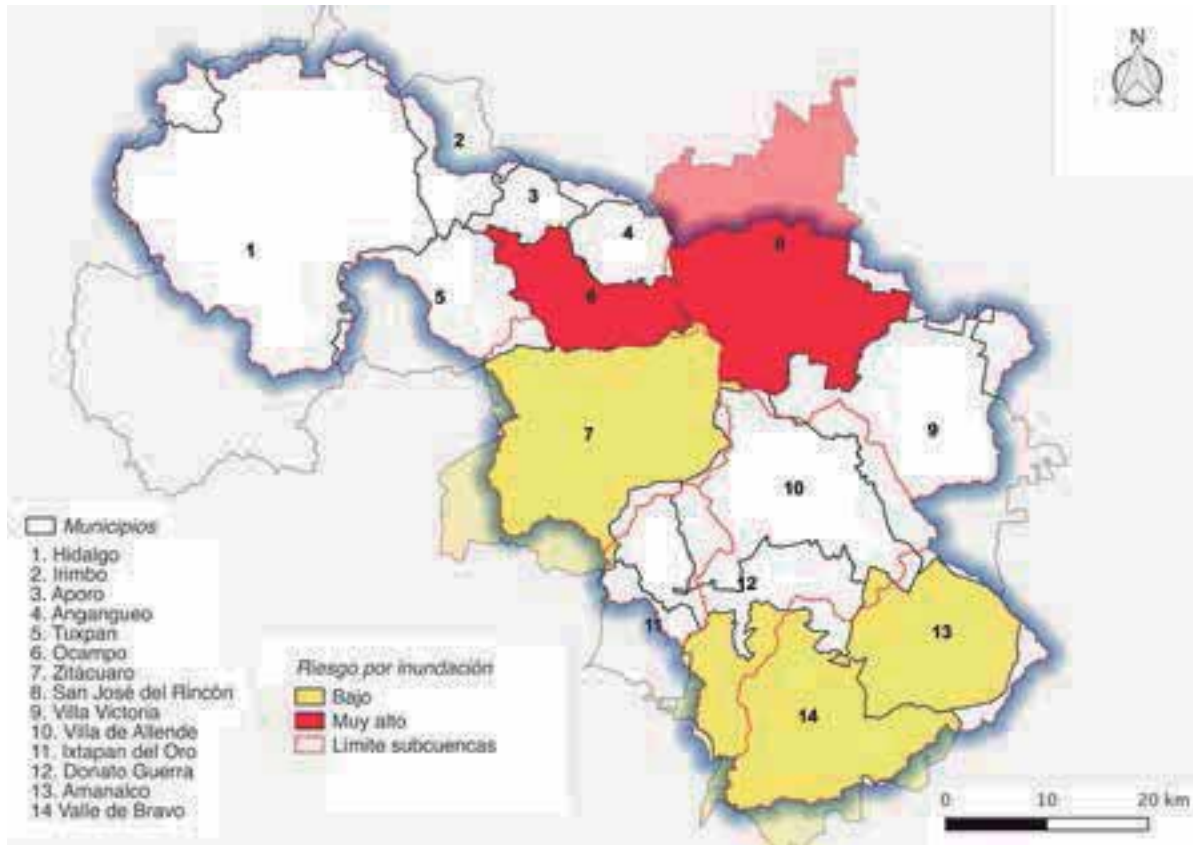
y Anganguero. En Anganguero las inundaciones tuvieron consecuencias mayores debido al deslave de las laderas. Por otro lado, también se han dado periodos de bajas precipitaciones; por ejemplo, de 2006 a 2008 se presentaron precipitaciones inferiores a la media, lo que produjo una disminución del gasto promedio de entrega del Sistema a 12.3 m³/s en 2009.

5. Hidrografía

11. **Escurrimientos superficiales.** Entre los escurrimientos superficiales de la cuenca del Sistema Cutzamala se incluyen ríos perennes y temporales, así como manantiales. Los principales ríos son Tuxpan, Anganguero, Zitácuaro, Ixtapan del Oro, Salitre-Tilostoc y Amanalco, que fluyen de la siguiente manera (Figura 2.12):

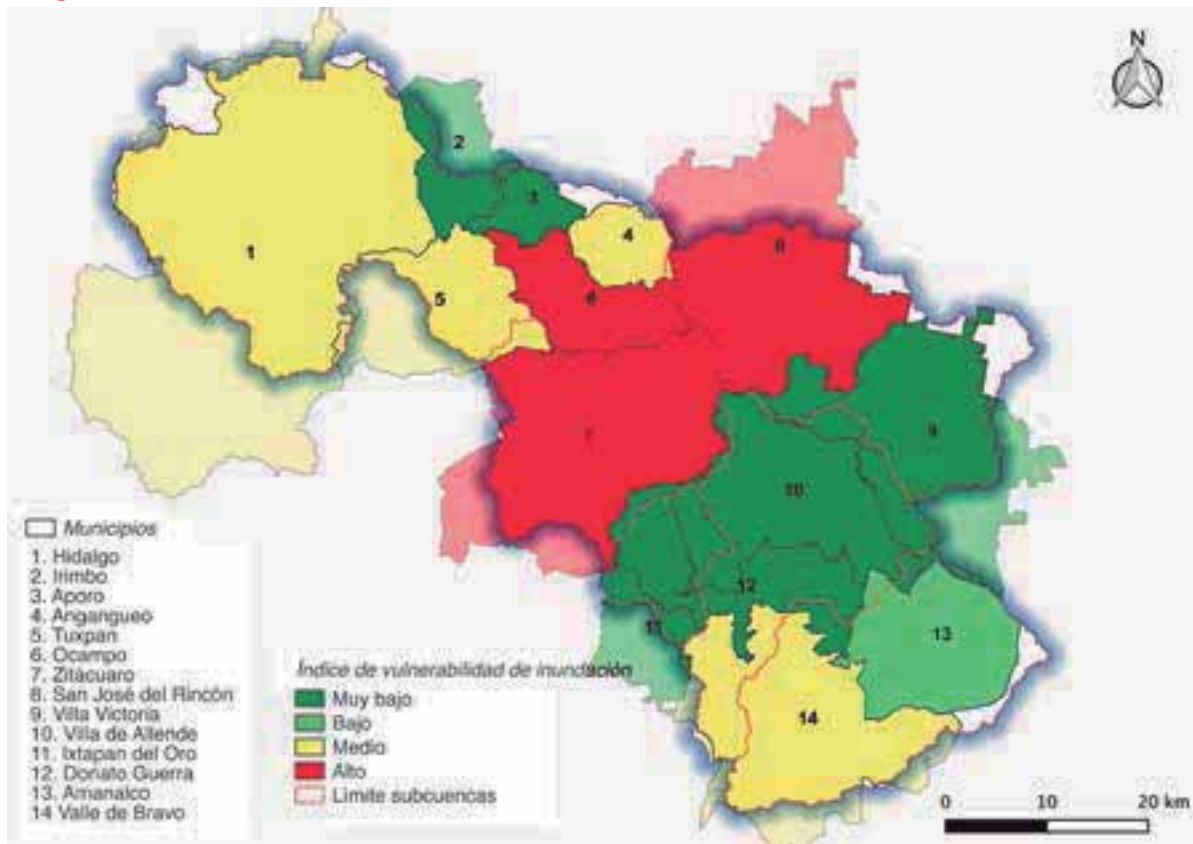
- el río Tuxpan se forma por la confluencia de los ríos Grande y Chiquito en la zona noroeste de la cuenca;

■ **Figura 2.8. Riesgo por inundación**



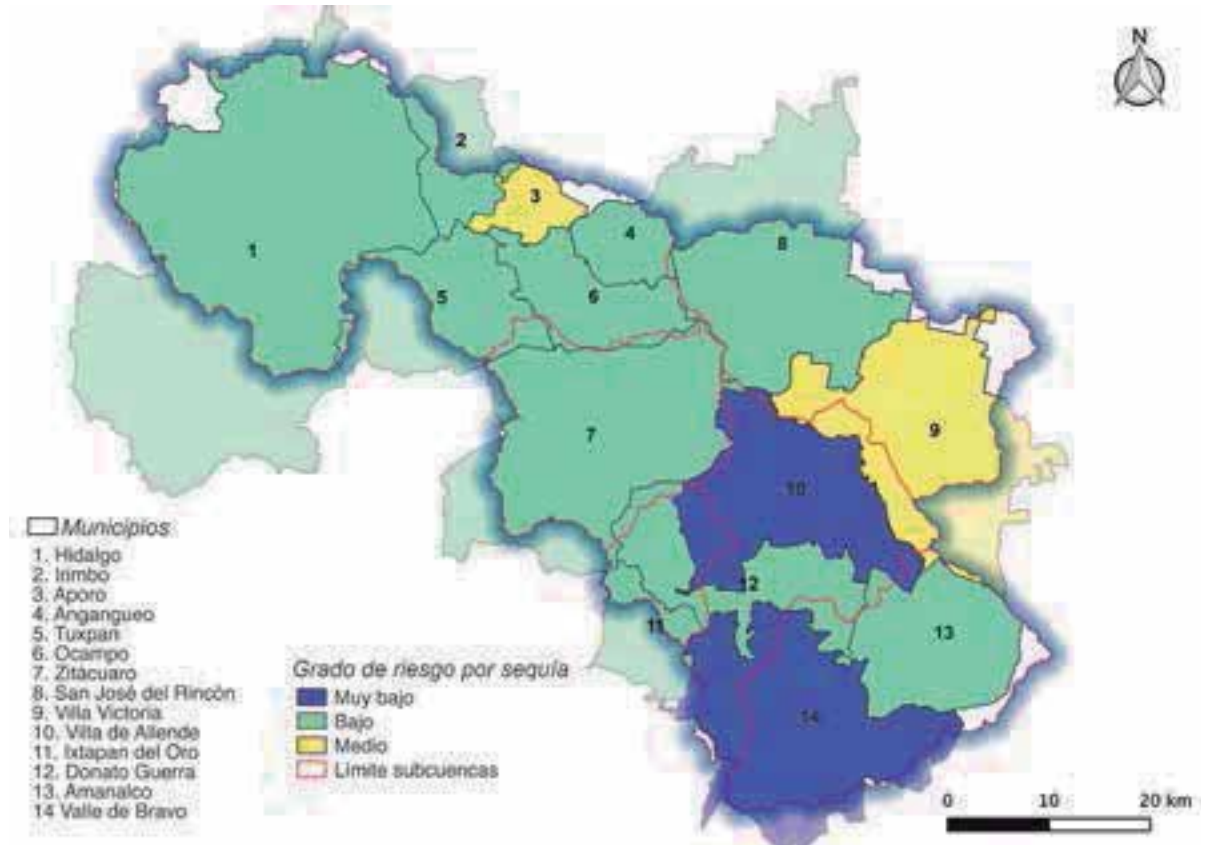
(Fuente: CENAPRED, Año?)

■ **Figura 2.9. Índice de vulnerabilidad de inundación**



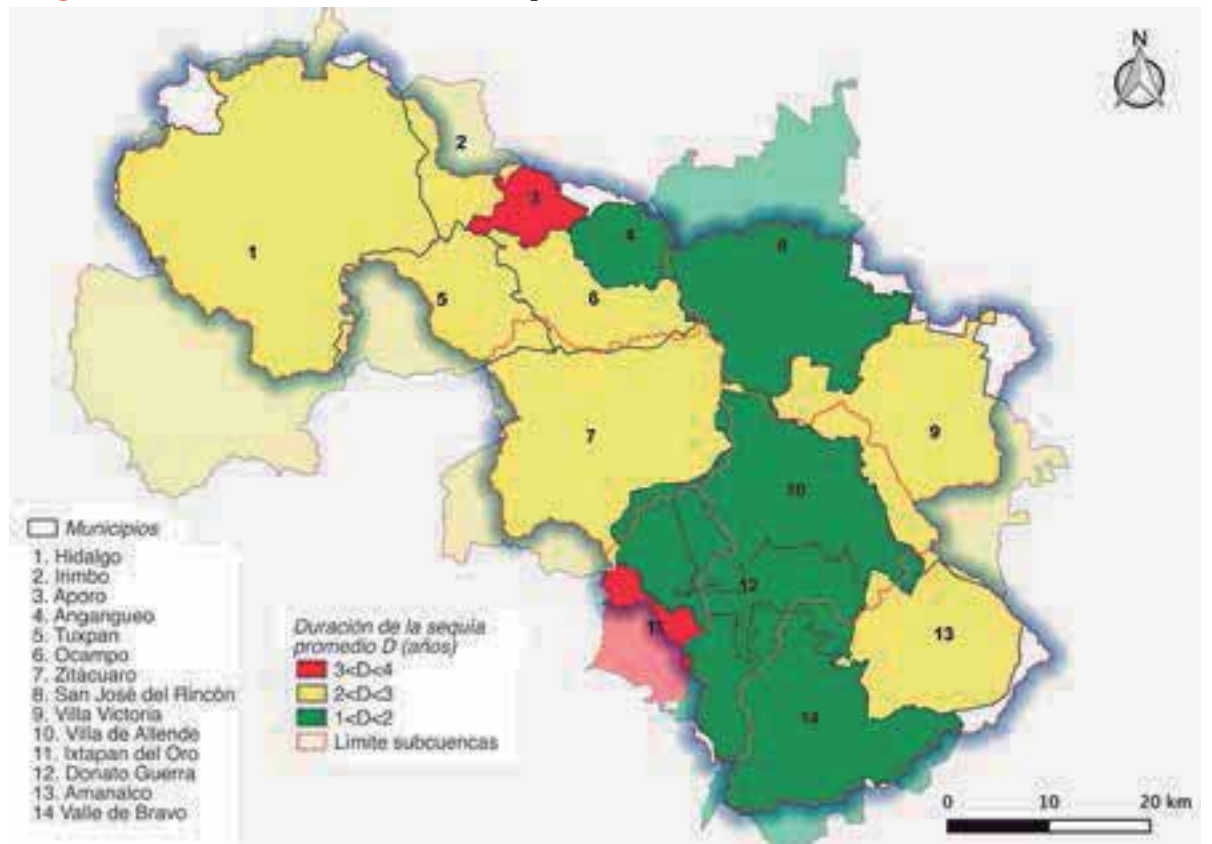
(Fuente: CENAPRED)

■ **Figura 2.10.** Riesgo por sequía



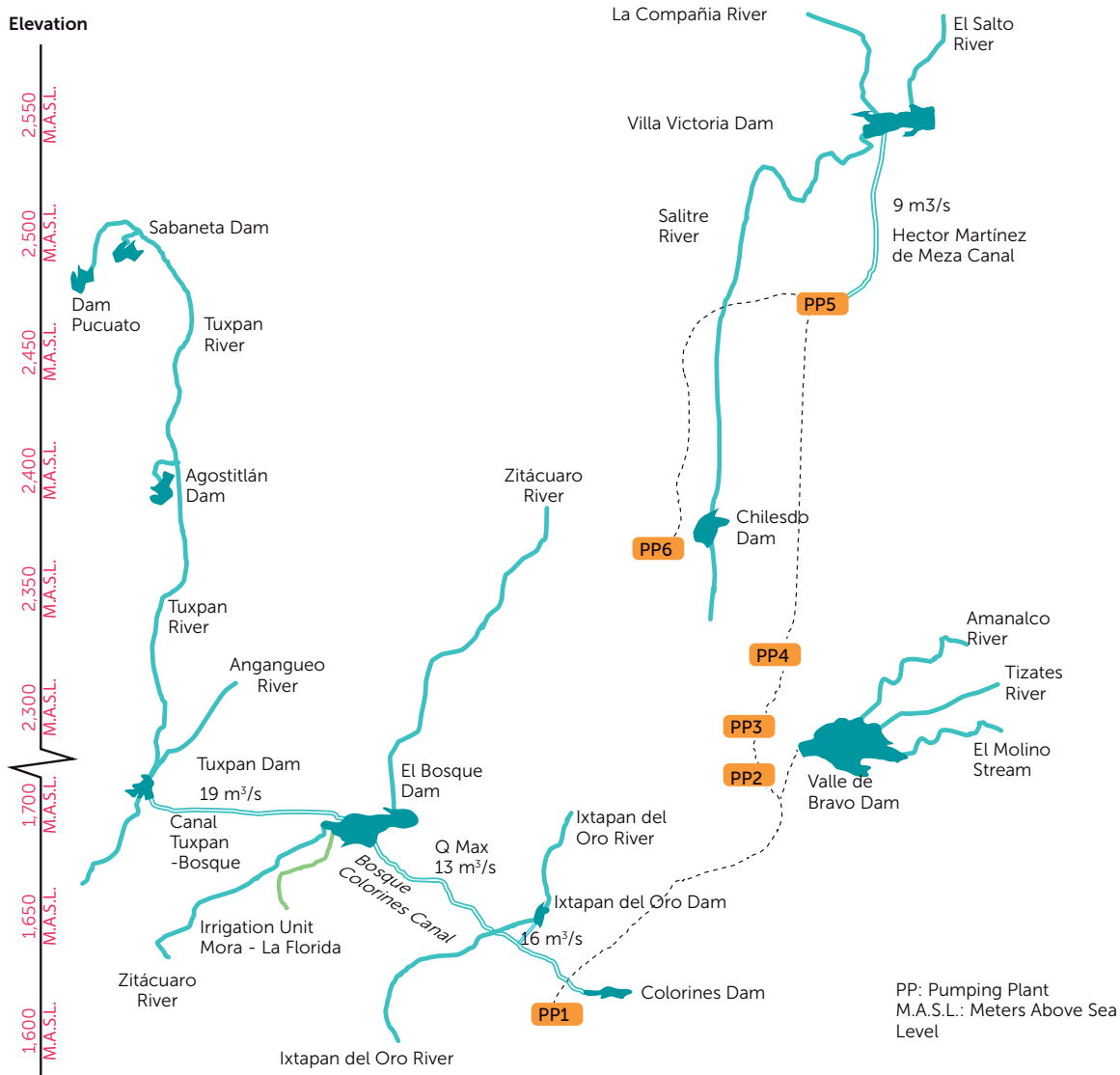
(Fuente: CENAPRED)

■ **Figura 2.11.** Promedio de duración de la sequía



(Fuente: CENAPRED)

■ **Figura 2.12. Esquema del Sistema Cutzamala**



(Fuente: elaboración propia con datos de OCAVM)

- el río Anganguero confluye al río Tuxpan, en el sitio de la presa Tuxpan. La presa Tuxpan vierte una parte de sus volúmenes al bajo río Tuxpan y transfiere la mayor parte a la presa El Bosque, a través del canal Tuxpan-El Bosque;
- el río Zitácuaro alimenta a la presa El Bosque; ésta provee a la Unidad de Riego La Mora-La Florida, alimenta al bajo río Zitácuaro a través de las filtraciones en su cortina y transfiere agua a la presa Colorines a través del canal El Bosque-Colorines. Cuando hay avenidas importantes, la presa Colorines transfiere los gastos excedentes hacia la cuenca baja del río Cutzamala;
- el río Ixtapan del Oro vierte a la presa del mismo nombre y ésta al canal El Bosque-Colorines;
- el río Salitre-Tilostoc alimenta a la presa Chilesdo;
- los ríos Amanalco, González, Santa Mónica, El Molino, Tizates y El Carrizal vierten sus aguas a la presa Valle de Bravo.

12. **Modificación de una cuenca natural.** Como se explicó en el apartado de *El Sistema Cutzamala y el Abastecimiento de Agua a los Valles de México y Toluca*, la cuenca tal como existe en la actualidad es diferente de la cuenca original del río Cutzamala. La primera modificación significativa en la cuenca fue inducida por

la construcción de almacenamientos con finalidad hidroeléctrica, a fines de la década de 1940. Más tarde, en 1982, la conformación del Sistema Cutzamala implicó que la cuenca drenara hacia la salida al Valle de México y no hacia la parte baja, como ocurría antes. Esto sucede a pesar de que actualmente el agua sale hacia un nivel topográfico superior al resto de la cuenca y no hacia uno inferior, como acontece en las cuencas naturales.

13. **Exportaciones.** Como se explica en el apartado de *Balances Hídricos*, los volúmenes que salen del Sistema Cutzamala hacia la cuenca del río Cutzamala y que tienen usos diferentes al abastecimiento a Toluca y el Valle de México pueden considerarse como exportaciones. Éste es el caso de las tomas irregulares de los canales Tuxpan-El Bosque y El Bosque-Colorines, las salidas de la presa Tuxpan hacia el río del mismo nombre, las filtraciones de la cortina de la presa El Bosque, el abastecimiento a las zonas de riego La Mora y La Florida, y los escurrimientos extraordinarios desde la presa Colorines.

6. Vegetación y usos del suelo

14. **Principales usos de suelo.** Según la Serie V de uso de suelo y vegetación (INEGI, 2011), las cuencas están ocupadas por bosque (46% de la superficie total o 1,579 km²), agricultura de temporal (39% o 1,337 km²) y riego (8% o 265 km²) (Tabla 2.2). La superficie de pastizales y vegetación inducida es menor (3%). La agricultura de humedad no es significativa en las seis subcuencas, mientras que la

actividad forestal organizada es importante en la parte alta de la subcuenca Valle de Bravo. En las áreas boscosas de las subcuencas predominan los bosques de oyamel, de encino-pino y bosque mesófilo de montaña con un tipo de vegetación primario y secundario (arbórea y arbustiva), así como selva mediana subcaducifolia. Los datos de las fuentes citadas no permiten precisar la extensión de la actividad pecuaria. Sin embargo, es posible que una parte de los pastizales se utilice para este tipo de actividades (un pastizal o una vegetación inducida se definen como la vegetación que resulta de la presión humana, que incide sobre el desarrollo de la vegetación original e impide su regeneración natural).

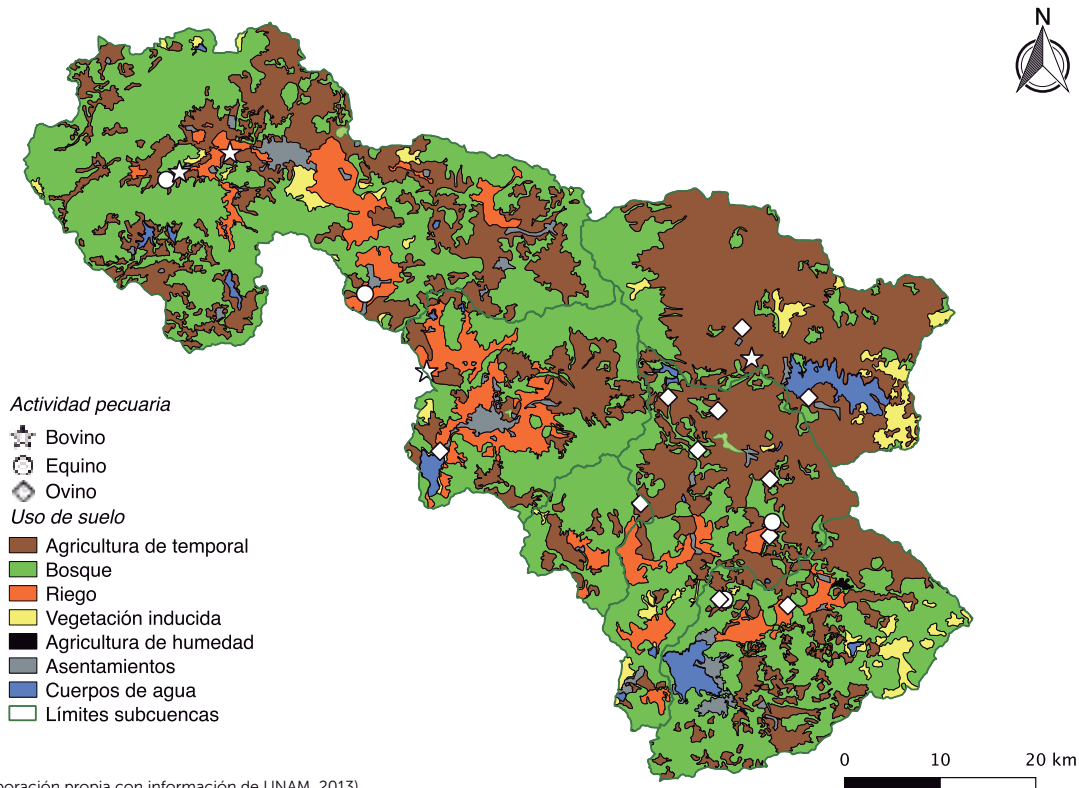
15. Como se advierte en la Figura 2.13, existe información puntual en la Serie V del uso de suelo y vegetación (INEGI, 2011) que describe cierta actividad pecuaria, aunque en pequeñas superficies.
16. **Cambios de cobertura a través del tiempo.** La Figura 2.14 muestra que la cobertura de bosque en el conjunto de las subcuencas ha disminuido sólo en 2% de la superficie total (de 48% a 46%) en los últimos 30 años, comparando los datos de las Serie I (INEGI, 1980) y V (INEGI, 2011). Para este análisis se ha generalizado la cobertura de bosque, que incluye tanto matorrales y selvas como bosques, sin diferenciar la vegetación primaria y secundaria. No obstante, los datos del INEGI no permiten evaluar adecuadamente el nivel de degradación del bosque e identificar la superficie que ha contribuido potencialmente a la erosión hídrica y al azolvamiento de las presas. Para ello se requiere un análisis más detallado de la cobertura forestal.

■ **Tabla 2.2. Coberturas de uso del suelo en las subcuencas**

Uso de Suelo	Tuxpan		El Bosque		Villa Victoria		Ixtapan del Oro		Chilesdo Colorines		Valle de Bravo		Subcuencas Cutzamala	
	km ²	%	km ²	%	km ²	%	km ²	%	km ²	%	km ²	%	km ²	%
Bosque	679	56	220	49	104	17	96	73	186	37	293	55	1,579	46
Agricultura de temporal	373	31	109	24	425	71	24	18	257	51	149	28	1,337	39
Agricultura de Riego	94	8	90	20		0	10	8	45	9	26	5	265	8
Pastizal /vegetación inducida	23	2	5	1	38	6	1	1	9	2	24	4	98	3
Cuerpos de agua	6	1	8	2	28	5	0	0	3	1	20	4	65	2
Asentamiento /zona urbana	28	2	15	3	3	1	0	0	6	1	18	3	71	2
Agricultura de humedad	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0
Actividad forestal	1	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	3	0
Total	1,204		447		598		132		505		531		3,419	

(Fuente: elaboración propia con información de INEGI, 2011)

■ **Figura 2.13. Usos del suelo y actividad agropecuaria en las subcuencas**



(Fuente: elaboración propia con información de UNAM, 2013)

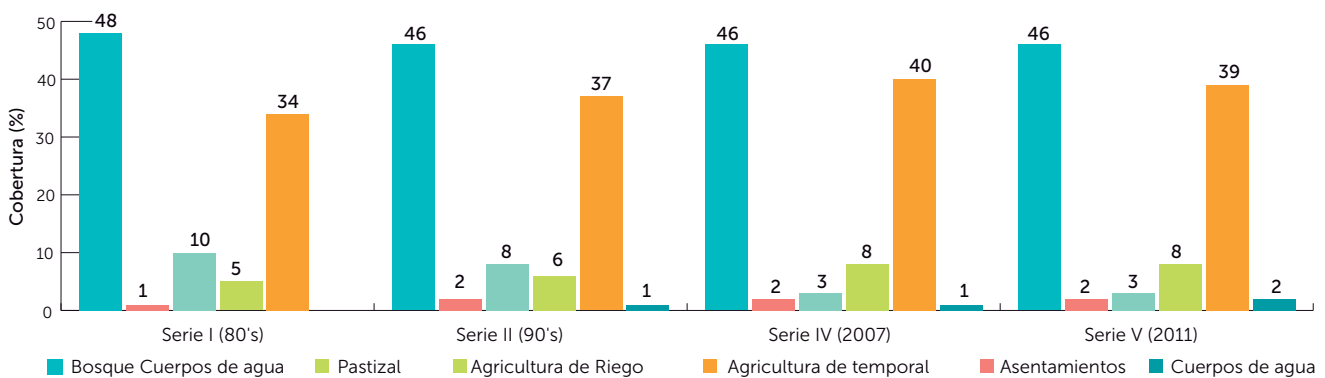
17. **La superficie agrícola.** Comparando la Serie I (INEGI, 1980) con la Serie V (INEGI, 2011) de uso de suelo y vegetación (Figura 2.14), se observa que la agricultura de temporal se incrementó en 5% (de 34% a 39%), mientras que el riego aumentó un 3% del área total. En la porción media de las subcuencas se observa que la cobertura vegetal primaria está muy fragmentada por la agricultura de temporal.

18. **Afectaciones en los ecosistemas.** Por su parte, los cauces principales y los afluentes no cuentan con una cubierta vegetal que

conforme ecosistemas ribereños y que contribuya a la retención de sedimentos y nutrientes. Es muy probable que estos cambios, además del aumento considerable de la densidad de población, estén produciendo alteraciones y modificaciones no favorables en la fauna y la flora características; la preocupación por el santuario de la mariposa monarca sería, en este sentido, emblemática.

19. **Subcuenca Villa Victoria: el área más degradada.** El 70% de la superficie de la subcuenca de Villa Victoria está cubierta por agricultura

■ **Figura 2.14. Coberturas en las subcuencas, 1980-2011**



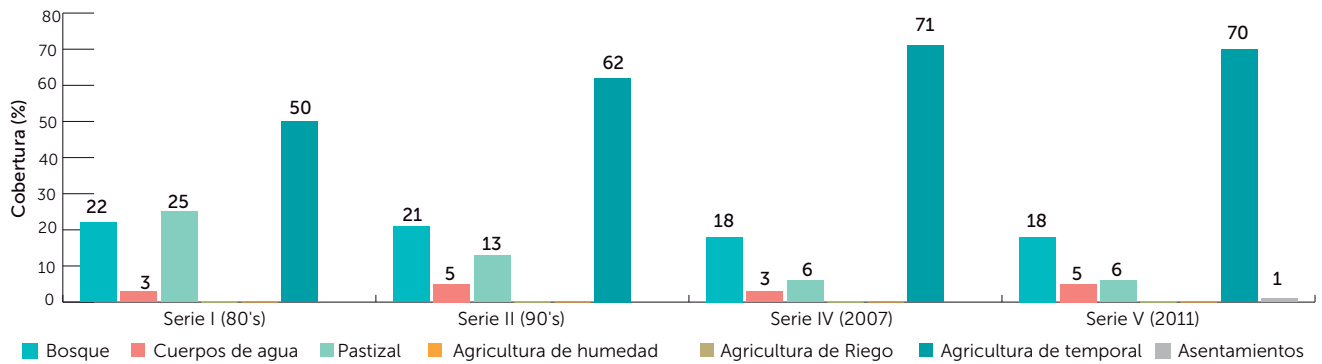
(Fuente: elaboración propia)

de temporal; en comparación con la década de 1980, esta superficie ha aumentado en un 20%. Por otra parte, los pastizales han disminuido en un 19% y los bosques en 5%. La subcuenca se ve muy desprovista de su vegetación original, en particular algunos bosques en su parte alta. Asimismo, los márgenes de la red de drenaje están desprovistos de árboles, salvo donde hay ríos con altas pendientes. Alrededor de la presa Villa Victoria los agricultores no utilizan franjas arboladas, lo que provoca la producción de sedimentos y el deterioro del embalse

(este aspecto se analiza con detalle en los apartados de *Infraestructura y Calidad del Agua en las Subcuencas*).

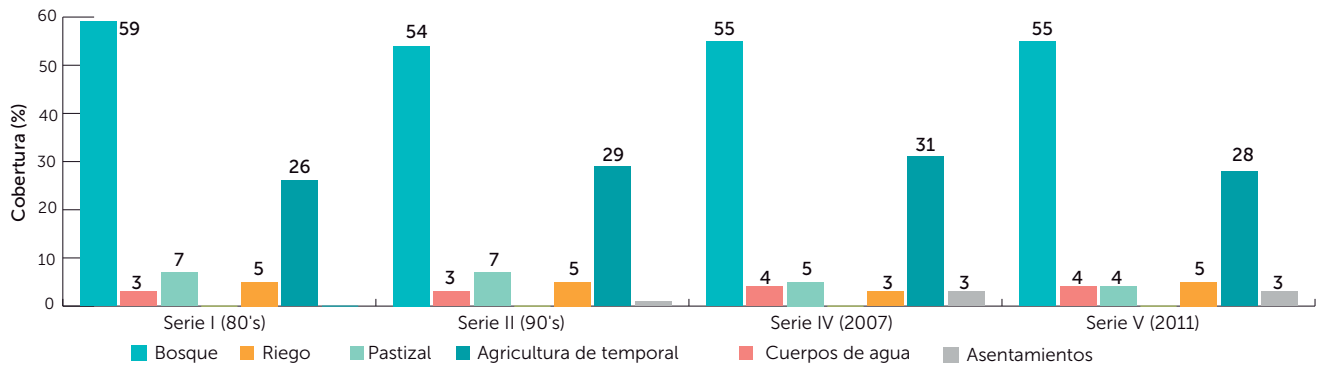
20. Subcuenca Valle de Bravo: pequeños cambios en la cobertura vegetal. En Valle de Bravo se observa una disminución del área de bosque de un 4% de la superficie total, entre la década de 1980 y 2011. Sin embargo, estas cifras no arrojan información sobre el nivel actual de degradación de los bosques. Asimismo, hay un leve aumento de agricultura de temporal. Aunque la

Figura 2.15. Coberturas en Villa Victoria, 1980-2011



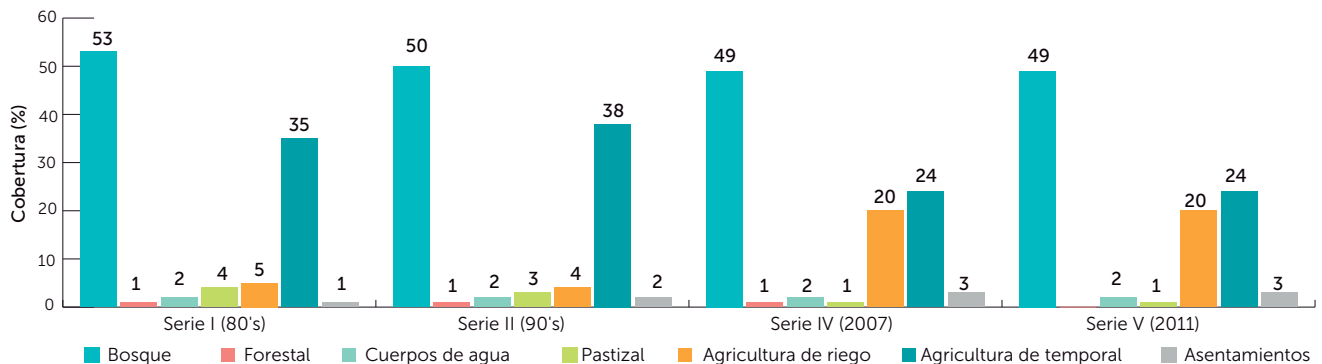
(Fuente: elaboración propia)

Figura 2.16. Coberturas en Valle de Bravo, 1980-2011



(Fuente: elaboración propia)

Figura 2.17. Coberturas en El Bosque, 1980-2011



(Fuente: elaboración propia)

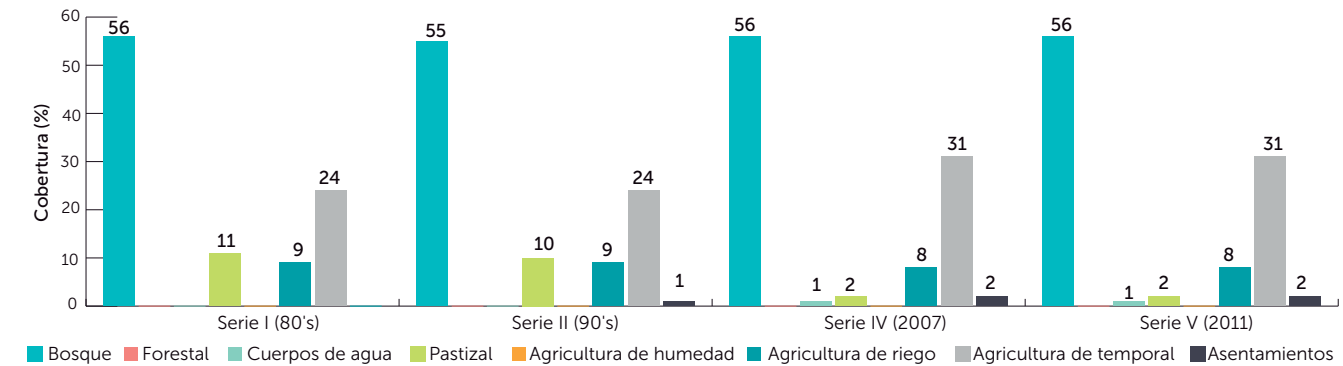
cobertura total de riego se mantiene, se ha desplazado hacia el norte; esto se observa al comparar los mapas de la Serie I (INEGI, 1980) con la Serie V (INEGI, 2011). La zona urbana establecida actualmente alrededor de la presa Valle de Bravo no existía en la década de 1980, como se indica más adelante. Los pastizales en la cuenca se ubican en la zona alta.

de temporal ha disminuido en un 11%, mientras que el riego se ha extendido alrededor de la ciudad de Zitácuaro y en la parte norte de la subcuenca, donde antes había agricultura de temporal y pastizales. Entre 1980 y 2011, la cobertura de bosque ha disminuido en un 4% y se ha sustituido por cultivos de riego.

21. Subcuenca El Bosque: aumento de la zona urbana y de las áreas de riego. En la zona de El Bosque, la superficie de agricultura

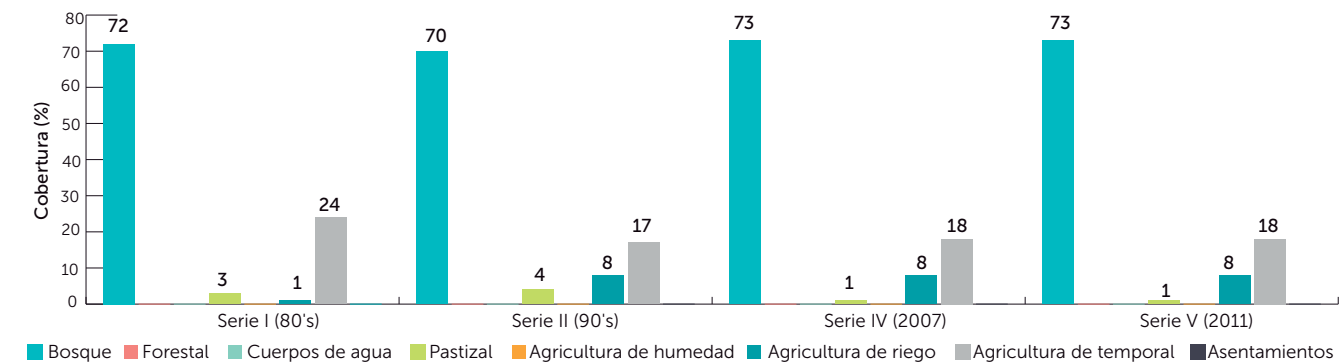
22. Subcuenca Tuxpan: cobertura de bosque constante. En la Figura 2.18 se observa que la agricultura de temporal en Tuxpan se ha incrementado en un 7% a costa de los pastizales,

Figura 2.18. Coberturas en Tuxpan, 1980-2011



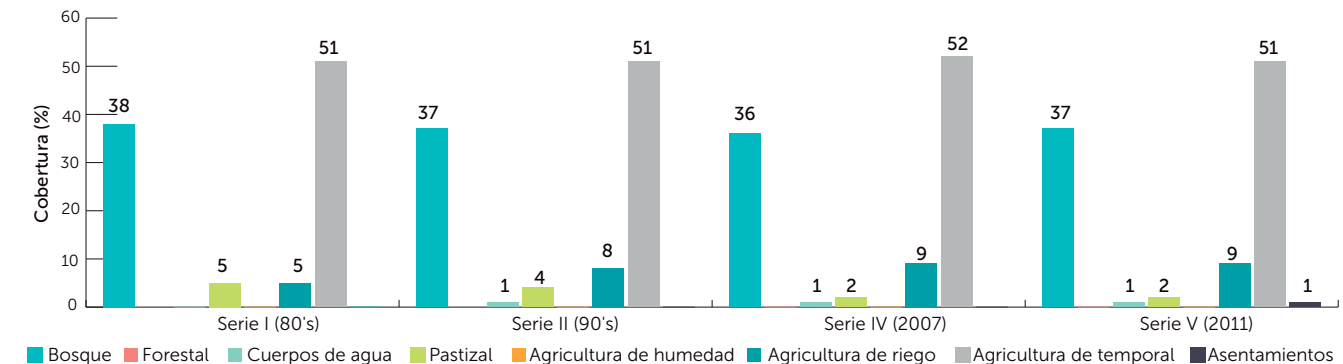
(Fuente: elaboración propia)

Figura 2.19. Coberturas en Ixtapan del Oro, 1980-2011



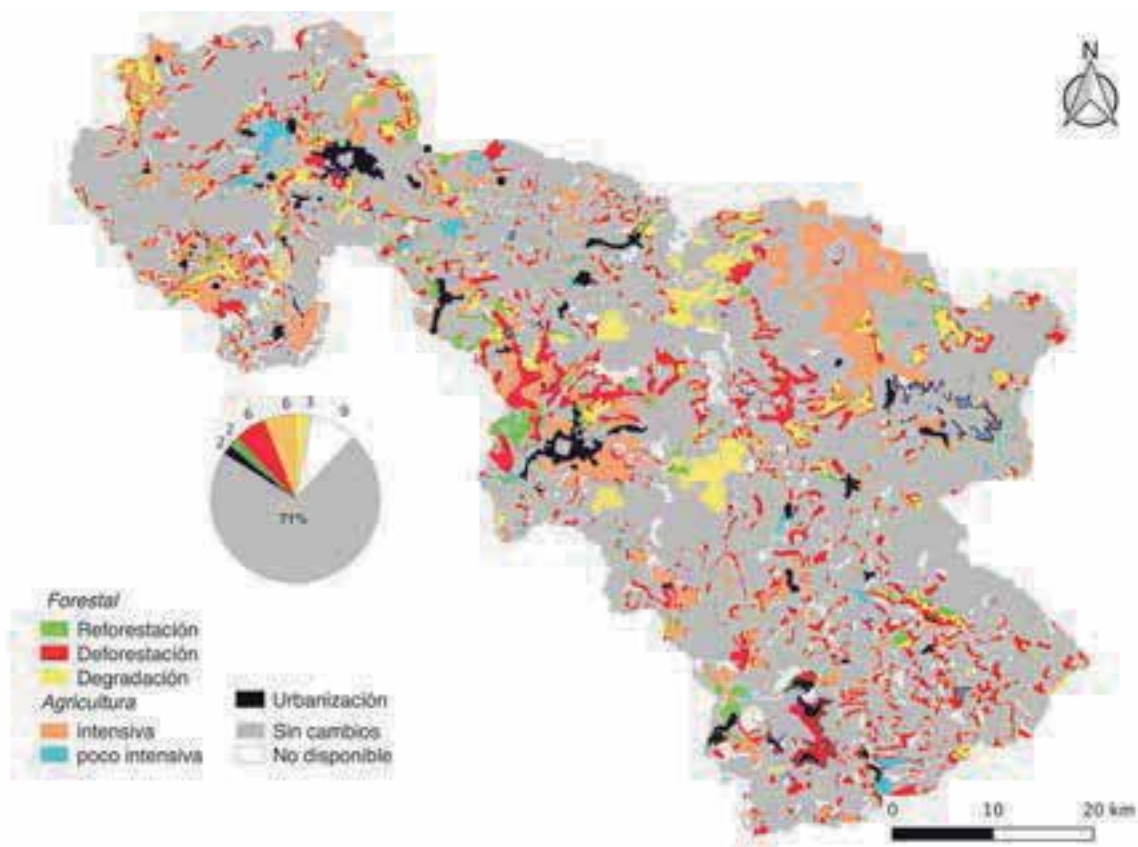
(Fuente: elaboración propia)

Figura 2.20. Coberturas en Chilesdo-Colorines, 1980-2011



(Fuente: elaboración propia)

■ **Figura 2.21.** Cambios de uso de suelo en las subcuencas, 1980-2011



(Fuente: elaboración propia con información de INEGI)

mientras que la cobertura de bosque se mantiene constante.

23. Subcuencas Ixtapan del Oro y Chilesdo-Colorines: disminución del área de agricultura de temporal y aumento del área de riego. En ambas subcuencas se observa que la agricultura de temporal ha disminuido, pero esto se ha compensado con un aumento del área irrigada. Asimismo, como se advierte en las figuras 2.19 y 2.20, el área de bosque se mantiene constante.

24. Reserva de la biosfera Mariposa Monarca. Para proteger y preservar las colonias de mariposa monarca que llegan al territorio mexicano para hibernar, se creó la Reserva de la biosfera Mariposa Monarca (decreto presidencial del 10 de noviembre de 2000); en 2008 esta área fue designada por las Naciones Unidas como Patrimonio de la Humanidad. Estas superficies forestales son también fundamentales en la producción de agua de calidad durante todo el año y para la retención de suelo. Dentro de la Reserva existe una zonificación base que considera zonas núcleo de protección de los bosques mejor conservados y de ecosistemas

■ **Tabla 2.3.** Cambios de uso de suelo en las subcuencas (% superficie total)

Tipo	%
Agricultura menos intensiva	0.66
Intensificación agrícola	6.25
Urbanización	1.60
Reforestación	1.52
Degradación forestal	3.17
Deforestación	6.49
No conocido	9.16
Sin cambios/indiferente	70.87
Otros	0.27

(Fuente: elaboración propia)

frágiles, en las que no se permite la tala, y una zona de amortiguamiento, en donde se permite la tala controlada.

25. La Reserva en las subcuencas. La Reserva de la biosfera Mariposa Monarca tiene una superficie total de 562.57 km²; el 80.3% de esta superficie está dentro de los límites de las subcuencas del Sistema Cutzamala, salvo en Valle de Bravo (Figura 2.22). Las subcuencas de

■ **Figura 2.22. Reserva de la biosfera Mariposa Monarca**



(Fuente: CONANP, 2014)

El Bosque y Tuxpan albergan, respectivamente, 26% y 25% del área total de la Reserva de la biosfera de la Mariposa Monarca; les siguen Villa Victoria (14%), Ixtapan del Oro (11%), Chilesdo-Colorines (4%). Un 46 % del área total de la subcuenca de Ixtapan del Oro (con 132 km² en total) forma parte de la Reserva de la biosfera (Tabla 2.4).

26. **Procesos de deterioro en la Reserva.** La reserva enfrenta un proceso de degradación forestal y procesos de erosión que involucran aspectos físicos y de carácter social. Las figuras 2.23 y 2.24 muestran la extensión del terreno ocupado por la agricultura de temporal en las zonas núcleo y de amortiguamiento de la Reserva de la biosfera Mariposa Monarca. Se han dado enfrentamientos con talamontes que cortan árboles sin permiso; en algunos casos se ha tenido que recurrir a las fuerzas de seguridad para enfrentarlos.

27. **Algunas iniciativas de conservación y manejo.** Se han puesto en práctica algunas iniciativas de conservación y manejo participativo a nivel de microcuencas, promovidas por la CONANP y el IMTA, entre otras instancias.

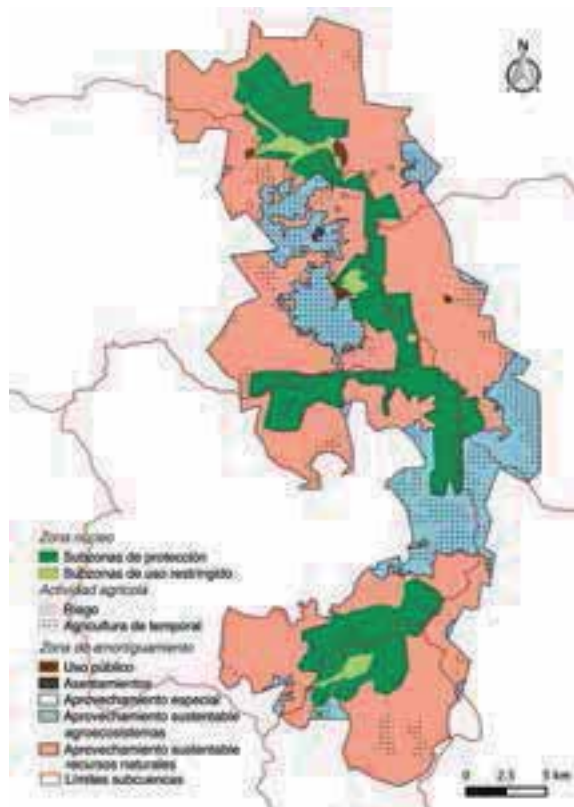
■ **Tabla 2.4. Áreas de la Reserva de la biosfera Mariposa Monarca en las subcuencas del Sistema Cutzamala (km²)**

Zona	Área	(%)
Tuxpan	142.84	25.39
El Bosque	148.56	26.41
Villa Victoria	78.66	13.98
Ixtapan del Oro	61.01	10.84
Chilesdo-Colorines	20.66	3.67
Valle de Bravo	0.00	0.00
Fuera de las subcuencas	110.84	19.70
Total	562.57	100.00

(Fuente: elaboración propia)

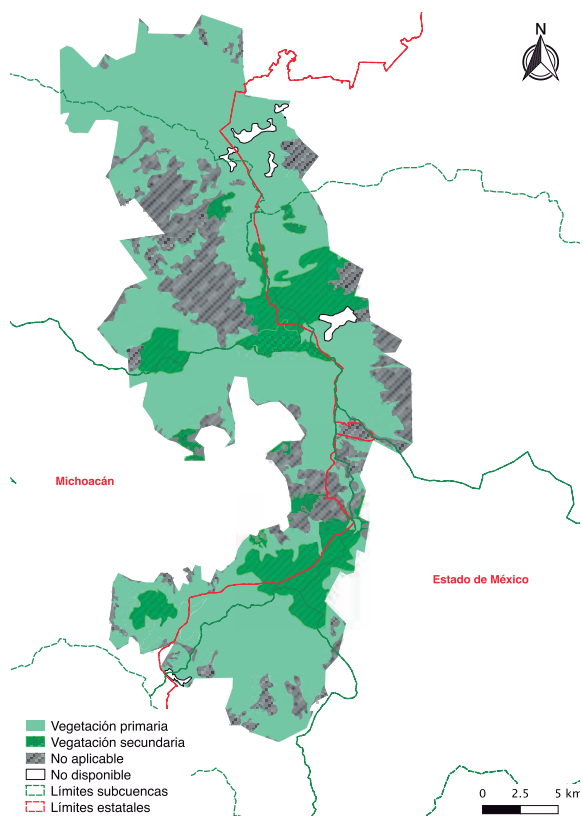
Mediante estas acciones, las comunidades participan de los beneficios de la conservación y se promueve la oferta de servicios ambientales turísticos compatibles con los objetivos del Programa de Manejo de la Reserva de la biosfera Mariposa Monarca.

■ **Figura 2.23. Zonificación y actividad agrícola en la Reserva de la biosfera Mariposa Monarca**



(Fuente: elaboración propia con información de CONANP, 2014 e INEGI, 2011)

■ **Figura 2.24. Coberturas primarias y secundarias en la Reserva de la biosfera Mariposa Monarca**



(Fuente: elaboración propia con información de CONANP, 2014 e INEGI, 2011)

7. Cambios en el paisaje por el crecimiento urbano

28. **Valle de Bravo: un acelerado crecimiento urbano.** En el apartado de *Panorama Socioeconómico y de Comunicación* se detalla el proceso de transformación que está ocurriendo en la mayor parte de las subcuencas, relacionado con el crecimiento de la población y con el cambio de sus actividades. En este apartado describimos cómo en las últimas décadas ha aumentado el uso del suelo urbano, con velocidad creciente y de manera desordenada. La Figura 2.25 muestra la magnitud de ese fenómeno en el caso emblemático del centro urbano de Valle de Bravo, en los años 1930, 1970 y 2010.

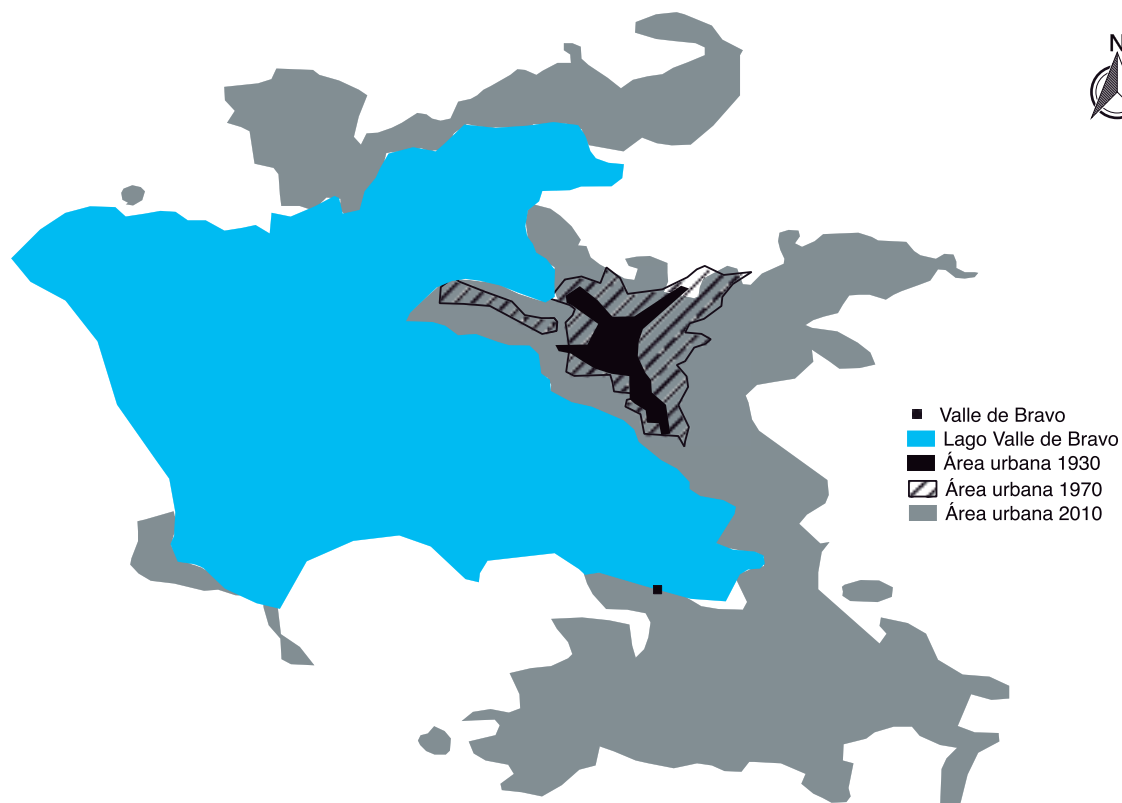
8. Deterioro de la calidad de los recursos

29. **Erosión.** Los suelos andosoles, predominantes en el territorio del Sistema Cutzamala, son muy vulnerables a la erosión hídrica y eólica. El deterioro por la erosión del aire se acentúa

durante la preparación, mecanizada o de tracción animal, de los terrenos. De la superficie total de las subcuencas, un 95% padece algún tipo de degradación. Un 29.4% presenta erosión entre muy baja y moderadamente baja; un 36.7% entre moderada y moderadamente alta; el 24.6% entre alta y muy alta, y el restante 4.2% sufre grados extremos y muy extremos de erosión. Como se advierte en la Figura 2.26, las zonas de mayor erosión se concentran en las subcuencas de Tuxpan (Ocampo, Mineral de Angangueo, Manzana de San Luis y, hacia el oeste, el área de los ríos Turundo y Piricua) y Villa Victoria (en las partes altas de los ríos Rechivati y Primreje). Un 23% corresponde a degradación química que se manifiesta en la disminución de la fertilidad y en la reducción de materia orgánica.

30. El predominio de laderas con pendientes pronunciadas y las inexistentes o inadecuadas prácticas agrícolas o pecuarias de manejo de suelos y agua tienen graves consecuencias. Entre ellas, la pérdida de fertilidad, la disminución de los rendimientos, el empobrecimiento de los sistemas de producción, la baja infiltración hacia los acuíferos, la contaminación del

■ **Figura 2.25. Crecimiento urbano en el Valle de Bravo 1930, 1920, 2010**



(Fuente :elaboración propia con información de Bernal, 2011)

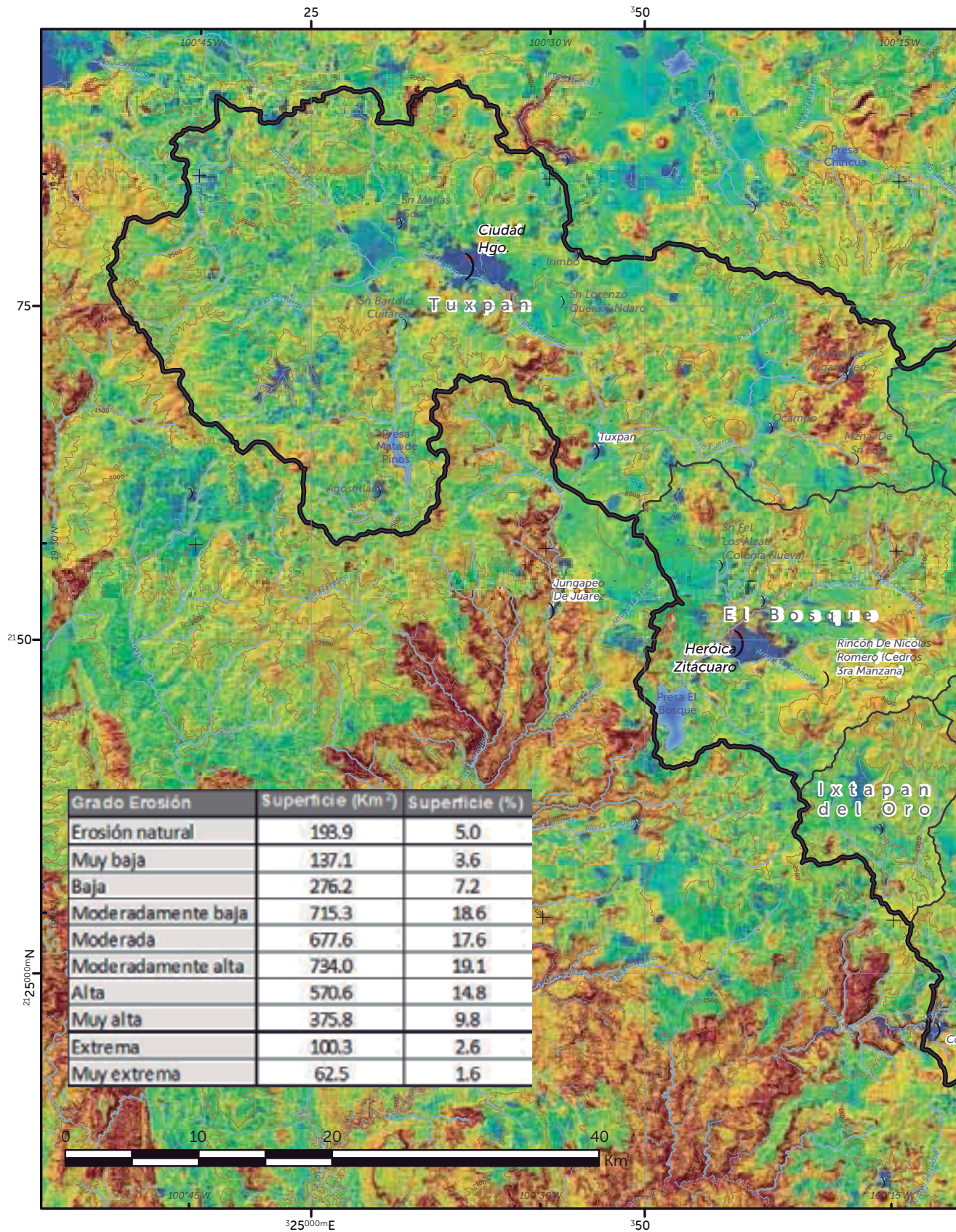
agua por agroquímicos y, sobre todo, el arras-
tre de partículas que producen los azolves que
se acarrean aguas abajo con los escurrimientos.

31. **Erosión en la agricultura de temporal.** Una buena proporción de la agricultura de temporal se practica en parcelas pequeñas; en muchos casos, se establece en terrenos de pendiente pronunciada en los que ocurre un escurrimiento acelerado. En estos últimos, la tendencia a la erosión es mayor, incluso con lluvias normales, por lo que estos suelos no son aptos para el uso agrícola con cultivos anuales. Se ha encontrado que esas tierras están siendo utilizadas más allá de su capacidad de producción sustentable. Además, es muy probable que la mayoría de parcelas sembradas de maíz sean unidades familiares con una larga tradición, aunque (como se indica en el apartado *Panorama Socioeconómico y de Comunicación*) con frecuencia ya no constituyen la fuente principal de ingreso familiar. Esto dificulta la posibilidad de fomentar un cambio hacia otros usos del suelo más acordes con la vocación del recurso.
32. **Evolución reciente de la erosión en agricultura de temporal.** Un análisis comparativo

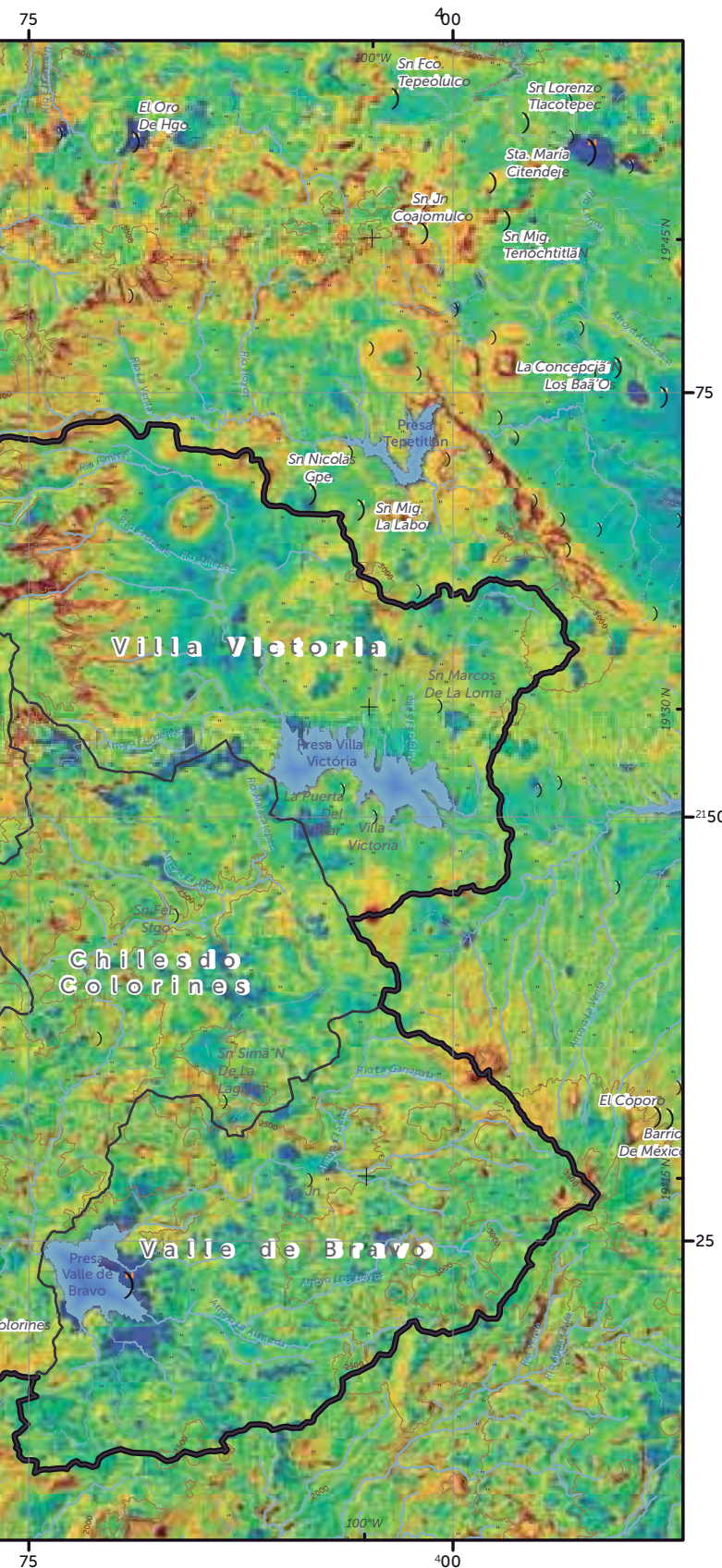
de las series I (1980) y IV (2007) del INEGI realizado por el Instituto de Ingeniería de la UNAM para estas áreas muestra que los municipios con más cambios negativos en el periodo fueron Ciudad Hidalgo, San José del Rincón, Villa Victoria y Villa de Allende. En cambio, en los municipios de Ocampo, Donato Guerra, Valle de Bravo, Angangueo, Amalco y Zitácuaro el fenómeno se mantuvo estable o disminuyó. Las tablas 2.5 y 2.6 indican la extensión del fenómeno en el territorio ocupado por agricultura de temporal en los 10 principales municipios según la Serie IV (2007) del INEGI. Los grados de erosión considerados son moderado (10-50 ton/ha/año), alto (50-500 ton/ha/año) y extremo (> 500 ton/ha/año).

33. **Tasas sustentables de erosión.** A propósito de la información de las tablas anteriores, es importante notar que la condición de moderado no equivale necesariamente a tasas aceptables o sustentables de erosión. En realidad, una pérdida de 50 ton/ha/año no puede ser considerada sustentable, sino severamente dañina para los suelos y el medio ambiente.

■ **Figura 2.26.** Erosión del suelo en las subcuencas



(Fuente: Instituto de Ingeniería UNAM)



Análisis de la Información para el Desarrollo de Herramientas del Sistema Cutzamala y sus Cuencas de Aportación (Primera Etapa)

Mapa Erosión (Serie IV) del Sistema Cutzamala

Leyenda temática

- Erosión natural
- Muy baja
- Baja
- Moderadamente baja
- Moderada
- Moderadamente alta
- Alta
- Muy alta
- Extrema
- Muy extrema

Símbolos convencionales

- | | | |
|--|------------------------|------------------------|
| | Subcuenca hidrográfica | Localidad |
| | Sistema Cutzamala | Población total |
| | Cuerpo de agua | - 500 - 2,500 |
| | Corriente de agua |) 2,501 - 5,000 |
| | Perenne |) 5,001 - 15,000 |
| | Intermitente |) 15,001 - 30,000 |
| | Curva de nivel |) 30,001 - 84,307 |



Elipsoide: WGS 1984.
 Datum: WGS 1984.
 Proyección: UTM Zona 14 Norte.
 Equidistancia curvas: 500 metros.
 Fuentes: INEGI, CONAGUA, Elab. Propia.
 Edición cartográfica: Pablo Leautaud Valenzuela.
 Elaboración: Instituto de Ingeniería, UNAM.



■ **Tabla 2.5.** Grados de erosión (% de terrenos en uso agricultura de temporal) en 4 municipios de Michoacán, 2007

Grados de erosión	Ocampo	Dd. Hidalgo	Anganguero	Zitácuaro
Moderado	3.2%	9.2%	4.9%	4.9%
Alto	42.1%	66.4%	25.7%	50.7%
Extremo	54.4%	23.8%	73.5%	44.0%

■ **Tabla 2.6.** Grados de erosión (% de terrenos en uso agricultura de temporal) en 6 municipios del Estado de México, 2007

Grados de erosión	Donato Guerra	Amanalco	Valle de Bravo	Villa Victoria	Villa de Allende	San José del Rincón
Moderado	9.1%	8.1%	16.8%	17.1%	10.1%	5.5%
Alto	66.7%	62.2%	61.7%	67.7%	63.7%	47.8%
Extremo	23.5%	29.3%	20.0%	13.6%	25.1%	45.8%

(Fuente: Serie IV del INEGI, 2007)

34. Los casos de Valle de Bravo y Villa Victoria.

Estudios realizados por el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua en las subcuencas de Valle de Bravo y Villa Victoria indican que, en el primer caso, el 37% de la superficie presenta tasas de erosión entre moderadas y muy altas, mientras que en la segunda, un 52.8% registra tasas altas y muy altas. En este último caso, las más afectadas eran las zonas de agricultura de temporal en ladera con pendientes superiores al 30%. Una proporción considerable de las áreas afectadas se encuentra en las cercanías de la presa Villa Victoria. En ambas subcuencas es urgente impulsar mejoras en las prácticas agrícolas de conservación de suelos. La experiencia disponible en Valle de Bravo indica que la eficiencia de las prácticas aplicadas varía desde el 64% de reducción de erosión (maíz en surcos de contorno) hasta un 96% (maíz en surcos de contorno en terrazas con maguey). En el caso de Villa Victoria, las prácticas establecidas redujeron la erosión en 27% (pasto) y hasta el 51% (maíz/haba).

35. Erosión en áreas irrigadas. Recientemente se ha extendido la práctica de riego en suelos frágiles y con pendiente, lo que va en contra de la vocación del recurso. Los efectos erosivos del escurrimiento están también presentes en las áreas irrigadas, inducidos por un manejo inadecuado o deficiente del sistema utilizado. El manejo incorrecto de los recursos favorece, por lo demás, la formación de cárcavas que originan grandes volúmenes de azolves. Por otro lado, la compactación de los suelos y la pérdida de la materia orgánica han acentuado la declinación de su fertilidad.

36. Uso pecuario y sobrepastoreo. En los valles intermontañosos elevados, inicialmente agrícolas, se ha establecido una explotación extensiva de borregos, principalmente. Se estima que en esas áreas existe un sobrepastoreo importante que provoca la compactación del terreno, la disminución de la cubierta vegetal y la erosión consecuente.

37. Erosión: el problema de manejo del agua en las subcuencas. La degradación del medio biofísico en las subcuencas es causada, directa o indirectamente, por la erosión de suelos y tiene consecuencias sobre la calidad del agua, la declinación de la biodiversidad, el depósito de sedimentos en cuerpos de agua, la reducción de la productividad y los ingresos para los productores. La erosión hídrica está a su vez determinada por un escurrimiento excesivo de la precipitación normal, y forma parte de los problemas de manejo del agua (Mann, 2013).

38. Deterioro de la calidad del agua. En el apartado de *Calidad del Agua en las Subcuencas* se detalla la situación de la calidad del recurso, tomando en consideración la función principal del Sistema Cutzamala. Entre las principales fuentes de contaminación se encuentra la erosión hídrica, que se manifiesta en incrementos de la turbiedad del agua y en una presencia elevada de residuos sólidos suspendidos.

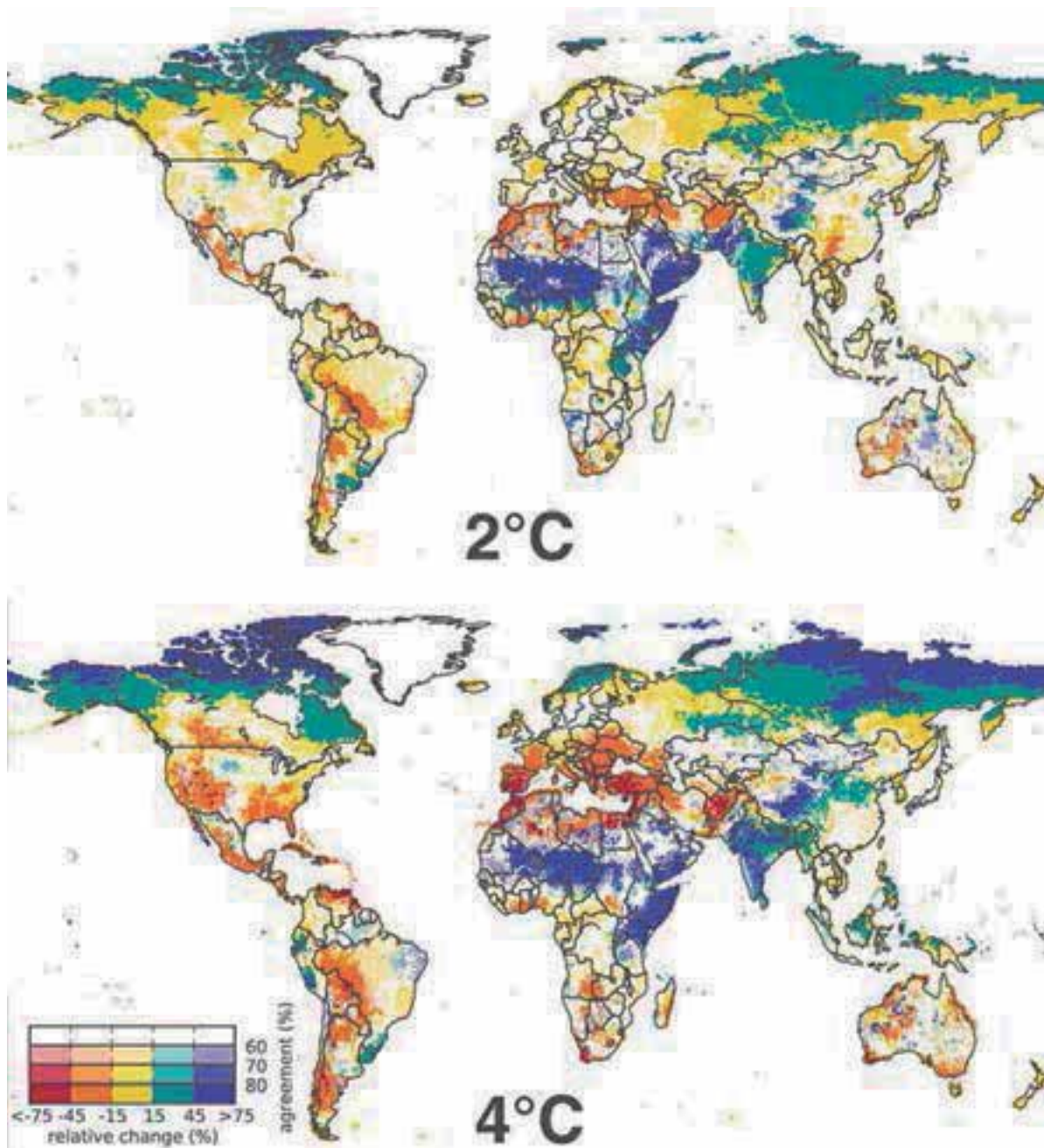
39. Deterioro de los bosques. La tala clandestina, el cambio de uso de forestal a agrícola y a urbano, los incendios forestales y el estado sanitario de los bosques constituyen amenazas reales respecto de la cantidad y la calidad del recurso forestal en todas las subcuencas.

9. Hipótesis sobre las consecuencias del cambio climático

40. **Efectos sobre la disponibilidad del agua.** En 2009 un estudio (Escolero *et al.*, 2009) hizo un análisis de la precipitación y la evapotranspiración en el Sistema Cutzamala, a partir de varios escenarios y modelos, para establecer las modalidades y consecuencias del cambio climático. El estudio calculó la

disponibilidad natural de agua (escurrimiento más recarga) en las áreas de captación de los diversos escenarios. Se estima, como publica el estudio, que puede haber una disminución mínima de entre -10% y -17% en la disponibilidad del agua en las áreas de captación del Sistema Cutzamala. Los autores advierten que es difícil distinguir si esta disminución es un efecto del cambio de cobertura, de los cambios locales del clima o del cambio climático global.

- **Figura 2.27.** Cambio en el escurrimiento en el planeta para los escenarios Mundo 2 °C y Mundo 4 °C en los años 2080 en relación con el periodo 1986-2005



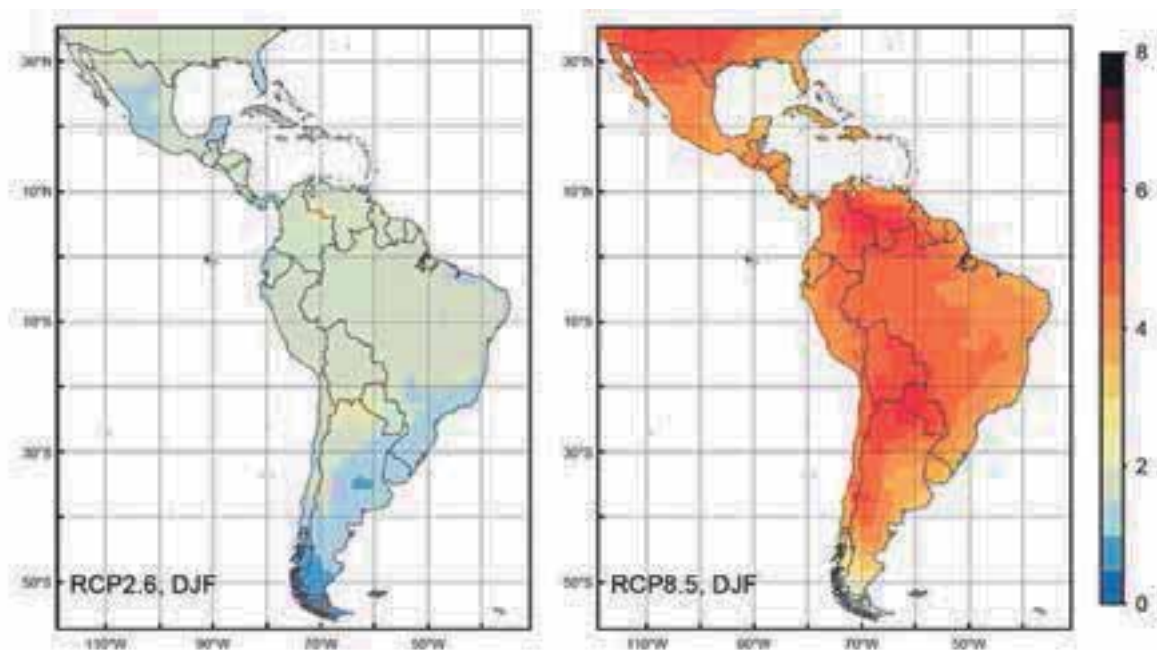
41. **Efectos del aumento de la temperatura.** De acuerdo con el informe *Turn Down the Heat* (World Bank, 2014), se espera que en la región analizada se incremente la temperatura y se reduzca la precipitación y, por tanto, los escurrimientos anuales entre un 15% y un 45%. En el estudio se presentan dos escenarios de incremento global de temperatura: el primero, denominado *Mundo 2°C*, supone que la temperatura global se incrementa en 2°C respecto de la era preindustrial, y el segundo (*Mundo 4°C*) en el que la temperatura aumenta 4°C (Figura 2.27).
42. En las figuras 2.28 (a) y (b) se muestran las anomalías de temperatura en la región de Latinoamérica y el Caribe para los escenarios *Mundo 2°C* y *Mundo 4°C*, respectivamente, para el periodo invernal septentrional.
43. **La Ciudad de México.** En el caso del área metropolitana de la Ciudad de México, se prevé que la extensión de las sequías de verano incremente la demanda de agua. Además, el aumento del estiaje podrá afectar desproporcionalmente a la población rural en el país, que tenderá a buscar en las ciudades actividades económicas menos dependientes del clima; esto también contribuirá al incremento de la demanda de agua. Las proyecciones de incremento en las temperaturas, sequías más frecuentes y prolongadas, y decremento de la precipitación tendrán efectos negativos sobre

la seguridad del abastecimiento de agua en la ZMVM y aumentará la dependencia de este recurso. La seguridad hídrica de las áreas externas proveedoras de agua (como el Sistema Cutzamala) también se verá afectada.

10. Conclusiones

44. Por sus condiciones geológicas, las subcuencas del Sistema Cutzamala son muy vulnerables a fenómenos meteorológicos extremos. La topografía y las prácticas que conducen a la deforestación provocan el deslizamiento de material hacia los ríos y cuerpos de agua. Los suelos dominantes son poco fértiles y vulnerables a la erosión hídrica, eólica y química.
45. La cuenca actual es diferente de la original del río Cutzamala. Drena en realidad hacia el Valle de México y no hacia la parte más baja, como ocurrió por siglos. Como consecuencia de esa transformación, los volúmenes que salen del Sistema Cutzamala hacia la cuenca del río del mismo nombre pueden ser considerados como exportaciones.
46. Los usos principales del suelo se distribuyen aproximadamente en 46% de bosque, 39% de agricultura de temporal y 8% de riego, con menor presencia de pastizales. Si bien se requiere

■ **Figura 2.28.** Anomalía de temperatura en los escenarios (a) *Mundo 2°C* y (b) *Mundo 4°C* en el periodo 2071-2099 respecto a 1951-1980



(World Bank, 2014)

- más precisión mediante visitas de terreno, la información de las series I a V del INEGI muestra que los bosques han disminuido sólo en 2% de 1980 a 2011. La agricultura de temporal aumentó en 5% y la de riego en 3% del área total.
47. La degradación del medio biofísico parece más alta en la subcuenca de Villa Victoria, con una agricultura de temporal 20% más extendida que en 1980. En Valle de Bravo es notorio el avance de la zona urbanizada y una disminución de los bosques del 4%. Un aumento de la zona urbana y de las áreas bajo riego caracterizan a su vez la evolución de la subcuenca El Bosque. En el caso de Tuxpan, la cobertura de bosque se mantiene constante, con incremento de agricultura de temporal a costa del uso pecuario. En las otras dos subcuencas —Ixtapan del Oro y Chilesdo-Colorines—, el decremento de la agricultura de temporal se compensa por el aumento de las áreas bajo riego.
 48. El paso de un escenario rural clásico a uno de ruralidad urbanizada, discutido en el apartado de *Panorama Socioeconómico y de Comunicación*, se expresa en un incremento considerable y desorganizado, con asentamientos irregulares, en particular alrededor de las áreas urbanas en ciudades medias situadas en las subcuencas.
 49. La mitad del territorio está afectada por procesos erosivos, moderados o ligeros. A la erosión hídrica se suma la eólica, en perjuicio particularmente de los suelos andosoles predominantes.
 50. El deterioro de los recursos suelo, agua y bosque puede estar induciendo cambios no favorables en la fauna y la flora características. Influye negativamente sobre la calidad del agua aportada por las subcuencas para uso público, y de manera notable, en el agua trasvasada por el Sistema Cutzamala, lo que a su vez daña las instalaciones y afecta la vida útil de la infraestructura.
 51. Aunque se reconoce la dificultad de distinguir entre cambios producidos por la modificación de la cobertura, del clima local y los eventuales efectos del cambio climático global, un estudio de 2009 calculó que el efecto menos grave de los escenarios de cambio climático sería de una reducción de entre -10% y -17% en la disponibilidad de agua en las áreas de captación del Sistema Cutzamala. Todos los datos y proyecciones tienden a pronosticar un incremento en la demanda de agua en las ZMVM y ZMT, acompañado de un decremento en su disponibilidad, incluidas las fuentes externas, como es el caso del Sistema Cutzamala.



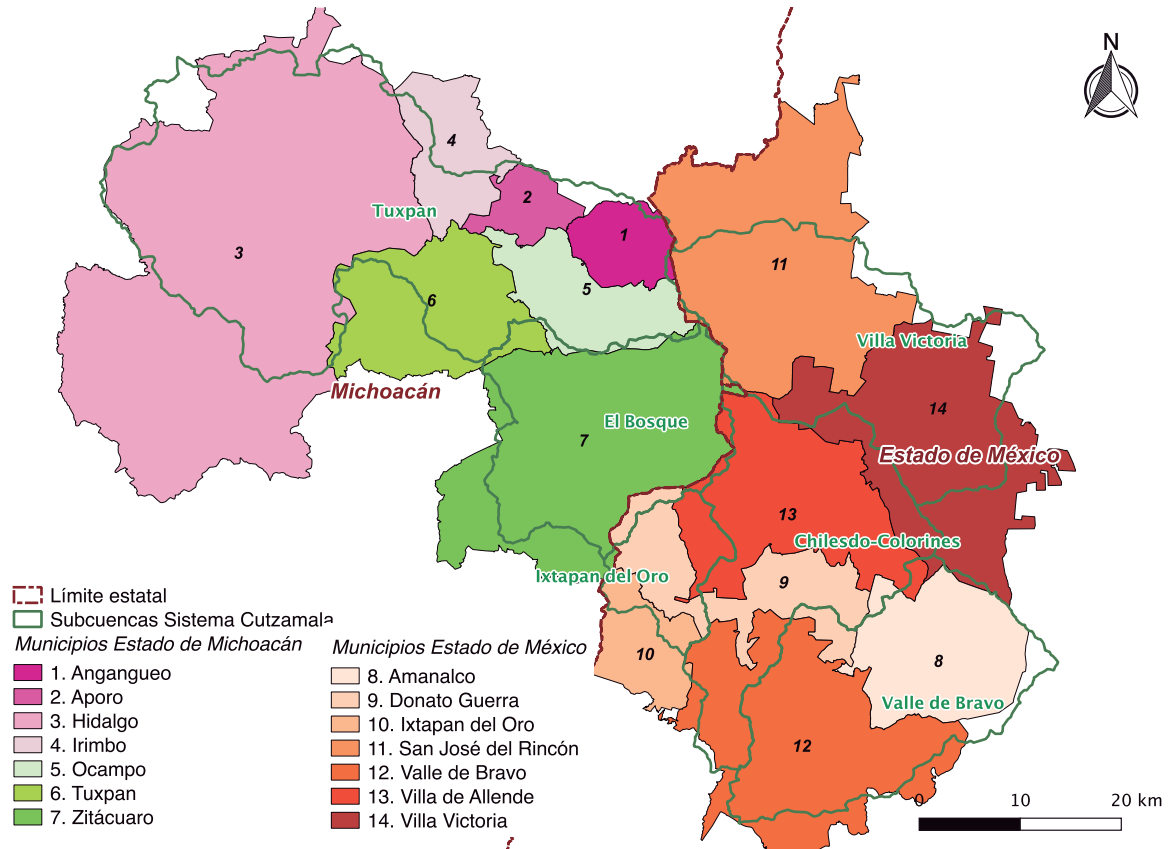
Panorama socioeconómico y de comunicación

Este apartado muestra cómo el crecimiento de la población, las transformaciones ocurridas en el marco de una nueva ruralidad urbanizada con índices altos de marginación y pobreza, el avance significativo de la agricultura de riego en ciertas subcuencas, así como las carencias del desarrollo de los centros urbanos, plantean presiones en general negativas sobre los recursos naturales, y en particular sobre el agua. Se analizan también las formas y los contenidos de la conflictividad social.

1. Transformaciones y contrastes en el paisaje social

1. **Conjuntos económico-sociales distintos.** Los municipios de las subcuencas pertenecen a dos conjuntos económico-sociales diferentes en los respectivos estados: la región XV Valle de Bravo en el Estado de México y la región IV Oriente en Michoacán. En ellos se reconocen sendos centros de la dinámica económica: Valle de Bravo y Zitácuaro. En torno a esos dos centros, se transforma un paisaje otrora predominantemente rural, se desarrollan las actividades de la población y se deciden sus perspectivas.
2. **Transformación de los espacios rurales.** El proceso de urbanización avanza en las subcuencas en función de la influencia radial de Valle de Bravo y Zitácuaro. Por un lado, en varios municipios del Estado de México está en curso un proceso característico de la llamada “nueva ruralidad” o condición postagraria del paisaje rural. El desplazamiento constante de la población y la aparición de nuevas relaciones entre la sociedad local y el Estado, así como la pérdida de importancia del trabajo agrícola en el ingreso familiar, traen aparejado el cambio hacia un nuevo paisaje social. A ello se suma, en especial en Valle de Bravo, un incremento significativo de la actividad turística y de la población flotante de ingresos altos y medios. Por otro lado, en algunos municipios localizados en Michoacán, además de la progresiva urbanización, se suma el efecto de un rápido crecimiento de la agricultura comercial.
3. **El ayuntamiento, centro de referencia.** Mientras la población continúa dispersándose, los pequeños poblados y “barrios” eligen a sus representantes —el delegado o subdelegado— ante el ayuntamiento, convertido en el centro de referencia para la asignación de recursos de desarrollo social y

■ **Figura 3.1. Municipios y subcuencas**



(Fuente: Instituto de Ingeniería, UNAM)

combate a la pobreza. Los programas sociales se operan a través de intermediarios locales de cuyas decisiones depende, en buena medida, el cuadro de inclusión y exclusión. Nuevos poseedores de predios antes ejidales los utilizan como complemento de ingreso, los rentan o los mantienen en espera de que se incremente su valor inmobiliario. El resultado es una transformación de la ruralidad en espacios de residencia. Como lo indica un estudio sobre San Felipe del Progreso (Torres-Mazuera, 2012), la tendencia en ese nuevo escenario es que los principales recursos en disputa sean los que se asocian al presupuesto del ayuntamiento y se dirigen al desarrollo urbano. Aparece así la urbanización como un atributo central de una ruralidad donde no predomina la agricultura y que, como se ha indicado, está más presente en los municipios mexicanos.

2. Una población creciente, con rápidos cambios

4. **Localización.** Catorce municipios ubicados en los estados de México y de Michoacán se vinculan con las seis subcuencas de aportación de agua del Sistema Cutzamala, y cubren una superficie total de 3,419 km². La Figura 3.1 muestra la localización de esos municipios y su relación con las subcuencas.
5. **Población en constante crecimiento.** En 2010 los municipios de las subcuencas tenían una población total de 723,447 habitantes. El crecimiento ha sido notable desde el inicio del proyecto que dio origen al Sistema Cutzamala (367,671 habitantes en 1970), con una tasa promedio anual del 1.8%. El crecimiento absoluto ha sido del 103.5% entre 1970 y 2010 para los municipios ubicados en el Estado de México, y de 106.9% en los de Michoacán. Entre 2005 y 2010 la población mantuvo su tendencia al crecimiento y aumentó en un total de 98,320 habitantes. Según las proyecciones del Consejo Nacional de Población, es probable que la cifra total en los 14 municipios alcance 918,452 habitantes en 2030. Conforme

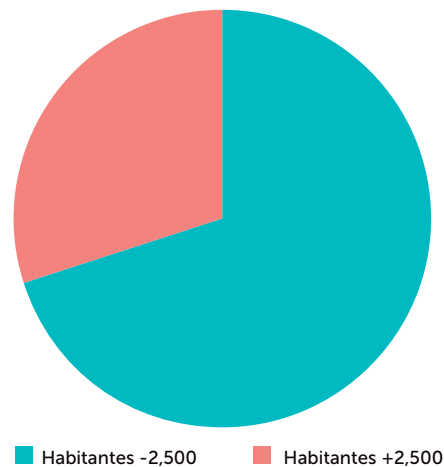
a ese crecimiento, la densidad de población habrá pasado de 107 hab/km² en 1970, a 211 hab/km² en 2010 y a 268 hab/km² dentro de tres lustros.

6. **Dispersión acentuada.** En el conjunto de los municipios de las subcuencas, un 62.7% del total de la población habitaba en 2010 en 1,076 localidades con menos de 2,500 habitantes, en tanto que se registraban 29 centros urbanos con mayor población, entre los que destacan Heroica Zitácuaro, Ciudad Hidalgo y Valle de Bravo. La dispersión persistía como un fenómeno progresivo hasta hace pocos años; por ejemplo, en varios de los municipios de Michoacán seguían apareciendo nuevos asentamientos humanos pequeños, algunos ubicados en terrenos federales (Gobierno del Estado de Michoacán, 2005).

7. **Una proporción diferente de poblaciones pequeñas.** La dispersión de la población se matiza al considerar por separado a los municipios pertenecientes al Estado de México y a los ubicados en Michoacán. Mientras que en los primeros el total de población en localidades de menos de 2,500 habitantes era en 2010 del 81.6% (con 446 localidades), en el caso de Michoacán alcanzaba un 43.2% (con 630 localidades); los centros urbanos de Zitácuaro y Ciudad Hidalgo tendrían una importante influencia al respecto.

8. **Cambiante estructura de la población hacia 2030.** La transición demográfica en curso tendrá un impacto notable en las subcuencas consideradas. En los próximos tres lustros, el grupo de entre 15 y 29 años de edad pasará del 28.2% del total en 2010 al 26.0% en los municipios del Estado de México, y en los de Michoacán del 28.2% al 23.9%. A pesar de esta disminución porcentual en números absolutos, la proyección para 2030 estima que alrededor de 230,000 personas estarán en condiciones de entrar al mercado de trabajo, contra 204,758 en 2010. Se prevé un aumento en la proporción de los grupos de edad de más de 45 años, que pasarán en los municipios del Estado de México del 33.8% en 2010 a un proyectado 48.1%, y en Michoacán del 39.0% al 54.4%, respectivamente. En el extremo, el grupo de los mayores de 65 años pasará del 4.7% al 7.1% en el Estado de México, y en el de Michoacán del 6.2% al 9.3%, en un proceso paulatino de envejecimiento de la población, con el consecuente impacto en las demandas de seguridad social.

■ **Figura 3.2. Dispersión de la población en los municipios de las subcuencas**



(Fuente: Secretaría de Desarrollo Social, 2010)

9. **La población indígena.** En 2010 se registró un total 34,526 hablantes de lengua indígena en los municipios de las subcuencas del Estado de México y de Michoacán. De ellos, 28,935 estaban en el Estado de México y 5,591 en Michoacán. Los municipios con mayor densidad de población indígena eran San José del Rincón, y en menor medida Donato Guerra, Amanalco, Villa Victoria y Villa de Allende. En el estado de Michoacán, Zitácuaro registró un total de 5,261 habitantes indígenas. Salvo en el caso de Amanalco, donde la población indígena es nahua, en el resto de los municipios ese grupo es mazahua. La población que habla una lengua indígena se encuentra mayoritariamente en las localidades de alta y muy alta marginación.

10. **Inequidad para las mujeres.** Como en otras áreas similares del país, la proporción de mujeres es mayor que la de hombres en los municipios considerados; la condición de pobreza y marginación las afecta más que a los hombres. Una cantidad estimable de hogares son conducidos por mujeres (20% del total), con tendencia a aumentar. Las hijas tienden, en proporción creciente, a ser madres antes de los 19 años de edad. En todos los municipios el número de mujeres analfabetas es mayor que el de hombres, con una proporción más elevada en el Estado de México. En los municipios michiquenses el número de mujeres sin escolaridad es superior al doble de los hombres. La composición de la población económicamente activa muestra que entre la población no activa las mujeres ocupadas en el hogar figuran en una proporción muy alta, y en 2010 la tasa de

participación económica era de 73% para los hombres y de 22% para las mujeres.

11. **Migración.** En 2010 la población nacida fuera de la entidad en los municipios analizados mostró una proporción de 6.6% en el caso de Michoacán y de 3.6% en los del Estado de México, salvo en el caso de Valle de Bravo (6.8%). En ese año un 1.7% de los mayores de 5 años de edad (5,079 personas, más mujeres que hombres) en los municipios michoacanos de las subcuencas y un 1.2% en los mexiquenses residía fuera de la entidad. Las subcuencas atraen más población de la que emigra. La población migra de manera permanente hacia las ZMVM y ZMT o hacia otros países, y se moviliza estacionalmente o durante los días laborales hacia los centros urbanos próximos.

12. **Educación con fuertes rezagos.** Los municipios padecen las consecuencias de la deserción escolar. En las condiciones actuales, el gran número de poblaciones pequeñas dispersas, con escuelas precarias y bajo nivel de formación de los docentes, explica en parte la situación. La pobreza se traduce en desnutrición, que afecta el rendimiento en el salón de clases, y en la necesidad de los padres de incorporar a sus hijos menores precozmente al trabajo, muchas veces no remunerado. Existen pocos establecimientos escolares para indígenas, y las oportunidades de formación para el trabajo son escasas. En 2010 había en total 57,118 mayores de 15 años sin instrucción primaria, de los cuales el 62.4% eran mujeres. El número de analfabetos era similar, con un 63.9% de mujeres.

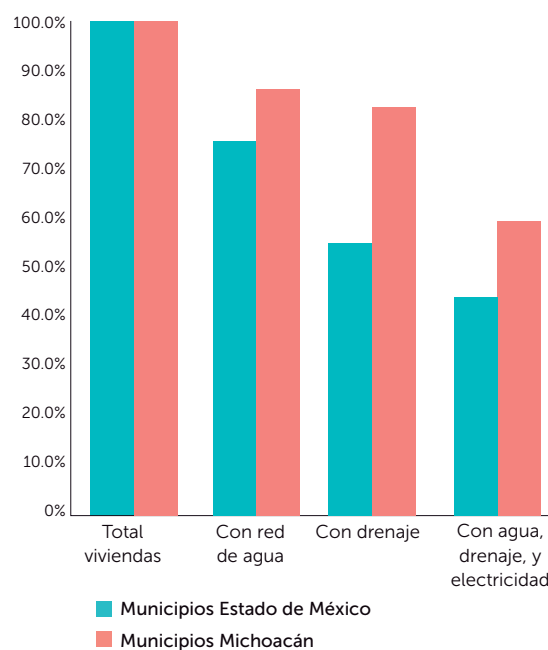
3. Persistente pobreza, con alta marginación

13. **Viviendas inadecuadas.** En 2010 las personas que habitaban en viviendas de mala calidad de materiales e insuficiente espacio sumaron 190,903 en todas las subcuencas. El 30.8% de las viviendas no contaba con servicio de drenaje y un 24.4% carecía de agua conectada a una red pública; esta carencia de servicios básicos afectaba a 318,279 personas.

14. **Escasas iniciativas para mejorar los servicios de agua.** Se encontró que las acciones y obras de abastecimiento en zonas rurales de menos de 2,500 habitantes son insuficientes.

15. **Servicios de salud y bienestar social.** En 2010, en el conjunto de los municipios 407,467

■ **Figura 3.3. Viviendas y servicios en los municipios de las subcuencas**

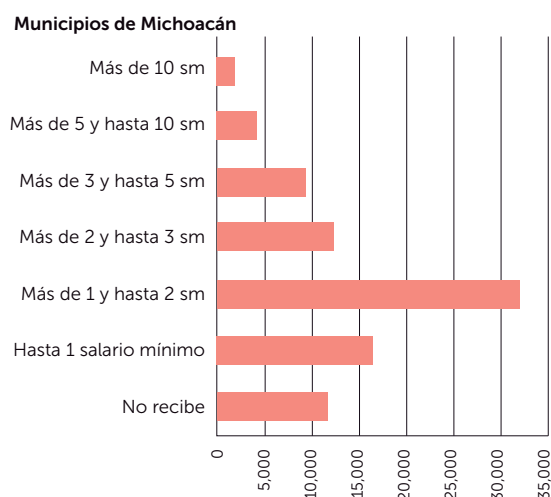


(Fuente: Sistema Nacional de Información Municipal, 2010)

personas tenían acceso a regímenes de seguridad social o a servicios médicos públicos o privados, incluido el Seguro Popular: esto corresponde al 56.3% de la población. Sin derechos o cobertura de salud permanecía el 41.1% de la población, equivalente a 297,509 personas. Los municipios de Michoacán disponían de 98 unidades médicas, y los del Estado de México de 126. Esto significa una disponibilidad de 2.75 unidades por cada 10,000 habitantes en los primeros y de 3.43 en los segundos. El personal médico ascendía a 447 y a 408 en cada caso, con tasas de 1.25 y de 1.11 médico por cada 1,000 habitantes, respectivamente. Las cifras muestran que, no obstante la importancia cuantitativa del régimen de Seguro Popular, las coberturas en los municipios de las subcuencas son insuficientes.

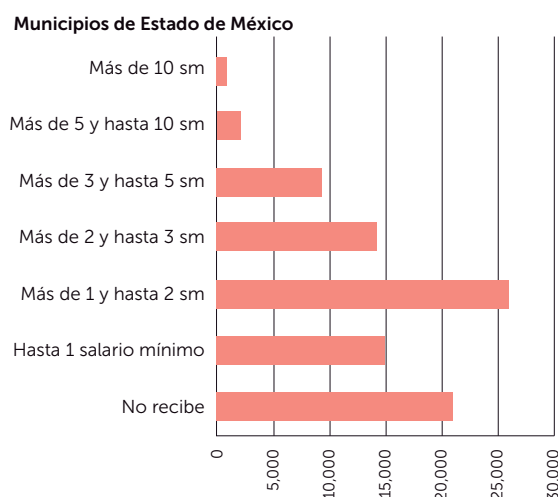
16. **Actividad económica desigual e ingresos insuficientes.** La población activa alcanzaba en 2010 un total de 243,625 individuos, de los cuales eran hombres el 74.6%. El grupo no activo (que no realizaba actividad económica y no buscaba empleo) sumaba 260,350 personas. En los municipios de Michoacán, 7,155 personas activas declararon estar desocupadas, y 8,401 en el Estado de México. Ambas cifras sugieren altas tasas de subempleo. La situación en materia de ingresos (para el año 2000, cuando la población activa era menor)

■ **Figura 3.4. Población ocupada según ingresos, municipios de Michoacán (2000)**



(Fuente: Sistema Nacional de Información Municipal)

■ **Figura 3.5. Población ocupada según ingresos, municipios de Estado de México (2000)**



(Fuente: Sistema Nacional de Información Municipal)

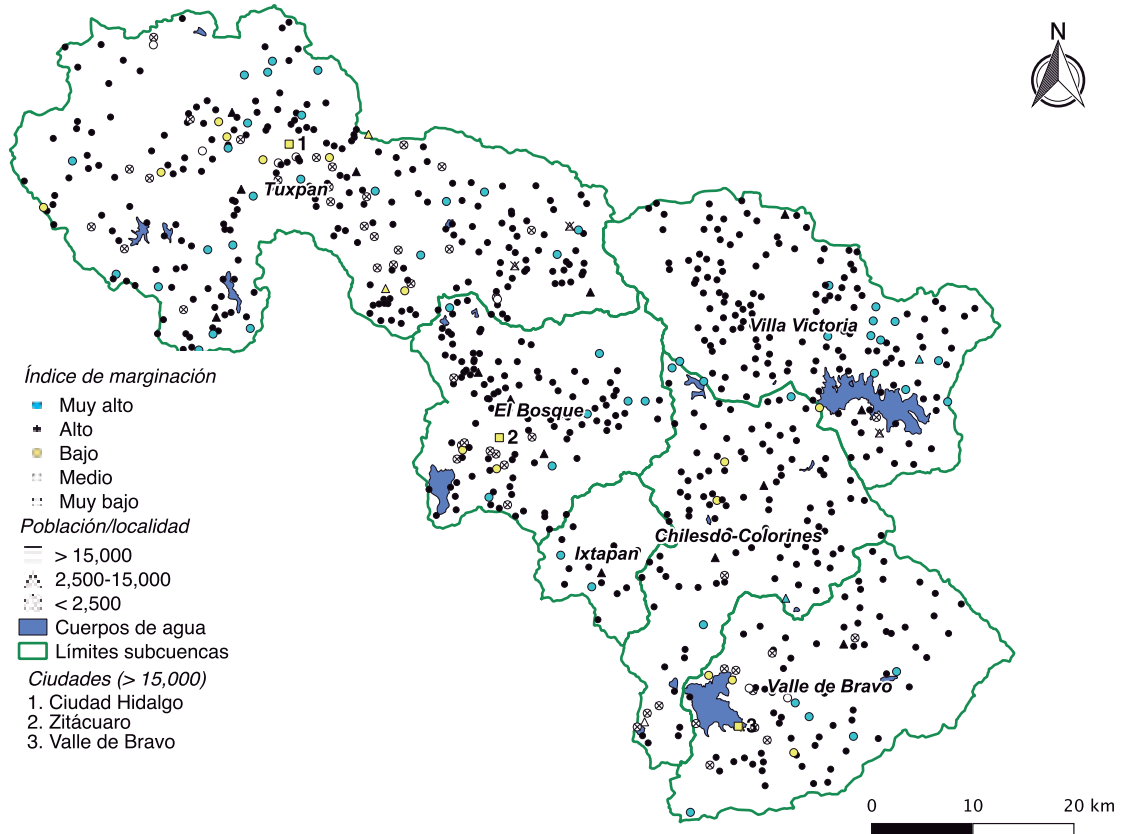
se ilustra en las figuras 3.4 y 3.5. Una importante proporción declaró no recibir ingresos (32,922 personas); el estrato superior, con más de 10 salarios mínimos, representaba el 0.7% en el Estado de México y el 1.9% en los municipios de Michoacán. En el extremo inferior, si se agregan los ocupados que no reciben ingresos y los de hasta un salario mínimo, se obtiene un 32.4% en Michoacán y un 40.9% en el Estado de México.

17. **Municipios desfavorecidos en un área de concentración de la marginación.** Salvo Valle de Bravo, todos los municipios en las subcuencas se encuentran entre los más desfavorecidos en el estado respectivo. Según la clasificación de la Secretaría de Desarrollo Social (SEDESOL), la mayoría de los municipios y de la población correspondiente al Estado de México está en la categoría de marginación alta (carencias de acceso a educación, viviendas inadecuadas, ingresos insuficientes y habitación en localidades pequeñas), mientras Valle de Bravo registra un nivel bajo y Amanalco un nivel medio de marginación. En Michoacán todos los municipios corresponden a un nivel medio, con excepción de Ciudad Hidalgo y Ocampo, que en 2010 se encontraban en un nivel alto de marginación. En los municipios del Estado de México, un 56.5% estaba en condición de alta marginación (207,784 personas) y un 11.7% (43,203 personas) en muy alto nivel de marginación. Los municipios michoacanos mostraban una situación diferente: 106,785 personas sufrían de alta marginación (29.9% del total), y 5,052 (1.4%) de muy alta marginación.

18. **Pobreza y pobreza extrema generalizadas.** En el conjunto de las subcuencas, y según la definición vigente de pobreza (alimentaria, de capacidades y patrimonial, de acuerdo con la SEDESOL), en el censo de 2010 se registraron 304,448 personas en condición de pobreza (42.1% del total); entre ellas, 119,168 personas estaba en situación de extrema pobreza. Si se comparan los porcentajes de pobreza y pobreza extrema de los municipios agrupados por estado de pertenencia, se obtiene información más precisa. En los municipios de Michoacán, el total de población con pobreza moderada era del 44.4%, lo que contrasta con el vecino Estado de México donde sólo un 32.6% mostraba esa condición relativamente más favorable; en cambio, en los primeros, el porcentaje de extrema pobreza ascendía al 16.5% del total, inferior al 26.2% de los mexiquenses.

19. **Pocos cambios en 10 años.** Si se considera el índice de marginación de los municipios y los cambios registrados por la SEDESOL entre 2000 y 2010, se advierten pocos cambios en la situación de los municipios en las subcuencas: todos mantienen el mismo grado de marginación en el periodo considerado. La proporción de población que vive en municipios de alta y media marginación se ha mantenido en términos generales, aunque para el total el incremento del segmento de alta marginación se ha elevado ligeramente en relación con el de marginación media. La diferencia más significativa en la comparación decenal se observa en la cantidad de población de una u otra condición que vive en los municipios. El total de habitantes en

■ **Figura 3.6. Índice de marginación en las subcuencas**



(Fuente: Instituto Ingeniería UNAM con base en datos INEGI 2010)

municipios de alta marginación ha pasado de 247,565 en 2000 a 306,926, con un incremento del 23.9%; en los de marginación media pasa de 313,072 a 353,250, con un aumento del 12.8%.

4. Actividades económicas

20. Un escenario dominado aún por la actividad primaria. En las subcuencas, el paisaje de la actividad económica está dominado aún por la producción primaria; en particular, predomina la agricultura de temporal en pequeñas explotaciones que por lo general no ofrecen un ingreso mínimo ni empleo suficiente a la familia. El turismo y la piscicultura tienen un desarrollo más reciente, y las artesanías tradicionales en algunas zonas tienden a crecer conforme se desarrolla el mercado local y regional. El crecimiento económico ha sido evidente en los últimos años (destaca el comportamiento de la agricultura de riego en áreas michoacanas), aunque sus limitaciones y modalidades repercuten en las condiciones de empleo y en el bajo nivel de ingresos promedio para buena parte de la población.

21. Localización con oportunidades y tensiones. El territorio ocupado por las subcuencas se vincula en un radio de 300 km con alrededor del 50% del mercado nacional; asimismo, tiene un importante potencial de conexión con los denominados corredores del Tratado de Libre Comercio con Estados Unidos y Canadá. El área de las subcuencas está relacionada con la región del Valle de México y también con la de Guadalajara. En un doble juego con las posibilidades y expectativas locales, la dinámica económica en las subcuencas está condicionada por el comportamiento y las necesidades de la vasta porción del mercado nacional aludida. Así, en algunos municipios considerados como típicamente rurales y de agricultura tradicional (San José del Rincón) existe de larga data una vinculación de venta de fuerza de trabajo no calificada con otros mercados y centros urbanos.

22. Agricultura de temporal. Según las cifras de la serie V (INEGI, 2011), el uso del suelo agrícola de temporal ocupa 133,700 ha (39% de la superficie total de las subcuencas). Por su parte, el Anuario Estadístico publicado por la Secretaría responsable (SAGARPA,

2015) indica, para ambos ciclos del año agrícola 2013, un total de 109,262 ha sembradas (27,382 ha en Michoacán y 81,880 ha en el Estado de México), siendo que las cifras de la misma fuente para 2003 no muestran una variación significativa.

23. Valor de la producción agrícola de temporal.

Para esta última fuente, el valor de la producción — incluidos todos los cultivos de temporal (cíclicos y perennes)— ascendió a \$375 millones de pesos en 28,726 ha en los municipios de las subcuencas michoacanas y a \$1,596 millones de pesos en 82,548 ha en los mexiquenses. La diferencia del valor de la producción por hectárea es significativa en los dos casos (\$13,054 pesos/ha en Michoacán y \$19,335 pesos/ha en el Estado de México). Solamente los cultivos perennes de temporal (1,344 ha en Michoacán y 668 ha en el Estado de México) produjeron un valor de \$382 millones de pesos en 2013, es decir, \$189,802 pesos/ha. Probablemente a causa de la incidencia de aguacate, el valor de producción por hectárea de perennes de temporal es mucho mayor en el caso del Estado de México (\$410,550 pesos/ha) que en Michoacán (\$79,934 pesos/ha). Si en los municipios mexiquenses se eliminan las 216 ha cultivadas con perennes en Valle de Bravo (con valor de producción reportado de \$861,034 pesos/ha), el valor de producción de los perennes de temporal en el Estado de México disminuye a \$195,394 pesos/ha. Otros cultivos de temporal presentes en las subcuencas son el haba, la papa (producida, por ejemplo, en San José del Rincón y en Valle de Bravo, aprovechando terrenos de humedad), el frijol (asociado, como en Amanalco, al maíz), el tomate verde y, en Tuxpan, la gladiola.

24. Extensión de la producción de maíz. La producción de maíz grano ocupa buena parte de la superficie sembrada, con 25,113 ha en los municipios de Michoacán y 64,920 ha en los del Estado de México (91.7% y 79.3% del total reportado para el ciclo de temporal 2013, respectivamente). En este caso, el valor de la producción alcanzó los \$8,568 pesos/ha en los municipios de Michoacán y los \$13,934 pesos/ha en los mexiquenses, que obtuvieron rendimientos superiores en ese año. En 2013 el rendimiento por hectárea en San José del Rincón (3.63 ton/ha) fue superior al de todos los otros municipios. Tres municipios del Estado de México (San José del Rincón, Villa de Allende y Villa Victoria) concentran el 73.4% de la producción de este grano en las subcuencas mexiquenses, y el 52.9% en todas las subcuencas.

25. Un cultivo de subsistencia. El maíz es, en la actualidad, un cultivo predominantemente de subsistencia, aunque no sea ya la base primordial del ingreso familiar para buena parte de la población. Un buen número de productores utiliza las ayudas financieras —aunque disminuidas en las últimas dos décadas— a las que tiene acceso como un instrumento adicional de crédito para comprar fertilizantes y herbicidas necesarios. La percepción generalizada es que los suelos para el maíz han perdido productividad; cuando es posible, se recurre a fertilizantes químicos, de lo contrario se utiliza el estiércol proveniente de la escasa ganadería local. Como actividad de subsistencia y complementaria a las labores no agrícolas de los hogares, el cultivo ha adquirido en muchos casos una valoración en términos de calidad (preferencia del producto local para la producción de tortillas) y también como parte de una identidad campesina que persiste entre los mayores y tiende a integrarse bajo nuevas formas de cultura en los jóvenes. En razón de la creciente actividad no campesina de los hombres, es frecuente que la responsabilidad de la producción en la parcela familiar recaiga sobre las mujeres. No son escasos los ejemplos de utilización de ingresos no agrícolas de la familia para adquirir los insumos necesarios para la producción de temporal. A ello contribuye el proceso de fragmentación de las tierras ejidales, que ha conducido a situaciones en las que la mayoría de los sujetos agrarios disponen de menos de una hectárea.

26. Ocupación de tierras de ladera. En ciertos casos, como en Villa Victoria, las parcelas de cultivo y los pequeños agrupamientos de residencia han invadido las zonas anteriormente boscosas. En esas zonas, con laderas superiores al 15% de pendiente, se presentan erosión hídrica laminar y cárcavas que dificultan las labores y producen abundantes sedimentos en la época de lluvias.

5. Tenencia de la tierra

27. Irregularidades en el desarrollo urbano. Tres centros urbanos han crecido notablemente. La migración entre las subcuencas y el arribo de población proveniente de otros estados, como Guerrero, contribuye a ese crecimiento que se manifiesta, con frecuencia, en asentamientos irregulares. En algunos casos los asentamientos se establecen en áreas protegidas o de propiedad estatal, en tierras ejidales, pastizales o

zonas forestales. Se trata de zonas marginadas o también de tipo residencial para familias de ingresos mayores; en ciertos casos, se trata de una combinación de las dos.

28. **Contrastes en la tenencia agraria.** Mientras que en 2007 la superficie ejidal era de 20.6% y la privada de 73.7% en los municipios michoacanos, en los mexiquenses la proporción resultaba inversa, con 63.8% y 29.9%, respectivamente. La superficie promedio de las unidades era de 6.9 ha en Michoacán y de 2.1 ha en el Estado de México, lo que indica una mayor presencia de minifundio en el último caso. Por lo demás, una alta proporción de la tierra se encontraba sin uso agropecuario y forestal. En Michoacán 4,235 unidades disponían de riego, según la estadística censal (aunque otras observaciones citadas en este diagnóstico, en el apartado de *Aspectos Hidroagrícolas*, indicarían una cifra mayor), y 2,938 en el Estado de México.
29. **Pequeñas parcelas, problema estructural.** El minifundio ha inhibido históricamente la mejoría en las condiciones de vida; los cambios ocurridos desde la modificación del artículo 27 constitucional en 1992 no parecen haber alterado esa realidad ni la subdivisión incesante de parcelas. La explotación agrícola en unidades de subsistencia (o infrasubsistencia) o el cambio de uso de agrícola a residencial han tenido efectos sobre la modificación del paisaje en las subcuencas. La persistencia de pobreza y marginación sostiene en otras áreas una tendencia a la ampliación de la superficie agrícola en suelos que no tienen esa vocación y a la reducción de las áreas forestales, situación agravada por la tala no controlada. El uso agrícola en minifundio o el nuevo uso residencial tienen correlación con el deterioro del área boscosa, como es el caso en la subcuenca de Villa Victoria.

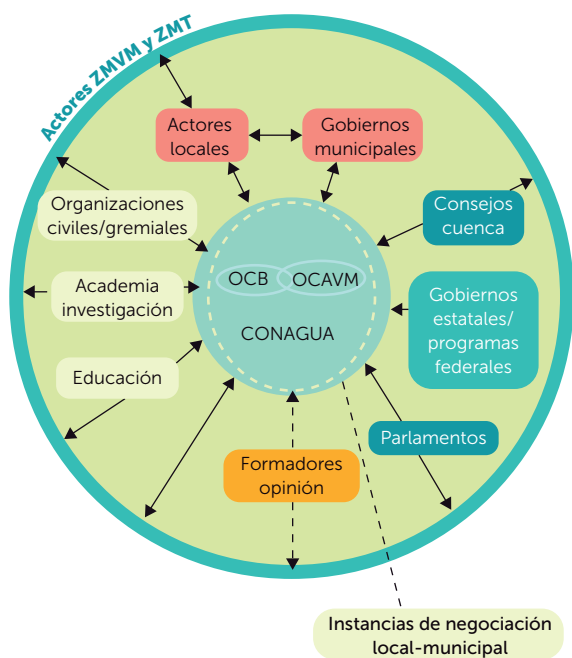
6. Actores y conflictividad

30. **Figuras sociales y organizativas: lo viejo y lo nuevo.** En el área de estudio, la célula central del tejido social sigue siendo la familia, en la que persisten estrategias de sobrevivencia y de multiactividad. Esto incluye su incorporación a unidades económicas próximas, entre las que sobresale la burocracia municipal. Los habitantes tienden a una mayor individualización y esto afecta las relaciones familiares. El espacio en el que surgen las organizaciones de representación y liderazgo es la localidad, de

pequeño tamaño, dispersa y sujeta a las decisiones de inclusión o exclusión que se toman en los ayuntamientos. La descentralización del presupuesto orientado al desarrollo municipal ha demandado una mayor capacidad de la localidad para administrar los recursos y asignarlos a grupos de beneficiarios. Por otro lado, en las áreas de agricultura comercial persisten conflictos de representación de intereses y de vínculos con los canales de comercialización e innovación tecnológica. Ello suscita una mayor competencia política y más presencia de partidos. Existen agrupaciones gremiales y de afinidad, así como grupos de nicho o de temporalidad específica o de coyuntura.

31. **Los actores y sus relaciones.** En una estructura social más compleja, aparecen grupos con diversas expectativas e intereses en competencia. El cuadro de actores presentes en el área de las subcuencas se muestra de forma esquemática en la Figura 3.7.
32. **Estructuras de poder, liderazgos locales durables, nuevos espacios públicos.** Dos factores principales afectan el liderazgo local: primero, el desinterés de los jóvenes por el campo y por la vida agraria, con escasa renovación de los liderazgos locales; segundo, el bajo nivel de reinserción educativa, provocado por la migración de los más capacitados. La primera línea de articulación de poder proviene de familias con más recursos, prestigio y arraigo locales de larga data. La perduración de relaciones de tipo clientelar se ha mantenido, a pesar del cambio de orientación, de modalidades y de propósitos de las intervenciones externas, como los programas de desarrollo social. Algunas figuras que han adquirido mayor relevancia en el proceso de ruralidad urbanizada (como el delegado y otros cargos locales) funguen como intermediarios con las dependencias, participan en iniciativas de origen federal o estatal y se incorporan a la estructura de poder. A ello se suman los nuevos espacios públicos y el peso de las redes sociales; esto favorece la formación de grupos de coyuntura que se agregan a otras organizaciones más permanentes, así como la inserción de las reivindicaciones locales en un diálogo más amplio y en un espacio más vasto, lo que aumenta su repercusión.
33. **Gobernanza fragmentada.** En el acceso y disfrute de los recursos naturales, múltiples centros locales de poder provocan la fragmentación de la gobernanza esperable en condiciones de políticas públicas socialmente aceptadas.

■ **Figura 3.7. Localización de actores relacionados con el Sistema Cutzamala**



Fuente: elaboración propia

34. **Conflictos de origen socioeconómico.** Como en otros territorios del país con características postagrarias, en la conflictividad de las subcuencas intervienen factores familiares y económico-ocupacionales, y su relación con la migración y la vulnerabilidad. Es decir, los conflictos no suelen vincularse con la infraestructura o con la operación del Sistema Cutzamala, salvo en casos de indemnizaciones o reparaciones pendientes. Es cierto, sin embargo, que en algunas zonas se expresan preocupaciones por la transferencia de agua a otras cuencas, por ejemplo, en las áreas de competencia por el agua de riego (de manera significativa en los municipios de Michoacán) o para la acuicultura, o en el caso de la contaminación de los embalses. Los pobladores perciben que “se llevan nuestra agua y no dejan nada”. Se tiende, además, a utilizar la vulnerabilidad, real o hipotética, de las instalaciones y de su operación para obtener beneficios individuales (una “renta de presión” sobre puntos frágiles) o se busca una mayor repercusión para las reivindicaciones de grupos organizados.

35. **Los aspectos de seguridad.** Con frecuencia la estructura de poder y la percepción de la seguridad están vinculados. Los municipios considerados se caracterizan en general por tener un ambiente de tranquilidad que suele alterarse puntualmente; las fuerzas encargadas de la seguridad tienen poca actividad. Mientras

mayor es la proximidad y mayor la relación con los centros urbanos, dentro o fuera del territorio analizado, aumentan los delitos y la presencia de fuerzas de control. En las zonas de minifundio y mayor marginación, los jefes de familia suelen formar una estructura de orden para complementar y compensar la escasa presencia de cuerpos policíacos. Además, algunas áreas del territorio de las subcuencas no están exentas de acciones ilegales ligadas al crimen organizado, propiciadas por la vulnerabilidad y la fragmentación social.

7. Comunicación y compromiso con la comunidad

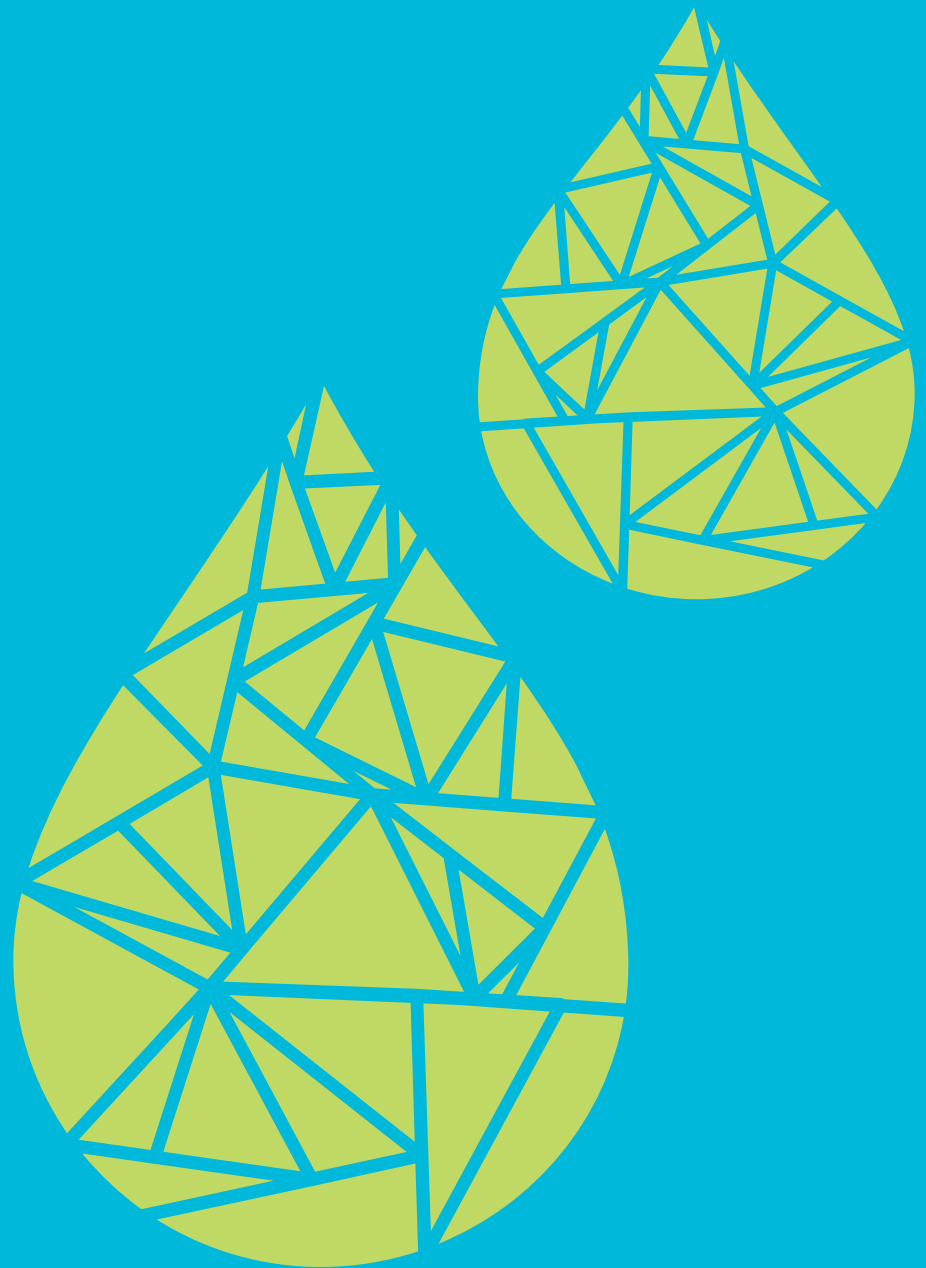
36. **Flujo de información y percepciones de la población.** Un sentimiento de abandono o de acceso insuficiente a las políticas públicas identificado entre la población de las subcuencas (Bonfil, 2015) denota problemas de comunicación pública. Generalmente, en el territorio la circulación de la información mantiene una estructura clientelar. Los temas del agua, los conflictos entre usos y usuarios, expresan una inconformidad social más amplia. Asimismo, la imagen del Sistema Cutzamala es fragmentaria, se basa en información escasa e incompleta, con frecuencia contradictoria, y suele difundirse a través de personal poco calificado que trabaja en las instalaciones. La situación general de gobernanza, en particular sobre los recursos naturales, no es clara ni eficiente, y eso se manifiesta y se refuerza en la circulación confusa de mensajes en todos los ámbitos, particularmente en las localidades. La información sobre políticas públicas es insuficiente o no existe, mientras que el tema de la vulnerabilidad del Sistema y de sus instalaciones ha cobrado mayor importancia.

8. Conclusiones

37. El crecimiento de la población, registrado y previsible, así como las transformaciones en el marco de una nueva ruralidad urbanizada y las carencias del desarrollo de los centros urbanos plantean presiones inéditas, generalmente negativas, sobre los recursos naturales, y en particular sobre el agua. Las nuevas figuras sociales y las expectativas de los diferentes grupos, la ausencia de una gobernanza eficiente, y la ruptura de las vocaciones y de la tradición agrícola no constituyen una condición favorable para

el desarrollo de opciones respetuosas del equilibrio entre población y medio biofísico. En las áreas de riego con orientación comercial, en expansión creciente en tierras michoacanas, la actitud en relación con el agua se desenvuelve en un ambiente de mínima regulación. Desde el punto de vista de la sustentabilidad del Sistema Cutzamala es preciso reconocer que en una buena parte de las subcuencas las dinámicas locales se despliegan en torno a los recursos disponibles en los ayuntamientos, y que aparecen nuevas características en las formas de mediación y negociación, en la atribución de sentido a los comportamientos individuales y colectivos, y en las opciones organizativas (Torres-Mazuera, 2012).

38. Los municipios analizados presentan un menor desarrollo relativo en sus respectivos ámbitos estatales; esto es particularmente evidente en el caso de Villa Victoria en el Estado de México. Un estudio complementario realizado sobre datos censales de 57 municipios del Estado de México y del estado de Michoacán (en el que se incluyen los 14 que corresponden a las subcuencas del Sistema Cutzamala) muestra que el panorama social y económico propuesto para los 14 municipios del Sistema es un rasgo compartido por el conjunto de los 57 municipios (Salgado, 2015). Esto último indicaría que la variable “Sistema Cutzamala” no es significativa en la generación y la perduración de la marginación y la pobreza en los municipios de las subcuencas incluidas en este estudio.
39. El crecimiento económico ha sido limitado y las relaciones de intercambio son desfavorables a las iniciativas económicas locales; la mayoría de la población carece de oportunidades y de capacidad para actuar en un entorno local, regional y nacional rápidamente cambiante. Subsisten, y se han agravado en algunos casos, la desigualdad, la pobreza y la marginación. En 2010 se encontraban en situación de pobreza 304,448 personas (42.1% del total), incluidas 119,168 en pobreza extrema. Prevalece una atención insuficiente a los rezagos sociales. Todo ello incide negativamente sobre el estado, los conocimientos y la actitud ante los recursos agua, suelo, medio biofísico y energía.
40. En los municipios de las subcuencas la conflictividad social es permanente, con momentos variables de condensación y aumento; expresa principalmente inquietudes originadas en los rezagos sociales, entre ellos, los de servicios de agua y drenaje. La competencia entre usos y usuarios está también presente —y podría aumentar en las áreas de expansión del riego—. Combinadas, esas inquietudes han podido concentrarse ocasionalmente en la transferencia de agua entre cuencas, hecho que puede incrementarse. En otro orden, se observan tendencias a utilizar la vulnerabilidad, real o hipotética, de instalaciones y de la operación de la infraestructura como una “renta de presión” o para alcanzar mayor repercusión de las movilizaciones de grupos organizados. La zona en análisis no está exenta de acciones ligadas al crimen organizado, y propiciadas por la vulnerabilidad y la fragmentación social. El tejido institucional es insuficiente, tanto para la negociación de los conflictos como para el establecimiento de una gobernanza eficiente inspirada en políticas públicas aceptadas.
41. La comunicación pública relativa a la cohesión social, las políticas públicas, la autoridad del agua y la gestión participativa de los recursos naturales, en particular los hídricos, es insuficiente.
42. Como algunas experiencias recientes parecen confirmarlo —entre ellas la evolución de las reivindicaciones de algunos grupos indígenas—, están dadas las bases iniciales para emprender un esfuerzo compartido de desarrollo sustentable y equitativo con una visión de largo plazo, capaz de superar las carencias en la aplicación de las políticas públicas.





FILTRO
C1

CONAGUA
COMISION NACIONAL DEL AGUA

Infraestructura

Este apartado ofrece una visión de conjunto del Sistema Cutzamala y del estado en el que se encuentran la obra física y sus instalaciones. Se ha prestado atención particular tanto a los resultados de un mantenimiento eficaz, no obstante las limitaciones de recursos, como a los puntos de fragilidad y riesgo que demandan correcciones inmediatas y modernización en el mediano y largo plazo.

1. Componentes

1. **Infraestructura básica.** El OCAVM es responsable de la operación de la infraestructura del Sistema Cutzamala. Los componentes básicos de esa infraestructura son siete presas principales con capacidad útil conjunta de 790.9 hm³ y seis plantas de bombeo; 322.3 km de conducciones primarias (205.8 km de tuberías, la mayoría de ellas de concreto reforzado; 72.5 km de canales revestidos y 44 km de túneles, incluido el túnel Analco San José), y una planta potabilizadora con capacidad de diseño de 20 m³/s para la entrega de agua en bloque a la Comisión del Agua del Estado de México (CAEM) y al Sistema de Aguas de la Ciudad de México (SACMEX).
2. **Otros almacenamientos.** Existen además las presas Pucuateo (capacidad útil: 11 hm³), Sabaneta (capacidad útil: 5 hm³) y Agostitlán (capacidad útil: 16 hm³), que abastecen al Distrito de Riego 045 Tuxpan, y también a las unidades de riego que derivan agua del canal Tuxpan-El Bosque-Colorines.
3. **Trasvases.** Los dos subsistemas de canales Tuxpan-El Bosque y El Bosque-Colorines, con 73.7 km de longitud total, permiten el trasvase de agua de la subcuenca de Tuxpan hacia la subcuenca Colorines. Son trasvases por gravedad con tramos desde una presa derivadora sobre el río Tuxpan, canales, túneles, sifones invertidos y una presa de almacenamiento, El Bosque. El canal Tuxpan-El Bosque tiene cuatro túneles y un sifón; por su parte, el canal El Bosque-Colorines, más largo, cuenta con nueve túneles y seis sifones hasta llegar a la presa Colorines.
4. **El Sistema se puso en servicio en tres etapas distintas en el tiempo (Figura 3.1 y Tabla 3.1).** Conduce el agua mediante túneles, acueductos y seis plantas de bombeo, hasta la potabilizadora Los Berros, para su posterior entrega en

bloque a la CAEM y al SACMEX. Terminada la tercera etapa, el gasto de diseño original del Sistema Cutzamala asciende a 19 m³/s.

5. **Caudales recibidos por el Sistema.** Los gastos teóricos de diseño, los del año 2014 y los promedios del periodo 1997-2014 se muestran en la Tabla 3.1. Estos gastos provienen de las infraestructuras hidráulicas de las presas Villa Victoria, Tuxpan, El Bosque, Ixtapan del Oro, Colorines, Valle de Bravo y Chilesdo. En la actualidad el Sistema Cutzamala entrega un gasto de entre 14 m³/s y 15.5 m³/s, que es el que solicitan la CAEM y el SACMEX. Este gasto resulta inferior al de diseño por distintas razones, principalmente hidrológicas (volúmenes de agua disponibles en el Sistema) y de eficiencia en la planta potabilizadora (que en la actualidad tiene que tratar agua de calidad inferior a la que originalmente recibía). De resolverse estos problemas, el Sistema estaría en condiciones de producir 19 m³/s. El mayor aporte de agua que se aprecia en la Tabla 3.1 en 2014, en comparación con el promedio de 1997-2014, se debe a condiciones de hidrología favorables. Las pequeñas presas del Distrito de Riego 045 contribuyen también, indirectamente, a los caudales recibidos (véase, para más detalle, el apartado de *Aspectos Hidroagrícolas*).

1.1. Almacenamiento y conducciones

6. **Capacidad de almacenamiento.** La capacidad útil de almacenamiento acumulada en los vasos de las presas alcanza 790.9 hm³ (Tabla 3.2). Esa cifra alcanza sólo 1.3 veces el volumen anual de diseño, cantidad que se considera baja teniendo en cuenta el uso al que está destinada el agua almacenada. Casi el 50% de esa capacidad total corresponde a la presa Valle de Bravo, seguida de El Bosque y Villa Victoria. Como se detalla en el apartado de *Calidad del Agua en las Subcuencas*, los embalses se ven

afectados por descargas de aguas residuales de las localidades que se encuentran en el área, por el vertido de residuos sólidos en los cauces y por la contaminación difusa proveniente de zonas agrícolas y pecuarias. El mismo apartado comenta los procesos de sedimentación de los embalses, que han afectado sus capacidades de almacenamiento, en particular en las presas de Villa Victoria y Valle de Bravo.

7. **Filtraciones de la presa El Bosque.** Un informe de julio de 1987 confirma que la estabilidad de la presa y sus obras conexas no han sido afectadas por las filtraciones, puesto que los valores de instrumentación se mantuvieron en el mismo rango en los puntos geodésicos de control. Con el tiempo y con base en estos gastos, los productores de la zona han aprovechado esta disponibilidad para riego y han construido canales de tierra. En el PROCYMI, el OCAVM incluye \$125 millones de pesos para realizar trabajo de control de filtraciones, que sería conveniente revisar en función de la situación actual de uso de esta agua.
8. **Conexión entre presas.** Un complejo conjunto de estructuras hidráulicas conecta entre sí las siete presas que integran el Sistema (Figura 3.1). Construido originalmente con propósitos de generación hidroeléctrica, el Sistema Cutzamala está compuesto por 72.5 km de canales, 44 km de túneles y seis sifones hasta la presa Colorines. Al momento de su creación, el Sistema Cutzamala requirió complementar esos componentes de almacenamiento y conducción con seis plantas de bombeo, tuberías de presión en las líneas 1 (instalada en la primera etapa) y 2 (instalada en la tercera), más el túnel Analco-San José de conducción final desde la planta potabilizadora hasta la ZMVM.
9. Un 49.5% de la longitud de los canales se ubica en la interconexión de las presas El Bosque y Colorines, y otro 20.6% entre las presas Tuxpan y El Bosque. Como se indica en el

■ **Tabla 4.1. Caudales aportados en m³/s**

Etapas	Presas	Teórico de diseño	Año 2014	Promedio periodo 1997 a 2014
1ª (año 1982)	Villa Victoria	4.00	3.13	2.37
2ª (año 1985)	Valle de Bravo	6.00	4.26	4.16
3ª (año 1993)	Tuxpan, Bosque, Ixtapan del Oro, Colorines, Chilesdo	9.00	7.67	7.68
TOTAL		19.00	15.06	14.21

(Fuente: elaboración propia con datos de OCAVM)

■ **Tabla 4.2. Características de las presas que componen el Sistema Cutzamala**

Elemento	Tipo	Capacidad, útil, hm ³	Elevación al NAMO
Ixtapan del Oro	Presa derivadora	0.5	1,699.0
Valle de Bravo	Presa de almacenamiento	394.4	1783.0
Villa Victoria	Presa de almacenamiento	186 .0	2,557.6
Colorines	Presa derivadora	1.5	1,628.0
El Bosque	Presa de almacenamiento	202 .0	1693.0
Tuxpan	Presa derivadora	5.0	1,751.0
Chilesdo	Presa derivadora	1.5	2,357.0
Total		790.9	

Nota: Elevaciones en el sistema CONAGUA para convertirlas al sistema CFE, sumar 47,388 m
(Fuente: elaboración propia con datos de OCAVM)

■ **Tabla 4.3. Longitud de conducción en las estructuras del Sistema Cutzamala**

Tramo	Tipo de conducción						Long. total km	Etapa de construcción del Sistema Cutzamala
	Tuberías				Canal long km	Túnel long km		
	Acero		Concreto					
	Long. km	Diám. m	Long. km	Diám. m				
Presa Villa Victoria-Planta potabilizadora					13.0		13.0	1 ^a
Planta Potabilizadora-Portal de entrada túnel Analco	1.88	2.5 a 3.5	76.0	2.5			93.68	
Presa Valle de Bravo-Planta potabilizadora	4.0	1.83 a 3.17	14.5	2.5	7.5	3.1	29.1	2 ^a
Presa Colorines-Presa Valle de Bravo	1.92	2.5 a 2.9	2.28	2.5		2.24	6.44	
Presa Chilesdo-Planta potabilizadora	2.5	1.73	9.3	1.07 a 1.37			11.8	3 ^a
Presa Tuxpan-Presa El Bosque					14.95	7.05	22.0	
Presa Ixtapan del Oro-Canal Bosque Colorines					1.2		1.2	
Presa El Bosque-Presa Colorines					35.9	15.8	51.7	
Segunda línea	2.9	1.83 a 3.17	90.5	2.5			93.4	
TOTALES	13.2		192.58		72.55	43.99	322.32	

(Fuente: elaboración propia con datos de OCAVM)

apartado de *Aspectos Hidroagrícolas*, en esos tramos se tienen los mayores compromisos de agua concesionada y de tomas irregulares para riego. Los canales Tuxpan-El Bosque y El Bosque-Colorines tienen una capacidad de 19 m³/s y de 14.5 m³/s, respectivamente. El 29.9% restante de la longitud corresponde al canal Ixtapan del Oro-Colorines y a los que llegan a la planta potabilizadora, esto es, los canales Héctor Martínez de Meza y Donato Guerra. El Sistema Cutzamala cuenta con dos tanques de regulación: Santa Isabel y Pericos. Desde el tanque Pericos ingresan en promedio 0.8 m³/s al Valle de Toluca; actualmente, la ampliación

de este tanque está en construcción y es importante concluirla para resolver los problemas identificados por el OCAVM.

- Conducción desde la planta potabilizadora Los Berros.** Desde la potabilizadora Los Berros, el agua se envía a las ZMVM y ZMT mediante las líneas de conducción 1 y 2, construidas de concreto postensado con alambre de acero, que inician en la torre de oscilación 5 y terminan en el túnel Analco-San José que atraviesa la Sierra de las Cruces; su longitud es de 15 km. Cuando entró en operación la primera etapa del Sistema Cutzamala, ese túnel

no estaba disponible; por esta razón, se aportaba al acueducto del Sistema Lerma a través del túnel de Atarasquillo. Al completarse la segunda etapa, el túnel Analco-San José ya estaba en servicio; desde entonces pasan por allí las aguas que se entregan en bloque para el abasto del Distrito Federal y de los 14 municipios de la zona conurbada del Estado de México.

11. **El túnel Analco-San José fue construido en paralelo al de Atarasquillo, y en la actualidad comparten las tres lumbreras existentes.** Desde su construcción y puesta en operación en 1978, se han realizado dos inspecciones parciales, en 2001 y 2011; ambas permitieron identificar las afectaciones y condujeron a una revisión completa e integral en 2012. (Las recomendaciones surgidas en ese momento se consideran vigentes y se exponen más adelante.)
12. **La tercera línea de conducción del Sistema está en construcción.** Tendrá 76 km de longitud con un diámetro de 99". La nueva línea evitará que se interrumpa el suministro a la ZMVM cada vez que se requieran labores de mantenimiento mayor en el Sistema Cutzamala; proporcionará, además, mayor seguridad en caso de fallas en las líneas de conducción existentes. Una segunda conducción desde la planta de bombeo 5 a la torre de oscilación 5 está también en proceso de construcción.

1.2. Bombeo

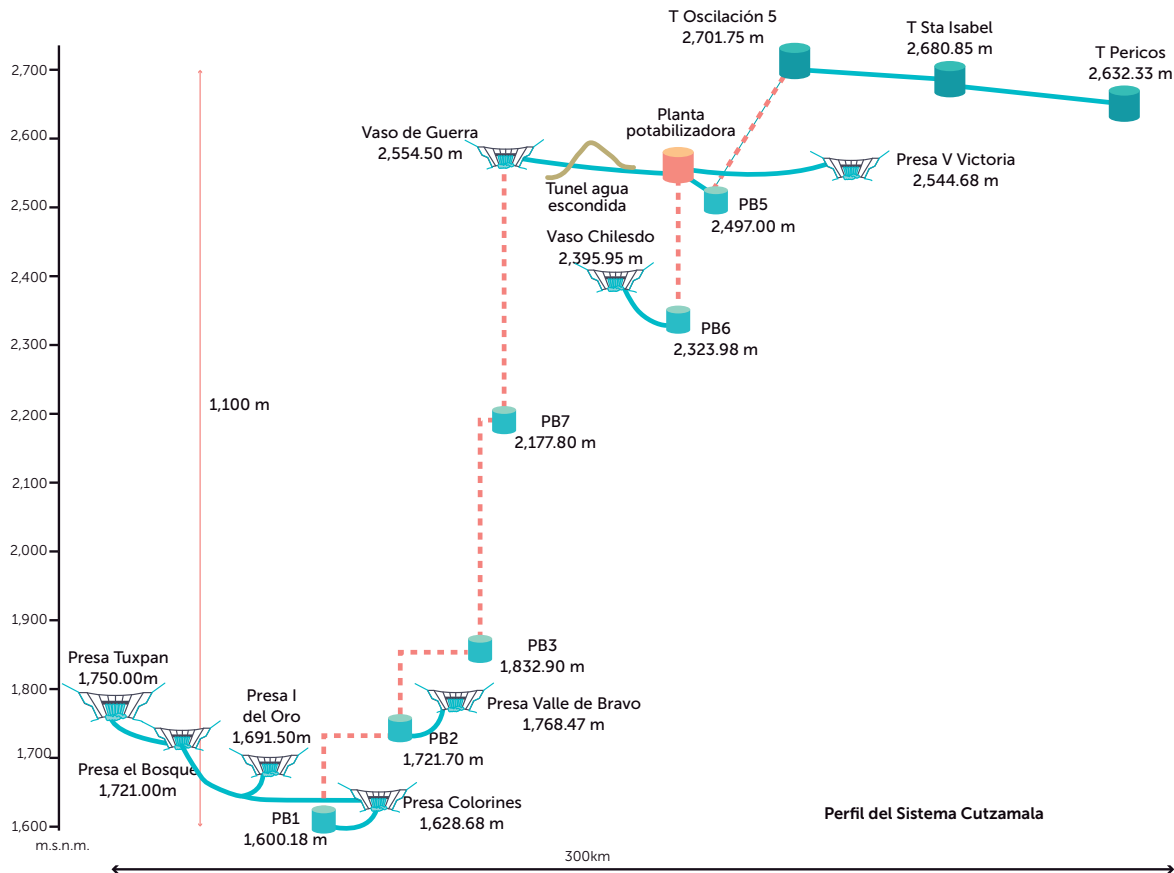
13. **Plantas de bombeo.** Las seis plantas de bombeo se construyeron en terrenos de perfil montañoso, en tramos de alta densidad de vegetación y fuertes precipitaciones. Son por ello obras que exigen una operación cuidadosa, así como conservación y mantenimiento continuos. Cada una con su subestación eléctrica, las instalaciones de bombeo alojan en total 36 conjuntos de motor-bomba-válvula esférica y 11 torres de oscilación y sumergencia, así como las correspondientes válvulas de seccionamiento (Figura 3.2). En varias de las plantas, los motores llegan hasta 22,000 caballos de fuerza para impulsar 4 m³/s cada uno y elevar el agua más de 1,100 metros. El conjunto consume aproximadamente 2,200 millones de kWh al año. El bombeo demanda alrededor de 147 GWh al año por m³/s de caudal, mientras que, por ejemplo, la extracción de agua subterránea en el Valle de México consume alrededor de 6 GWh anuales por m³/s. En la Tabla 3.4 se muestra el número de unidades, los caudales nominales y otras características de las plantas.
14. **Estado de los equipos.** Todos los elementos de las plantas de bombeo se encontraban en estado operativo en el momento de este diagnóstico, a excepción del grupo motor número 4 de la planta de bombeo 2, que estaba en reparación por mantenimiento, y el grupo n° 1 de la planta de bombeo 5, fuera de servicio debido a los daños provocados por una fuerte tormenta eléctrica y cuya reparación estaba en espera de la evaluación por la compañía aseguradora.

■ **Tabla 4.4. Características generales de las plantas de bombeo**

Elemento	Capacidad total (m ³ /s)	Elevación (msnm)	Altura a vencer (m)	Cantidad de grupos	Capacidad unitaria (m ³ /s)	Potencia motor(kW)	Potencia total instalada(kW)
Planta de bombeo 1(*)	20.00	1,600.18	121.15	5	4	7,960	39,800
Planta de bombeo 2 (*)	24.00	1,721.70	100.50	6	4	5,550	33,300
Planta de bombeo 3 (*)	24.00	1,832.90	355.60	6	4	16,100	99,000
Planta de bombeo 4 (*)	24.00	2,178.88	376.60	6	4	16,100	99,000
Planta de bombeo 5	24.00	2,497.00	174.00	6	4	7,960	47,760
Planta de bombeo 5 ^a	5.10	2,497.00	158.00	3	1.70	3,170	9,510
Planta de bombeo 6	5.10	2,324.98	213.00	3	1.70	4,200	12,600

(*).Estas plantas funcionan en serie.
(Fuente: elaboración propia con datos de OCAVM)

■ **Figura 4.1. Cargas que deben vencer las plantas de bombeo**



(Fuente: CONAGUA, 2013)

15. Cada planta de bombeo tiene su subestación eléctrica a la intemperie, alimentada a 115 kV, ubicada en sus proximidades.
16. Los grupos motor-bomba de eje horizontal y carcasa o cámara partida disponen de una válvula esférica instalada en la impulsión de cada uno, con tres funciones diferenciadas: aislar el grupo del resto de la instalación; realizar los arranques y paros programados suavemente, sin perturbaciones eléctricas e hidráulicas, y atenuar el golpe de ariete ante un paro intempestivo.
17. **Equipos auxiliares.** Las instalaciones incluyen los equipos auxiliares necesarios para su correcto funcionamiento: circuitos de aceite y agua a presión, de refrigeración, sistema de filtrado, grupo electrógeno, cabinas de media y baja tensión, baterías de capacitadores, bandejas porta conductores, cables y, en el piso superior, el cuadro de control y las pantallas del Control Supervisorio.
18. **Torres de oscilación y sumergencia.** El esquema hidráulico del Sistema Cutzamala se proyectó con seis torres de oscilación en el circuito de impulsión y cinco torres de sumergencia en el circuito de aspiración, de 10 m de diámetro interior y alturas comprendidas entre 20 m y 55 m, con sus correspondientes válvulas de seccionamiento. El tanque de 50,000 m³ de agua tratada de la potabilizadora actúa como torre de sumergencia en la planta de bombeo 5. Estas torres de oscilación y sumergencia son fundamentales para la viabilidad y operatividad del Sistema.

1.3. Instalaciones eléctricas de alta tensión

19. La subestación eléctrica Donato Guerra, ubicada en el centro de gravedad de las plantas de bombeo y propiedad de la CFE, recibe la energía a 400 kV y la baja a 115 kV mediante dos transformadores de potencia de 300 MVA cada uno. Desde el secundario de los transformadores salen seis líneas de alta tensión de 115 kV, que alimentan seis subestaciones de

transformación con una relación 115/13.2 kV para cada planta de bombeo del Sistema Cutzamala. La estabilidad de tensión y la potencia de cortocircuito de la red de 115 kV permiten el arranque directo de los motores.

1.4. Potabilización

20. **Planta potabilizadora Los Berros.** El proceso de potabilización se realiza en la planta Los Berros, con una capacidad de diseño de 20 m³/s, aunque actualmente opera con 15.4 m³/s. Está localizada a 2,560 msnm. En ella se concentra, se trata y se potabiliza el agua. La planta está compuesta por un tanque receptor de aguas crudas, seis canales Parshall, seis módulos de potabilización de 4 m³/s cada uno, un tanque receptor de aguas claras, un edificio dosificador de sulfato de aluminio, una planta de cloración, un sistema de tratamiento de lodos y un laboratorio para análisis físico-químicos y bacteriológicos, y un tanque de reserva.

21. **Procesos.** La planta trabaja con un proceso convencional de clarificación (floculación, sedimentación y filtración) y desinfección con gas cloro, en cumplimiento de la norma NOM-127-SSA1-1994 y su modificación del año 2000. Las condiciones del influente han cambiado en los últimos años, particularmente debido a la proliferación de algas. Éstas no pueden ser removidas durante la floculación y sedimentación, y al llegar a los filtros pueden reducir los tiempos de corrida e incrementar el consumo de agua de retrolavado. Por su parte, los cada vez más frecuentes brotes de algas azul-verde en los embalses pueden liberar compuestos orgánicos que generan olor y sabor desagradables, además de endotoxinas potencialmente dañinas para la salud humana y otros organismos (en el apartado de *Calidad del Agua en las Subcuencas* se presenta con más detalle esta problemática). Se ha documentado, además, la aparición de contaminantes emergentes, como antibióticos, broncodilatadores y otros fármacos que provienen de las descargas de aguas residuales (IMTA, 2013). Todo ello pone en riesgo el cumplimiento de la Norma. Por esta razón, sería necesario, además de explorar alternativas tecnológicas eficientes, realizar los estudios y posteriormente la reingeniería de la planta de potabilización para manejar de modo adecuado las condiciones actuales y superar los nuevos riesgos.

1.5. Control supervisorio

22. El centro de información y mando de Control Supervisorio se ubica en el predio de la planta potabilizadora. Hace 14 años se le dotó de la más alta tecnología entonces disponible, pero hoy es obsoleta y deficitaria. El Control Supervisorio actual no permite vigilar y controlar de manera completa las condiciones de operación del Sistema y de cada planta de bombeo ni de la potabilizadora. Se advierte la carencia de medición continua de presión, niveles, gastos, temperatura, vibraciones, detectores de flujo, estados de embalses, canales, entre otros parámetros. La fibra óptica existente está saturada para el servicio de control de los equipos existentes.

1.6. Distribución

23. **Entrega en bloque.** El agua potabilizada que produce el Sistema Cutzamala se entrega en bloque. Las obras de distribución son mínimas y se consideran puntos de entrega. Entre esas obras destacan el tanque Pericos, para la ciudad de Toluca; Cruz de la Misión, para el Distrito Federal, y Lumbrera Tres Dos Ríos, en Huixquilucan, del que se deriva el agua hacia el Acuaferico para surtir el Distrito Federal y hacia el Macrocircuito Ramal Norte, para el Estado de México.

2. Comentarios y recomendaciones

24. En el marco de este diagnóstico, en febrero de 2015 un equipo de consultores realizó una visita de campo para valorar el estado general de la infraestructura básica del Sistema Cutzamala. Los resultados de sus observaciones se han traducido en un conjunto de comentarios y recomendaciones de acción para mejorar su gestión.

25. Para el periodo 2014-2018, el OCAVM ha establecido el Programa de Conservación y Mantenimiento de la Infraestructura (PROCYMI) para la prestación del servicio de abastecimiento de agua potable para las ZMVM y ZMT. Con un valor medio de \$5,865 millones de pesos para el suministro de materiales, maquinaria, refacciones y mantenimiento para el mismo periodo, su propósito es asegurar la confiabilidad de los sistemas de abasto para ambas zonas metropolitanas.

26. Se han analizado las instrucciones de funcionamiento y los protocolos de operación, y se consideran suficientes. Sin embargo, es necesario mejorar los programas de mantenimiento: actualmente, el Sistema Cutzamala requiere múltiples refacciones y no dispone de todas ellas. Por ello, deberá actualizarse el sistema de gestión de activos del OCAVM.

2.1. Almacenamiento y conducciones

27. **Almacenamientos.** Se considera conveniente emprender las siguientes acciones en la infraestructura de almacenamiento:

- Incluir en el Control Supervisorio las 10 presas (las siete presas principales que componen el Sistema, más las presas menores Pucato, Sabaneta y Agostitlán) y otros puntos críticos del sistema que actualmente no están cubiertos.
- Asegurar visitas periódicas de inspección de seguridad de las presas por parte del Consultivo Técnico de la CONAGUA o por una empresa consultora especializada.
- Realizar un estudio de reingeniería de la presa de Chilesdo para un mejor control de la sedimentación constituida, sobre todo, de lodos procedentes de la planta Los Berros y de erosiones registradas en zonas agrícolas periféricas al vaso, así como de limpia de vegetación flotante. Es muy importante la reactivación de la planta de lodos en la potabilizadora Los Berros.
- Rehabilitar los órganos de maniobras de presas, en general, y de Tuxpan, en particular (tomas de derivación, descargadores de fondo, rejillas, agujas de cierre de tomas, grúas para accionamiento de compuertas y agujas de cierre) y canales (tomas, aforadores, derivaciones, etc.).
- Rehabilitar la capacidad del sifón del trasvase Bosque-Colorines que limita el gasto original de diseño a la mitad.
- Realizar estudios de mayor control de azolves y derrumbes en zonas críticas del canal Bosque-Colorines y de azolves en la presa derivadora de Tuxpan, de pequeña capacidad.
- No reiniciar los trabajos de inyecciones para las filtraciones de la presa El Bosque;

se considera más pertinente continuar con el monitoreo de caudales, promover inspecciones regulares del Consultivo Técnico de la CONAGUA, y organizar las unidades de riego que aprovechan las aguas de las filtraciones, otorgarles la concesión y tecnificar el riego para incrementar la productividad agrícola y del agua.

28. **Conducciones.** En cuanto a la infraestructura de conducción, las acciones recomendadas son las siguientes:

- Estudiar la sustitución y reforzamiento de las líneas 1 y 2 de conducción desde la torre de oscilación hasta el túnel Analco-San José, pasando de concreto a acero.
- Estudiar la construcción de una línea reversible desde la planta de bombeo 4 hasta Villa Victoria, y desde ésta hasta la Planta potabilizadora, en acero de 80" de diámetro.
- Revisar periódicamente los 44 km de túneles y sifones existentes en los trasvases internos del sistema Cutzamala (Tuxpan-El Bosque-Colorines) para determinar y documentar el estado en que se encuentran, y programar acciones de desazolve y limpieza regulares.
- Analizar y dar seguimiento a las recomendaciones surgidas del estudio realizado al final de 2012 en los 15 km del túnel Analco-San José en 2012, a saber: i) reparación de las zonas de la calzada del perfil de herradura; ii) rehabilitación de las lumbreras 1 y 2, que se encuentran fuera de operación; en el caso de la lumbrera 3, rehabilitación del sistema de compuertas; iii) realización de pruebas no destructivas detalladas para identificar zonas de posibles oquedades; iv) reparación de agujeros de drenaje en sectores estructuralmente comprometidos; v) reparación de fisuras en los sectores críticos identificados; vi) puesta en marcha de un programa de inyecciones de impermeabilización y relleno de fisuras y grietas; vii) instalación de fibra óptica a lo largo del túnel, para monitorear el estado geológico, efectos de movimientos geológicos, defectos de infraestructura, variación de niveles de agua, entre otras variables. Se subraya, además, la importancia de llevar a cabo la conexión con el túnel Atarasquillo.
- Estudiar la localización y revisar las válvulas de admisión y expulsión de aire (VEA) de las tuberías de presión.

- Estudiar la sectorización de conducciones de presión con válvulas.
 - Estudiar y monitorear las líneas de conducción 1 y 2 de los gastos mediante medidores para detectar fugas de agua y roturas de tubos.
29. **Costo total.** El costo total aproximado de las acciones y medidas necesarias de mantenimiento, conservación y rehabilitación de acueductos y canales fue estimado en el PROCYMI en \$1,172 millones de pesos. Para las obras de mejoramiento de las conducciones y canales, el PROCYMI tiene considerado un costo de \$3,854 millones de pesos, incluyendo las reparaciones recomendadas para los 15 km del túnel Analco-San José.
- 2.2. **Plantas de bombeo e instalaciones eléctricas**
30. **Las instalaciones y el equipo de operación.** En términos generales, las plantas de bombeo están en buenas condiciones con una adecuada limpieza general de las instalaciones. La presencia de los equipos de operación es permanente y satisfactoria.
31. **Eficiencias.** Durante la visita de diagnóstico se realizó, al azar, una prueba de eficiencia global bomba-motor ($\eta_{\text{motor} \times \eta_{\text{bomba}}}$) en la planta de bombeo 5. Al estar en funcionamiento tres grupos principales y uno auxiliar se observó que las medidas de eficiencia global (eficiencia bomba por eficiencia motor) se siguen manteniendo idénticas a las obtenidas en los bancos de ensayo de los fabricantes. Esto indica que los equipos se encuentran en correcto estado de funcionamiento a pesar de tener entre 22 y 32 años de antigüedad. Esto se puede atribuir legítimamente a la dedicación y al esfuerzo del personal responsable.
32. **Transformadores de potencia.** Se advirtió que varios transformadores de potencia en distintas plantas de bombeo están funcionando en condición de ventilación forzada con aire (ONAF), aun cuando la potencia demandada por los grupos motor-bomba no supera la potencia sin ventilación forzada (ONAN). Es urgente reponer los circuitos de refrigeración con los aceites adecuados e instrumentar una protección directa revisada para evitar que estos transformadores queden fuera de servicio. El adecuado funcionamiento de los transformadores de potencia es fundamental para asegurar un bombeo continuo de agua.
33. **Actualización de equipos.** El OCAVM está sustituyendo y actualizando los equipos eléctricos y mecánicos que son obsoletos o que han dejado de fabricarse. Estas acciones son correctas, aunque son numerosos los equipos que requieren sustitución o reemplazo. En la medida en que resulta difícil conseguir en el mercado los equipos necesarios, suelen ser esenciales las facilidades administrativas excepcionales (por ejemplo, dispensas de proveedor único) que no están de momento disponibles.
34. **Bombas.** El estado de las bombas es satisfactorio. No presentan ruidos de cavitaciones ni vibraciones. Habría que considerar durante las etapas de mantenimiento una impregnación interior del cuerpo de bomba con productos de última generación que reduzcan su rugosidad para mantener o mejorar su eficiencia. Deberían preverse los repuestos, tal como recomienda el fabricante.
35. **Motores.** Por su estado actual de conservación —comprobado en la prueba de eficiencia— resulta innecesario sustituir los motores existentes por equipos nuevos, síncronos y provistos de arrancadores estáticos. En la medida en que los motores pierdan su capacidad de aislamiento, se requerirá repararlos con acciones de impregnación al alto vacío de rotor y estator, lo que les proporcionaría una vida técnicamente ilimitada. Debería preverse la disposición de motores de cada tipo como repuesto mientras se realicen las actuaciones de impregnación.
36. **Motobombas para regulación de gastos de agua.** La variación de gastos que últimamente se requiere en la operación del Sistema Cutzamala hace necesaria la utilización de un motor con variación de velocidad, tecnología ampliamente utilizada con la electrónica de potencia.
37. **Válvulas esféricas.** Estas válvulas se encuentran muy desgastadas; dada la importancia de su función en el arranque y el paro del grupo motor-bomba, habría que sustituirlas escalonadamente.
38. **Válvulas de mariposa en la impulsión de grupos motor-bomba.** Ya disponibles en la planta de bombeo 5, estos equipos son necesarios en los otros grupos para aislar el conjunto motor-bomba de cada múltiple de descarga y así no tener que dejar fuera de servicio el resto de los equipos que descargan en el mismo múltiple.
39. **Sistema de vaciado de las líneas de impulsión de las plantas de bombeo.** Sería necesario

dotar a estas plantas de un dispositivo que una la impulsión con la aspiración en cada una de ellas, con el propósito de retornar el agua a sus puntos de captación. El caudal por liberar sería de aproximadamente 4 m³/s de manera que la maniobra de mantenimiento que requiera vaciado de las instalaciones sea lo más rápida posible. Con esta medida se evitaría que los grupos giren de manera inversa, como “turbina”.

40. **Múltiples y ductos de tuberías de las plantas de bombeo.** Durante la etapa de paro de las plantas de bombeo es necesario realizar la inspección de su interior, para determinar el estado que guarda y programar su mantenimiento o sustitución.
41. **Sistema de refrigeración.** Debería procederse a la sustitución de los dispositivos actuales de intercambiadores de calor de motores y de circuitos auxiliares de lubricación por unos alternativos (como torres de enfriamiento autónomas con agua tratada u otros sistemas de filtración) que no provoquen sedimentos de lodos en las partes internas de los circuitos.
42. **Instrumentación de campo.** Es necesario sustituir y ampliar toda la instrumentación existente con una nueva de mayor precisión y que tenga el mismo protocolo de tratamiento de datos electrónicos (niveles, presiones, gastos, detectores de flujo, temperaturas, vibraciones, información de embalses, posición de compuertas, calidad de las aguas, entre otros parámetros), de manera que se pueda integrar toda la información en el Control Supervisorio.
43. **Banco de capacitores.** Es preciso revisar y actualizar la instalación del banco de capacitores.
44. **Red de tierras.** Se requiere comprobar y adecuar la red de tierras.
45. **Refacciones de aparatos de alta tensión de subestaciones y de equipos auxiliares.** Es necesario disponer de un lote de refacciones para los transformadores de potencia, para los aparatos de alta tensión de las subestaciones y para los equipos auxiliares.
46. **Protecciones eléctricas de media tensión y baja tensión.** Se sugiere actualizar las protecciones eléctricas de acuerdo con el nuevo reglamento eléctrico, así como las tecnologías de protecciones disponibles: cabinas de maniobras, centro de control de motores y cuadro de

servicios propios. Se requiere, además, una revisión completa de los cables de media y baja tensión.

47. **Acciones prioritarias.** En las plantas de bombeo son prioritarias y deberían implementarse en el corto plazo las siguientes acciones:
 - disposición de refacciones, insumos y mantenimiento de los transformadores de potencia, y mantenimiento de transformadores;
 - mantenimiento de sistemas de refrigeración de motores y equipos auxiliares, y
 - revisión de las redes de tierras y adecuación, en su caso.
48. **Costo total aproximado de las acciones y medidas sugeridas.** Se estima en forma preliminar que el costo total de las acciones y medidas sugeridas es de, aproximadamente, \$1,671 millones de pesos. El PROCYMI incluye un costo en conservación normal de los equipos de \$569 millones de pesos y para el reequipamiento de las plantas de bombeo de \$2,100 millones de pesos.

2.3. Planta potabilizadora

49. **Capacidad.** La capacidad de la planta potabilizadora Los Berros debería ser consistente con la del Sistema Cutzamala en su conjunto y particularmente con la de las estaciones de bombeo. Cualquier ampliación de los caudales de diseño del Sistema también debe reflejarse en un aumento de la capacidad de potabilización.
50. **Uso de carbón activado.** El control de compuestos orgánicos liberados por las algas, inclusive las toxinas, puede realizarse mediante filtros de carbón activado. La implementación de este proceso llega a ser caro e inclusive podría afectar el actual perfil hidráulico, pues requiere realizar modificaciones mayores en la planta e incrementar los bombeos. Una solución más simple consistiría en optimizar la adición de carbón activado en polvo en los canales, que se seguiría usando sólo como una medida de emergencia, y dedicar un mayor esfuerzo a mejorar la calidad del agua en los embalses, que deben considerarse como el primer elemento del proceso de potabilización.
51. **Deshidratación de lodos.** Sería necesario poner en operación la existente instalación de

deshidratación de los lodos producidos en la planta. Con ello se lograría una significativa disminución del volumen de lodos, que podrían así depositarse en el predio de la potabilizadora, lo que evitaría que regresaran a los embalses del Sistema.

52. **Operación.** Para lograr una mejor operación del sistema de potabilización, se sugieren dos acciones: seleccionar el punto óptimo de dosificación de reactivos y nivelar los vertedores de los tanques de sedimentación.
53. **Acciones de mejoramiento de los procesos de potabilización.** Se ha propuesto, además, analizar la factibilidad de las siguientes acciones:
 - implantación de un sistema para la eliminación de sólidos en el tanque de recepción de aguas crudas;
 - incorporación de procesos destinados al control de algas, como flotación con aire disuelto, y
 - modernización del proceso de sedimentación.
54. **Automatización de la planta Los Berros.** Con el propósito de evitar errores humanos y mejorar el funcionamiento de la planta y la calidad del agua producida, se recomienda analizar la alternativa de automatizar el funcionamiento de la planta potabilizadora y la posibilidad de incorporar al sistema de Control Supervisorio señales eléctricas automáticas de control (niveles, volúmenes y otras que aparecen en sus cuadros de control).
55. **Modernización del laboratorio.** Por la trascendencia humana y económica de la calidad del agua que el Sistema Cutzamala entrega a los concesionarios en las ZMVM y ZMT, así como por la emergencia de nuevos riesgos, es preciso contar con un laboratorio equipado con el nivel más alto de tecnología disponible.
56. **Costo total.** El PROCYMI estima que el costo total aproximado de las acciones y medidas necesarias en la planta potabilizadora es de \$468 millones de pesos para mantenimiento y conservación y de \$412 millones de pesos para mejoramiento.

2.4. Control supervisorio y CCTV

57. **Instancias involucradas.** La complejidad del Sistema Cutzamala exige que la Residencia

General de Operación, así como las Direcciones u otras instancias competentes de agua potable, drenaje y saneamiento del OCAVM y la CONAGUA, conozcan en tiempo real el estado de las magnitudes eléctricas, mecánicas e hidráulicas, entre otras. Se requiere, por consiguiente, un sistema de control de última generación que ayude a la toma de decisiones. Esto evitaría posibles fallos humanos y falsas maniobras.

58. **Cobertura.** Debería ampliarse la cobertura del Control Supervisorio hasta los embalses, los subsistemas de captación, las conducciones, las estaciones meteorológicas, los puntos de entrega de agua en bloque y otros segmentos de la infraestructura, de las instalaciones, de los equipos y procesos. Esto permitiría mantener los registros históricos de datos (niveles en embalses, datos pluviométricos, control de temperatura, entre otros) y analizar las causas de las anomalías detectadas. Podría disponerse de hojas de incidencias, informes de trabajo, de mantenimiento predictivo y preventivo, y de desviación de los costos programados.
59. **Transmisión de datos.** La transmisión de la información desde el terreno hasta el centro de Control Supervisorio en la planta potabilizadora debería realizarse con fibra óptica y, para redundancia y disminución de riesgos, por vía telefónica, internet o satélite. La transmisión de estos datos hacia los centros receptores del OCAVM y la CONAGUA se realizaría por medios electrónicos.
60. **CCTV.** Se considera también necesario dotar a todas las plantas, embalses y puntos singulares del Sistema Cutzamala de un circuito cerrado de televisión para complementar la información disponible.
61. **Costo.** El costo de modernización y ampliación del actual Control Supervisorio se ha estimado en \$200 millones de pesos; esta acción se considera prioritaria.

2.5. Mantenimiento

62. **Eficiencia del mantenimiento.** El OCAVM ha mejorado su eficiencia, tanto en mantenimientos rutinarios como extraordinarios, mediante una mejor planeación y el empleo de mejores tecnologías y logística, que le permiten trabajar en varios frentes simultáneos. Por ejemplo, durante los trabajos de refuerzo y cambio de tubos, se llevan a cabo estudios de inspección electromagnética interna con un

dispositivo hidrodinámico para recolectar información del estado estructural del acero de preesfuerzo de los tubos. Con esta información se identifican las tuberías con mayor riesgo de falla para programar acciones de conservación y mantenimiento preventivo.

63. **Fibra óptica en conducciones.** De la misma manera, en la línea 2 se instalaron los últimos 4 km del sistema de monitoreo acústico mediante fibra óptica en el tramo que va desde la derivación de Cruz de la Misión hasta el portal de entrada del túnel Analco-San José. Con ello el OCAVM alcanza 154 km de fibra óptica instalada en ambas líneas desde la torre de oscilación 5.
64. **Gestión de activos.** El OCAVM está iniciando la puesta en marcha de un sistema de gestión de activos. Sería urgente concluirlo pronto y asignarle los recursos necesarios, de manera que su implantación sea apropiada y oportuna. Ésta sería una importante contribución para evitar los problemas actuales de conservación diferida. La gestión de activos implica completar e incorporar todas las refacciones y actualizaciones: los fabricantes sugieren disponer de ellas para garantizar una vida útil ilimitada.
65. **Costo total.** El costo total aproximado de las acciones y medidas necesarias para la implantación de un programa de mantenimiento y conservación, de modernización y mejoramiento de las infraestructuras, de actualización de procedimientos de protocolos y de la formación de personal se estima en \$5,865 millones de pesos que incluye las obras civiles y el equipamiento, materiales y servicios necesarios. Este programa se elaboró de acuerdo con las disposiciones de las auditorías practicadas al Sistema por la Auditoría Superior de la Federación # 386 (2 de julio de 2013).

2.6. Aspectos vinculados con la energía

66. **Consumo energético.** La CFE provee de energía al Sistema Cutzamala. Como se indica en el apartado de *Aspectos Económicos y Financieros*, el 80% del costo total de operación proviene del costo de electricidad, un aspecto que deberá examinarse habida cuenta del nuevo marco legal que liberaliza el mercado de energía eléctrica.
67. **Tarifas.** Las tarifas aplicadas por la CFE en acuerdo con la CONAGUA son:

■ **Tabla 4.5. Precio del kW/h según tarifa en pesos**

Tipo	Verano	Invierno
Horas valle	1.06	0.98
Horas intermedias	1.19	1.11
Horas pico	1.77	1.71
Nº de horas pico	4	3

(Fuente: elaboración propia con datos de OCAVM)

- H-SL (tarifa horaria para servicio general, nivel subtransmisión, para larga utilización), y
 - HS (tarifa horaria para servicio general en alta tensión, nivel subtransmisión).
68. **Las tarifas medias aplicadas durante 2014 se indican en la Tabla 3.5.**
69. **Ahorros de energía.** Durante los 30 años de explotación, la profesionalidad y dedicación del personal ha conseguido mantener las eficiencias energéticas de los grupos motor-bomba y otras máquinas. El factor de potencia, próximo a 1, recibe la bonificación máxima; por esta razón no parece esperable un ahorro energético significativo por tales conceptos. El ahorro de energía sólo podría obtenerse por la utilización de las plantas de bombeo en invierno (periodo en el que el kWh es más barato y se dispone de tres horas pico), en lugar de bombear en verano con un precio más caro y con cuatro horas pico.
70. **Alternativas.** En ese contexto deberían buscarse otras alternativas de ahorro. Es el caso de la posible construcción de la línea planta de bombeo 4-Villa Victoria y de la sobreelevación de la presa en unos tres metros (que incrementaría su capacidad en unos 40 hm³), lo que sería fundamental para la optimización energética del Sistema Cutzamala. Se estima que la factura eléctrica total podría disminuir en un 30% (unos \$650 millones de pesos). Otra fuente posible de ahorro energético sería la construcción de centrales hidroeléctricas, que el nuevo marco legal del mercado eléctrico puede hacer viable.
71. **Otros ahorros de energía.** La disminución de la roturas de las líneas 1 y 2 desde la torre de oscilación 5 hasta el túnel Analco-San José también implicaría ahorro energético. El costo de la rotura de un tubo, incluyendo materiales, reparación de la zanja, agua potable vertida (100,000 m³) y otros servicios afectados, se estima entre \$2 millones y \$3 millones de pesos. Una rotura similar, que afectó a cinco tubos consecutivos, tuvo un costo de \$15 millones de

pesos y el agua vertida se estimó unos 500,000 m³, volumen de agua que había sido elevado 1,200 mca; estos valores pueden ser muy dispares en caso de que la rotura se produzca en puntos altos o bajos de la conducción, circunstancia que afecta el volumen de agua derramada. No se han contabilizado daños colaterales ni la imagen negativa que este tipo de fallas provoca en la opinión pública.

2.7. Estudios necesarios

72. Consideramos indispensable incrementar y afinar la visión estratégica de este diagnóstico con los siguientes estudios, cuyo detalle deberá precisarse en el transcurso de la posterior etapa de planeación:

- Para analizar la posibilidad de incrementar la disponibilidad de recursos hídricos, realizar los estudios de factibilidad con anteproyectos de la ampliación de la capacidad de las presas Sabaneta, Agostitlán y Villa Victoria.
- Asimismo, proceder al inventario y estudio preliminar de gran visión de las ubicaciones de las cuatro presas propuestas en la subcuenca Tuxpan: Turundeo I, Turundeo II, Huajimbaro y Ocampo. Estos cuatro sitios propuestos para pequeñas presas de almacenamiento en ríos de la cuenca del Tuxpan podrían aportar hasta unos 40 hm³ dependiendo de la climatología del año.
- Estudio de las filtraciones en laderas en los tramos de canales de los trasvases entre la presa Tuxpan y la presa El Bosque, y entre la presa El Bosque y la presa Colorines, para su incorporación al Sistema Cutzamala.
- Estudio de la viabilidad con anteproyecto de la conducción reversible de la planta de bombeo 5 a la presa Villa Victoria, de Villa Victoria a la planta potabilizadora, y de la planta de bombeo del vaso Donato Guerra a la planta potabilizadora, para aprovechar los 400,000 m³ almacenados en el vaso que no pueden circular por gravedad.

3. Inversiones propuestas

73. Después de 32 años de funcionamiento continuo de Sistema Cutzamala es necesario acometer acciones de rehabilitación o reparación en infraestructuras y equipos mecánicos que se

han ido deteriorando en el tiempo para incrementar la garantía y eficiencia del Sistema.

74. Respecto al costo total estimado (Tabla 3.6), es preciso puntualizarlo siguiente:

- Hay proyectos, sobre todo de conducciones y presas, que por su complejidad técnica e importe económico no se han considerado en la estimación de costos. Probablemente seguirán un procedimiento administrativo especial, pues afecta a la tenencia de las tierras y a otros aspectos sociales.
- Muchos equipos han superado la vida media de 25 años y se encuentran en correcto estado de funcionamiento. Se ha previsto su sustitución de forma escalonada.

4. Conclusiones

75. Una de las mayores y más complejas obras de ingeniería hidráulica mundial, el Sistema Cutzamala, sigue sorprendiendo por su confiabilidad a más de 30 años de iniciada su operación.

76. Las medidas, acciones y estudios necesarios son numerosos, así como es considerable la magnitud financiera que demandará su puesta en práctica.

77. Tales medidas y acciones pueden agruparse en dos grandes categorías: las de *mantenimiento y conservación*, necesarias para que el Sistema Cutzamala recupere las condiciones de operación iniciales; y las de *modernización y mejoramiento*, que implica llevar al Sistema a condiciones superiores de funcionamiento, con una orientación de sustentabilidad de largo plazo.

78. Los problemas de infraestructura que afectan al Sistema son prioritarios y requieren una atención urgente para garantizar la sustentabilidad y reforzar la seguridad del suministro del agua en el Sistema Cutzamala. Estos aspectos están en el ámbito de atribuciones institucionales de la CONAGUA.

79. El Sistema Cutzamala en sus tres etapas está diseñado para bombear 19 m³/s, con un esquema hidráulico, conducciones, instalaciones eléctricas y obras singulares confiables, eficientes y válidos para las necesidades actuales y futuras. Mantener y actualizar estas sanas bases

■ **Tabla 4.6. Programa de Inversiones 2014-2018, costos estimados preliminares de acciones de mantenimiento y conservación, y modernización y mejoramiento (millones de pesos 2014)**

PROCYMI		
A) Mantenimiento y conservación		
1.	Materiales	\$1,615
2.	Servicios	\$1,227
3.	Equipos y maquinaria	\$569
4.	Obras civiles	\$2,455
Subtotal		\$5,865
B) Modernización y Mejoramiento		
1.	3ª Línea. Torre de oscilación 5 a Entrega	\$4,500
2.	Planta potabilizadora Berros	\$413
3.	Acueductos y canales	\$3,855
4.	Reequipamiento plantas de bombeo	\$2,100
5.	Control supervisorio	\$200
6.	Presas y limpieza de vasos	\$365
7.	Obras para reforzar la seguridad	\$173
8.	Estudios y proyectos	\$387
9.	Obras sociales	\$200
Subtotal		\$12,193
C) Servicios de energía eléctrica		
1.	CFE.	\$11,892
Total PROCYMI		\$29,950
Otras inversiones prioritarias identificadas		
1.	Estudios y proyectos de sobreelevación de presas y estudio de gran visión sobre otros posibles almacenamientos en la parte alta de la cuenca de Tuxpan \$10	
2.	Tecnificación del Distrito de Riego 045, Unidad Hidalgo \$1,000 (según Plan Director del Distrito)	
3.	Tecnificación y reingeniería de Unidades de Riego en el canal Tuxpan-El Bosque-Colorines aproximadamente en 2,500 ha \$100	
4.	Tecnificación de Unidades de Riego en las cuencas de aportación al Sistema Cutzamala en 5,000 ha \$100	
5.	Plantas de tratamiento en comunidades urbanas . El PROCYMI identifica inversiones por \$340 en centros de población urbana como Ciudad Hidalgo.	
6.	Acciones de ecotecnia y saneamiento en comunidades rurales (*)	
7.	Programa de conservación de agua y suelo en 80,000 ha (*)	
8.	Pagos por servicios ambientales hidrológicos en la totalidad de la superficie forestal (estado de Michoacán y Estado de México)	
9.	Inversiones federalizadas para el abastecimiento de agua y saneamiento en las cuencas de aportación al Sistema (*)	

(*) monto por determinar
(Fuente: elaboración propia con datos de OCAVM)

de diseño en buenas condiciones ante los nuevos desafíos y oportunidades del siglo XXI implicaría:

- Atender y darle un tratamiento al Sistema acorde con su importancia estratégica para la población, para las actividades económicas y por su contribución a la seguridad nacional, con base en marcos institucionales y de responsabilidad, políticas, programas y recursos en correspondencia.
- Realizar adecuadas, oportunas y controladas acciones de mantenimiento, reequipamiento y sustitución de infraestructuras (como el reemplazo de las conducciones de concreto existentes) para aumentar la redundancia y disminuir los riesgos, evitando los costosos y continuos paros por mantenimiento correctivo.
- Ampliar la capacidad de captación de agua y aumentar la de suministro de agua en bloque mediante nuevos proyectos. La potabilizadora Los Berros requiere una ampliación y modernización hasta alcanzar, como mínimo, la capacidad actual de elevación de las plantas de bombeo.
- Promover la imprescindible ampliación de la cobertura de drenaje, alcantarillado, saneamiento y reúso de las aguas residuales en las diferentes localidades cuyas descargas directas e indirectas perjudican a su población, contaminan los cuerpos de agua, deterioran los recursos naturales y afectan la eficiencia y el buen estado de las obras, instalaciones y equipos del Sistema Cutzamala.
- Considerar la instalación de centrales hidroeléctricas asociadas a la infraestructura del Sistema Cutzamala, localizadas, por ejemplo, a la salida del túnel Analco-San José y en la descarga de la presa Villa Victoria hacia Los Berros.
- Aumentar la vigilancia sobre el complejo y extenso Sistema Cutzamala, previniendo derrames en embalses y canales, vandalismo y otras amenazas técnicas, naturales y sociales; a ello contribuiría la modernización del actual Control Supervisorio.
- Dotar al Sistema Cutzamala de una estructura organizativa y operacional moderna y flexible, con procesos sistematizados, líneas claras de responsabilidad y control, y recursos humanos con la capacidad técnica apropiada.



Usos del agua en las subcuencas

Este apartado analiza los diferentes usos del agua en las subcuencas vinculadas con el Sistema Cutzamala —abastecimientos públicos, acuacultura y riego— y las entregas realizadas a las zonas metropolitanas del Valle de México y Toluca.

1. Administración del agua

1. **Marco jurídico y de derechos.** En las subcuencas vinculadas con el Sistema Cutzamala la administración de los recursos hídricos se rige por la Ley de Aguas Nacionales. La explotación, el uso o el aprovechamiento de las aguas nacionales se realiza mediante títulos de concesión o de asignación que otorga la Comisión Nacional del Agua. Estos títulos se inscriben en el Registro Público de Derechos de Agua. La transmisión regulada de los derechos de agua se gestiona en los Bancos del Agua.
2. **En 2011 se modificó la condición de veda que regía, desde 1966, la prioridad en el uso de las aguas superficiales en la región hidrológica número 18 Balsas, integrada —entre otras quince cuencas hidrológicas— por la del río Cutzamala, donde se localizan las subcuencas consideradas en este estudio.** En el caso de los estados de México y de Michoacán, las reservas fueron establecidas en 68.403 hm³/año y 57.757 hm³/año, respectivamente, en beneficio de un grupo de municipios, entre los que se encuentran los 14 considerados en este diagnóstico.
3. **El papel de los municipios.** El artículo 115 de la Constitución establece que los municipios tendrán a su cargo, entre otros, los servicios de agua potable, drenaje, alcantarillado, tratamiento y disposición de sus aguas residuales. También señala que, cuando sea necesario, los municipios podrán ejercer tales atribuciones con el concurso de los estados. Se han diseñado algunos programas para apoyar a los municipios en esta función; es el caso del programa de devolución de pago de derechos por la utilización de aguas nacionales.
4. **Títulos y concesiones.** En los 14 municipios que cubre este estudio hay 1,575 títulos de concesión o asignación de agua superficial, por un total de 703.370 hm³/año. En número, los municipios con más asignaciones son

Valle de Bravo, Zitácuaro, Amanalco y Ciudad Hidalgo. Las entidades ubicadas en Michoacán disponen del mayor número de títulos para disposición de agua subterránea: en total, 84 títulos por 32.141 hm³/año. Para aguas residuales, hay 50 permisos de descarga: 25 corresponden a servicios, 12 a acuicultura y los restantes a diversos usos. Si se suman las fuentes y los usos, el mayor número corresponde al uso público, seguido de la agricultura y los usos múltiples. En número y volumen, las concesiones están en relación con las dimensiones de la población urbana y de las actividades económicas en las subcuencas. En el Registro constan 37 transmisiones de derechos, la mayoría de ellas relativas a aguas superficiales, por un total de 9.185 hm³/año.

2. Usos del agua

5. **Extracciones.** Según los balances hídricos, el gasto medio total de extracciones al Sistema en su conjunto asciende a 20 m³/s, incluyendo 14 m³/s de entregas. Destacan el uso agrícola neto dentro de los límites del Sistema (3.5 m³/s), así como las exportaciones a la cuenca baja del río Cutzamala (5.5 m³/s). El total de usos netos es de 5.2 m³/s. En el apartado específico de *Balances Hídricos* pueden consultarse los detalles de esta información.
 6. **Agua potable, alcantarillado y saneamiento.** La información censal muestra que en los siete municipios del Estado de México había en junio de 2010 un total de 74,806 viviendas habitadas; la cobertura de agua potable era de 68.77% y de 54.26% en drenaje, incluidas todas las viviendas que descargan a la red pública, fosas sépticas, barrancas, grietas, ríos, lagos o mar. Por su parte, en los siete municipios del estado de Michoacán existían 80,841 viviendas en el mismo periodo, con coberturas de 81.85% y 82.98% de agua potable y drenaje, respectivamente.
 7. **Acceso a los servicios y desigualdad social.** En comparación, los valores promedio observados en el Estado de México fueron de 91.71% para agua potable y 94.13% para drenaje, y en el estado de Michoacán eran de 87.72% y 88.59%. La desigualdad entre los municipios del Estado de México se hace más patente en estas subcuencas y respecto del promedio estatal respectivo. En los principales centros urbanos, la cobertura de los servicios es sensiblemente mayor que en las numerosas
- y pobladas localidades rurales. La situación de los servicios de agua refleja y contribuye a la situación de marginación alta y muy alta que predomina en esos sitios.
8. **Aguas residuales.** De las aguas residuales que se producen en los 14 municipios, sólo 0.3 m³/s reciben alguna depuración en plantas de tratamiento municipales (esto es, un 27%), en tanto que 0.8 m³/s (el 73%) no reciben tratamiento o, en pocos casos, se vierten en fosas sépticas antes de descargarse al suelo o a cuerpos de agua.
 9. **Situación de los acuíferos.** De los tres acuíferos localizados en las subcuencas, sólo el de Ciudad Hidalgo presenta una condición de sobreexplotación.

2.1. Subcuenca Valle de Bravo

10. **Consumo y cobertura de los servicios.** En el municipio de Valle de Bravo se consumen 5.2 hm³/año para uso público, la mitad de los cuales se destina a localidades rurales. El 93% de las viviendas habitadas tiene agua potable y el 92% dispone de servicio de drenaje. Las fuentes de abastecimiento son superficiales, con 18 manantiales; la captación, conducción y distribución se realizan principalmente por gravedad. En el municipio de Amanalco las coberturas de agua potable y drenaje son de 80% y de 72%, respectivamente.
11. **Equipamiento y eficiencia del sistema de agua potable.** Las condiciones de instalación de los macromedidores en las obras de captación disponibles en el municipio de Valle de Bravo no son adecuadas. La regulación de la distribución del agua a las diferentes colonias se realiza mediante 33 tanques, cuyo estado no es apropiado, pues carecen de mantenimiento e impermeabilización sistemáticos. La mayor parte de la tubería de distribución es vetusta, lo que combinado con la presión variable entre 1.4 kg/cm² y 4.6 kg/cm² provoca importantes fugas. Además, de las 10,458 tomas domiciliarias sólo 3,524 cuentan con medidor. En 2013, la eficiencia física (volumen facturado/extraído) se estimó en 42%; como consecuencia, la suma del consumo no cobrado más las pérdidas en conducción y distribución alcanzó el 57.5% del volumen concesionado. Si bien el agua de Valle de Bravo se considera apta para consumo humano, aún requiere cloración el 25.5% del agua suministrada.

12. **Red de drenaje y descargas.** En Valle de Bravo la red de drenaje trabaja por gravedad y bombeo en cinco zonas topográficas; se estima una cobertura de 80% en la zona urbana. Existen alrededor de 100 descargas directas a barrancas. Una de las comunidades, Peña Pobre, descarga directamente al embalse de la presa, y las localidades de La Peña y Avándaro descargan hacia fosas sépticas, con riesgo de contaminación de los mantos freáticos.
13. **Plantas de tratamiento de agua residual.** Entre las cinco plantas de tratamiento de aguas residuales que hay en la subcuenca destacan El Arco (130 l/s), Amanalco (18 l/s) y Rastro Municipal (3 l/s). La primera, rehabilitada en 2012, tiene un proceso biológico mediante lodos activados, remoción de nutrientes y desinfección con radiación ultravioleta; sin embargo, presenta problemas de operación y mantenimiento en sus cárcamos de bombeo, así como dificultades de transporte para el manejo de los lodos producidos.

2.2. Subcuenca Villa Victoria

14. **Consumo y cobertura de los servicios.** En Villa Victoria se consumen 7.04 hm³/año netos para uso público, de los cuales 5.94 hm³/año son para localidades rurales y el resto para centros urbanos. El municipio de Villa Victoria tiene una cobertura de agua potable de 49% y de drenaje de 45%; las cifras bajas resultan más graves si se tiene en cuenta la importancia de esta subcuenca en el Sistema Cutzamala. Las localidades del municipio se abastecen de ocho pozos profundos, una galería filtrante y 17 manantiales. La cobertura de alcantarillado se encuentra muy por debajo de los promedios estatal y nacional.
15. **Drenaje y alcantarillado.** La cabecera municipal y las localidades de San Diego Suchitepec, Jesús María, San Pedro del Rincón y Mina Vieja cuentan con sistema de alcantarillado que conduce y vierte sus aguas sin tratamiento a la presa Villa Victoria. La localidad de Palizada dispone de drenaje sanitario, y también descarga sin tratamiento sus aguas residuales a una barranca y finalmente al río Salitre. La colonia Gustavo Baz cuenta con drenaje sanitario y vierte el agua residual al arroyo Chiquito.
16. **Plantas de tratamiento.** Villa Victoria dispone de dos plantas de tratamiento. La mayor es El Espinal, pero no funciona desde hace más de 10 años porque las poblaciones aledañas no tienen sistemas de recolección. Esta planta tiene una capacidad de 25 l/s y cuenta con pretratamiento, tratamiento biológico anaerobio, desinfección con hipoclorito y lechos de secado de lodos; por su condición de abandono, las instalaciones de la planta muestran un deterioro importante. Por otro lado, la planta de Las Peñas tiene una capacidad aproximada de 1.5 l/s y funciona mediante un proceso de aereación extendida en un reactor tipo carrusel y sedimentador secundario; sin embargo, el efluente se vierte semidepurado al embalse de Villa Victoria, pues actualmente el aereador no funciona.

2.3. Subcuenca Chilesdo-Colorines

17. **Consumo y cobertura de los servicios.** En esta cuenca se consumen 5.36 hm³/año para uso público, principalmente para las poblaciones rurales. El municipio de Donato Guerra tiene una cobertura de 68% en agua potable y de 57% en drenaje. En Villa de Allende esas coberturas son de 77% y 55%, respectivamente. En Donato Guerra, tanto la cabecera municipal como la localidad de San Simón de La Laguna cuentan con un pozo profundo y tanque propio, desde donde se abastece y se distribuye el agua por gravedad. En el municipio de Donato Guerra hay 14 localidades con manantial y tanque propio para un servicio por gravedad. Por otra parte, el municipio de Villa de Allende dispone de un pozo profundo, Los Berros, además de 40 manantiales y 40 tanques de regulación; todos son sistemas aislados con tanque propio.
18. **Drenaje.** La cabecera municipal de Donato Guerra y la localidad de San Francisco Mihualtepec cuentan con drenaje sanitario; las aguas residuales y las pluviales se vierten sin tratamiento a los ríos La Asunción y Amanalco, respectivamente. En Villa de Allende, la cabecera municipal y tres localidades son las únicas que disponen de drenaje sanitario y vierten sus aguas sin tratamiento al río Salitre.

2.4. Subcuenca Tuxpan

19. **Consumo y cobertura de los servicios.** En Tuxpan se consumen 15.22 hm³/año para uso público, de los cuales 4.82 hm³/año se emplean en comunidades rurales. De los seis municipios existentes, tres disponen de coberturas de agua potable del orden de 80%, uno de 70% y dos, Anganguero y Ocampo, inferior a 50%. Salvo en el caso de Ocampo (46%), el resto tiene una cobertura de drenaje de alrededor de 80%.

2.5. Subcuenca Ixtapan del Oro

20. **Consumo y cobertura de los servicios.** Para uso público se extraen 0.71 hm³/año en Ixtapan del Oro, asignados en proporciones semejantes a localidades rurales y centros urbanos. En agua potable se tiene un cobertura de 85%, mientras que en drenaje alcanza 70%. El abastecimiento de agua se obtiene de seis manantiales. En la cabecera municipal, San Martín Ocochichtepec y San Miguel Ixtapan tienen drenaje sanitario y descargan sin tratamiento el agua residual al arroyo El Aguacate.

2.6. Subcuenca el Bosque

21. **Consumo y cobertura de los servicios.** En El Bosque se extraen 13 hm³/año para uso público, de los cuales 2.6 hm³/año son para población rural y el resto para los centros urbanos. En el municipio de Zitácuaro las coberturas son de 84% para los servicios de agua potable y de drenaje.

22. **Eficiencia de la planta de tratamiento.** La planta de tratamiento de Heroica Zitácuaro es una de las de mayor capacidad en las subcuencas, con 267 l/s, de un total de diseño de 400 l/s. Procesa menos de 175 l/s por falta de infraestructura en el sistema de recolección, además de que se deriva agua residual cruda hacia tierras de cultivo. El tren de tratamiento dispone de una instalación de lodos activados por aereación extendida, un tanque de regulación, pretratamiento a base de rejillas gruesas, dos canales desarenadores y un vertedor proporcional. Los cilindros de gas cloro previstos para la desinfección se removieron y, en consecuencia, el efluente tratado no se desinfecta. Por las modalidades de operación, su eficiencia de remoción de contaminantes es baja. El tratamiento de lodos opera parcialmente, y la mayoría de los aereadores en los tanques digestores no funciona. En algunos tanques digestores se registra la presencia de algas. Como resultado de éstas y otras deficiencias, el tratamiento de lodos es prácticamente nulo.

2.7. ORGANISMOS OPERADORES

23. **Las tres localidades de mayor tamaño en las subcuencas —Ciudad Hidalgo, Heroica Zitácuaro y Valle de Bravo— cuentan con organismos formalmente constituidos.** Diversas organizaciones están a cargo del suministro del

agua a las pequeñas localidades; sólo en la subcuenca Valle de Bravo, existen 74 diferentes organismos de agua y drenaje, y en todos ellos se identificaron deficiencias en el cumplimiento de sus funciones.

2.8. Acuacultura

24. **Las extracciones con fines acuícolas suman 36.34 hm³/año para un total de 159 granjas registradas.** En este uso, relevante desde el punto de vista de la economía local y regional, sobresalen las subcuencas Tuxpan, con 74 unidades, y Valle de Bravo, con 71 granjas. Una buena parte de las explotaciones establecidas no cuentan con concesiones regularizadas; esto implica, por un lado, dificultades en la administración del agua en el contexto de veda existente y, por otro, conflictos entre usos y usuarios.

2.9. Riego

25. **Extracciones.** El gasto medio total de extracciones anuales para riego asciende a 3.5 m³/s dentro del Sistema y 3.4 m³/s fuera de él. La subcuenca Tuxpan registra el mayor gasto (1.3 m³/s); destacan también Chilesdo-Colorines (0.6 m³/s), El Bosque (1.2 m³/s) y Valle de Bravo (0.3 m³/s).

26. **Superficie irrigada.** En 2011, la superficie total bajo riego alcanzaba las 26,500 ha. De ellas, 18,400 ha se localizan en municipios de Michoacán, y las restantes 8,100 ha en entidades del Estado de México. El módulo 7 del Distrito de Riego 045 Tuxpan tiene una superficie de 2,293 ha (3,866 ha según la Serie V de INEGI) con 682 productores registrados. En su conjunto, el Distrito de Riego desempeña un importante papel en el desarrollo de los municipios correspondientes.

27. **Algunas dificultades.** En las zonas de riego el agua se distribuye mediante canales sin revestimiento. En el canal principal ha proliferado la instalación de tomas irregulares, lo que motiva conflictos frecuentes. Hay, además, problemas de organización de los usuarios, lo que genera dificultades de operación, administración y conservación de la infraestructura, y disminuye considerablemente la eficiencia y productividad del agua.

28. **Las tomas irregulares.** En el módulo 7 del Distrito de Riego 045 los cultivos han evolucionado hacia una producción orientada

exitosamente al mercado. No obstante, este desarrollo de la producción para el mercado ha favorecido la aparición de aprovechamientos no autorizados. Se observa, asimismo, la ocupación de zonas federales con propósitos productivos. Los productores del módulo 7 del Distrito de Riego 045 y de la unidad de riego Susupuato, ubicados en las proximidades de los canales Tuxpan-El Bosque-Colorines del Sistema Cutzamala, consideran que hay disponibilidad suficiente de agua para ser aprovechada por gravedad o por bombeo. De continuar el incremento de tomas irregulares, tanto los usuarios autorizados como la población servida por el Sistema podrían verse afectados. En el apartado de *Aspectos Hidroagrícolas* se expone esta situación con más detalle.

3. Transferencias de agua a las zonas metropolitanas

29. **Estado actual del suministro.** El caudal total de agua suministrada por el Sistema Cutzamala en el periodo 2006-2012 fue de 14.58 m³/s en promedio, con extremos de 15.40 m³/s en 2008 y de 12.68 m³/s en 2009. La aportación para uso público en el Estado de México fue de 5.55 m³/s (equivalente a una aportación total de 175 hm³/año) y para el Distrito Federal de 9.03 m³/s (284 hm³/año) en 2012. Reciben agua potable proveniente del Sistema 13 delegaciones en el Distrito Federal y 14 municipios en el Estado de México.
30. **Los costos de energía eléctrica consumida por las instalaciones del Sistema Cutzamala ascendieron a \$2,112 millones de pesos en 2012, equivalente a 77.5% de los costos totales de operación.**
31. **Prospectiva.** Un análisis reciente compara dos posibles trayectorias de balance físico en el suministro de agua a la ZMVM hacia 2030 (Banco Mundial, 2013). La primera es un escenario tendencial, sin cambios de eficiencia; la segunda es la que se obtendría con medidas para incrementar la eficiencia, la sustentabilidad y el abastecimiento de una manera equitativa. El déficit estimado para la primera trayectoria podría, según el estudio citado, reducirse a la mitad en el caso de optarse por la segunda trayectoria y las medidas necesarias. En ambas situaciones continuaría existiendo una brecha entre la demanda y la disponibilidad, siendo que en los dos casos se mantendría la actual sobreexplotación insustentable

de acuíferos locales. Tal déficit implica la necesidad de obtener nuevas fuentes en el mediano plazo o de reasignar el uso de fuentes existentes. Por esta razón, el Sistema Cutzamala continuará siendo un elemento clave en el abastecimiento a la población metropolitana.

4. Conflictividad

32. **Desigualdad social y acceso al recurso.** La carencia generalizada de servicios de agua y drenaje para una población con alta marginación y graves carencias es motivo de reclamos persistentes; constituye una fuente de conflicto entre organizaciones e individuos, por un lado, y entre ellos y las entidades de gobierno, por el otro, así como entre los diferentes usos y también entre localidades. En el apartado de *Panorama Socioeconómico y de Comunicación* se explica la relación que existe entre los distintos actores sociales y el origen de algunos conflictos por el acceso a los recursos y servicios de agua en el Sistema.
33. **Algunas percepciones.** Persisten percepciones que tratan de explicar por qué el recurso está fuera de alcance de algunos usuarios. Ciertas inconformidades evocan aprovechamientos con destino a terceros o a otros usos, en detrimento de la disponibilidad destinada a atender las necesidades locales; en otros términos, se trata de un reclamo por la desigualdad en el acceso al recurso, que expresa un sentimiento de injusticia.
34. **Con respecto a la transferencia de agua hacia otras cuencas, el análisis preliminar en terreno sugiere que no existe una idea compartida sobre el tema.** Como en otras causas de conflicto, la influencia y los liderazgos se construyen en torno a episodios específicos. Los impulsores de conflictividad y los espacios de resolución de controversias son diferentes en naturaleza, tiempo y forma. En realidad, la pobreza y la falta de oportunidades, así como las redes familiares y las disputas de interés sobre la tierra y su usufructo, son problemas más significativos que aquellos asociados directamente con la transferencia de agua.
35. **Los temas recurrentes.** Los conflictos asociados directamente con la existencia y operación del Sistema Cutzamala, que implica a grupos de población reducidos, incluyen reclamos de servicios de agua para uso doméstico o riego, afectación de terrenos, daños ocasionados

por instalaciones o la infraestructura, incumplimiento de convenios y prioridades en las oportunidades de empleo, o beneficios económicos derivados de obras y trabajos en el propio Sistema.

- 36. Movilizaciones.** Dos conflictos han destacado en la zona de estudio: en 1998, cuando estaba en proyecto la cuarta etapa del Sistema Cutzamala en Temascaltepec, y a principios de la primera década de 2000, con la denominada Movilización Mazahua. Estos movimientos evolucionaron hacia la reivindicación de la identidad étnica de los actores y mostraron una notable activación de redes de solidaridad y repercusión –incluso internacionales–. En espacios públicos más amplios, los grupos y comunidades movilizadas pudieron impugnar actos de política pública y transmitir su punto de vista con mayor repercusión.
- 37. Actores y grupos organizados.** Los conflictos por el agua son numerosos en las zonas de influencia del Sistema Cutzamala y en las áreas metropolitanas a cuyo abastecimiento contribuye. De un total de 1,542 hechos reportados por la prensa nacional en 1990, 2000 y 2010, 46% se registraron en esas áreas (27.3% en las primeras, 18.7% en las segundas). En esos tres momentos la conflictividad –principalmente asociada a las políticas de distribución del agua, por lo general con actores caracterizados como “vecinos” más que “partidos políticos”, “indígenas”, “agricultores”, entre otros– se mantuvo estable. El análisis muestra que la prensa caracterizó la mayoría de los conflictos como acciones individuales y, en menor medida, con un nivel de organización superior. La mayoría de las movilizaciones se dirigieron explícitamente contra entidades gubernamentales.

5. Conclusiones

- 38.** Todos los problemas identificados en este apartado se relacionan con el estado de los recursos suelo, agua, bosques, medio ambiente y energía, y su nivel de degradación.
- 39.** La administración del agua en las subcuencas se enmarca en el decreto de 2011, que establece la veda para la cuenca del río Balsas y todas sus subcuencas. Las reservas establecidas en ese decreto para los estados de México y de Michoacán ascienden a 68.403 hm³/año y 57.757 hm³/año, respectivamente.
- 40.** En 2014 se identificaron en la subcuenca 1,575 concesiones y asignaciones de agua superficial (703.37 hm³/año) y 84 de agua subterránea (32.141 hm³/año). Los permisos sobre descargas de aguas residuales sumaban 50, de los cuales 25 se referían a servicios, 12 a acuicultura y el resto a otros usos. De acuerdo con el uso, el mayor número de concesiones corresponden al uso público urbano (552, con 27.565 hm³/año), seguido por el uso agrícola (320, con 64.158 hm³/año) y la diferencia corresponde a otros usos, como pecuario, doméstico, servicios y otros.
- 41.** El total de las extracciones del Sistema consideradas en los balances hídricos asciende a 651 hm³/año. En cuanto a los usos del agua, sobresalen los usos netos para fines agrícolas dentro del Sistema en las 26,500 ha de riego (110 hm³/año), seguidas de las de uso público neto, con 46.1 hm³/año (19.2 hm³/año para población rural y 26.9 hm³/año para población urbana), y 6 hm³/año netos para los usos en 159 granjas acuícolas registradas. Esas cifras pueden compararse con los 432 hm³/año concesionados a las zonas metropolitanas del Distrito Federal y del Estado de México en 2012.
- 42.** De los tres reservorios de aguas subterráneas en las subcuencas, el de Ciudad Hidalgo registra una importante sobreexplotación.
- 43.** En la medida en que se consoliden las actividades del Registro Nacional de Derechos de Agua y del Banco del Agua en su servicio a los diferentes usuarios de las subcuencas, se cimentarán las bases para un futuro desarrollo sustentable.
- 44.** La situación de los servicios de agua potable, drenaje y alcantarillado en las subcuencas es reflejo de una condición nacional. La especificidad reside en que, en su conjunto, las subcuencas son aportadoras de agua en beneficio de otras subcuencas desde hace décadas, y los municipios allí localizados muestran una condición de rezago mayor que el promedio de sus respectivos estados.
- 45.** El caudal transferido por el Sistema Cutzamala hacia las zonas metropolitanas del Estado de México y del Distrito Federal registró un gasto de 14.58 m³/s en 2012, de los cuales 9.03 m³/s se entregaron al Distrito Federal y 5.55 m³/s al Estado de México, con un costo de operación de \$2,724 millones de pesos (77.5% por concepto de energía eléctrica).

Con una perspectiva hacia 2030, esos caudales, considerados sustentables, continuarán siendo esenciales para las actividades de la población en ambas zonas metropolitanas.

46. Del análisis efectuado en este apartado y en el de *Panorama Socioeconómico y de Comunicación* se advierte que no es clara la conexión entre la transferencia de agua, las instalaciones y su operación con los conflictos y movilizaciones sociales. Existen, sí, reivindicaciones de larga data y otras más recientes (por ejemplo, compensaciones e indemnizaciones) vinculadas directamente con el Sistema y su gestión,

y con el estilo de esa gestión en relación con las poblaciones.

47. Otras reivindicaciones y conflictos entre usos y usuarios, incluso los de mayor repercusión pública en los últimos años, forman parte de una problemática social más amplia, propia de la condición de pobreza y marginación que caracteriza a la mayoría de una población que crece rápidamente y sin oportunidades en las subcuencas. Sin embargo, no por ello deben ignorarse como un importante factor en la evolución del Sistema hacia la sustentabilidad.



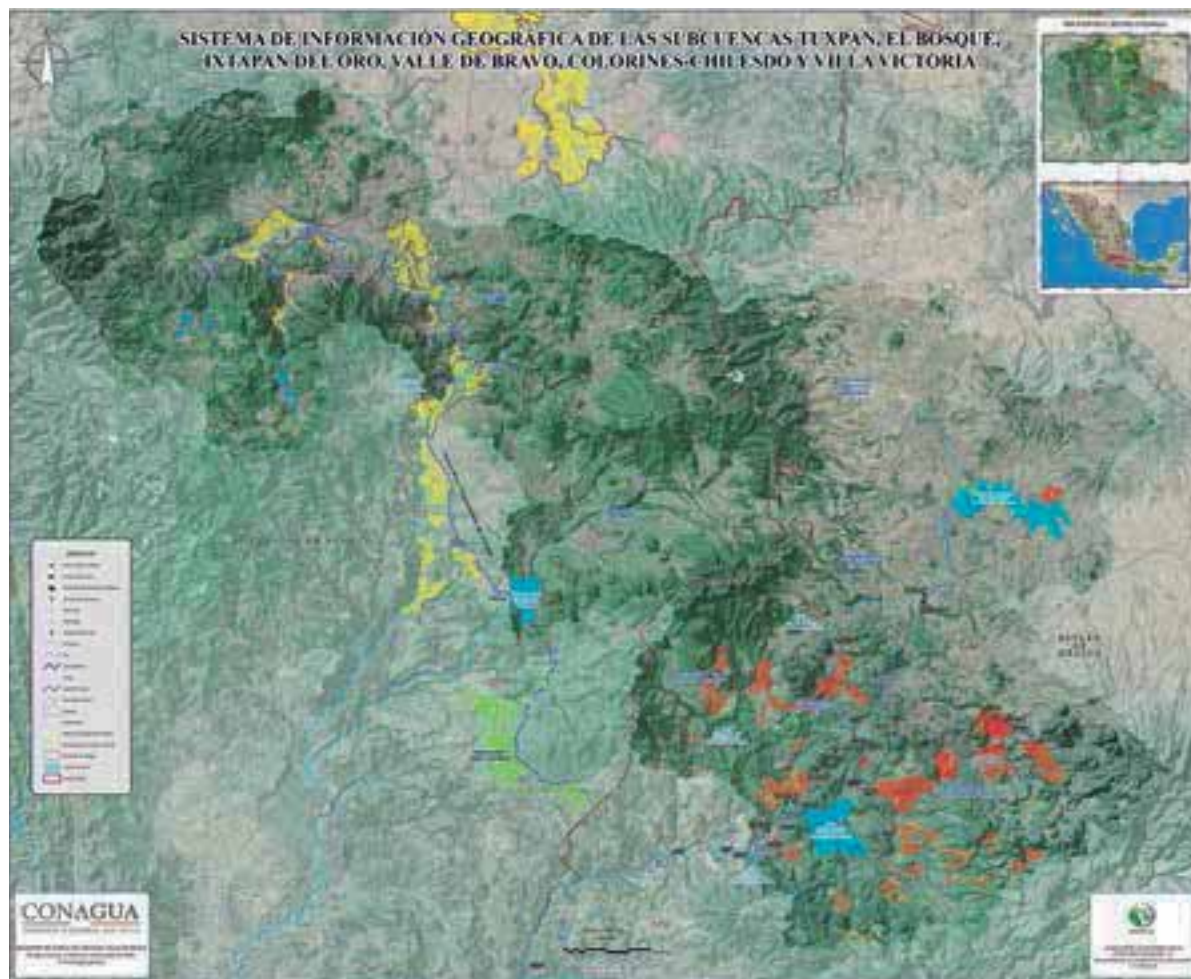
Aspectos Hidroagrícolas

Este apartado muestra cómo la agricultura de riego ha tendido a ampliarse hasta alcanzar 26,509 hectáreas dentro de las subcuencas y 8,046 hectáreas fuera de ellas. El análisis de las superficies de riego se realizó con base en los mapas de Uso de Suelo y Vegetación (INEGI); en especial se consideraron las series I (1980) y V (2011), ya que representan la primera y la más reciente versión disponible. Se utilizó también la información del Distrito de Riego 045 y en particular de su módulo 7, así como de algunas unidades de riego próximas al canal Tuxpan-El Bosque-Colorines, que son representativas de las características de otras áreas de riego en las subcuencas del Sistema Cutzamala. El apartado señala que, impulsado por las fuerzas del mercado, las ventajas comparativas de las áreas en cuestión y la disponibilidad de agua —en muchas ocasiones, sin regulación—, ese ímpetu requiere un esfuerzo de ordenamiento y de tecnificación.

1. Áreas de riego

1. **superficie irrigada.** En todas las subcuencas del Sistema Cutzamala se presentan áreas bajo riego, salvo en Villa Victoria (figuras 6.1 y 6.2). En esta última subcuenca la agricultura es casi exclusivamente de temporal. En las subcuencas se estima una eficiencia de riego de entre 35% y 40%. En el caso de las superficies irrigadas que se encuentran dentro del área de drenaje de cada subcuenca, entre 60% y 65% del agua utilizada regresa al río correspondiente y finalmente a una presa del Sistema. Por esta razón, el agua empleada para riego en las subcuencas afecta no sólo la cantidad colectada en cada presa, sino también su calidad.
2. **Riego dentro y fuera del Sistema.** Se distinguen dos áreas de riego en la región: las ubicadas físicamente dentro de las subcuencas del Sistema Cutzamala y las “externas”, servidas por dos canalizaciones que forman parte de la infraestructura del Sistema y están localizadas en la zona suroeste de las subcuencas y fuera de ellas. Esas dos canalizaciones transportan el agua entre las presas Tuxpan y Colorines. Una parte del agua de la presa Tuxpan se deriva por el canal Tuxpan-El Bosque, mientras que una cantidad menor es drenada por el río Tuxpan y es finalmente captada por la presa El Gallo. El segundo canal, El Bosque-Colorines, deriva el agua desde la

■ **Figura 6.1.** Superficies de riego en las subcuencas del Sistema Cutzamala.



(Fuente: COLMERN)

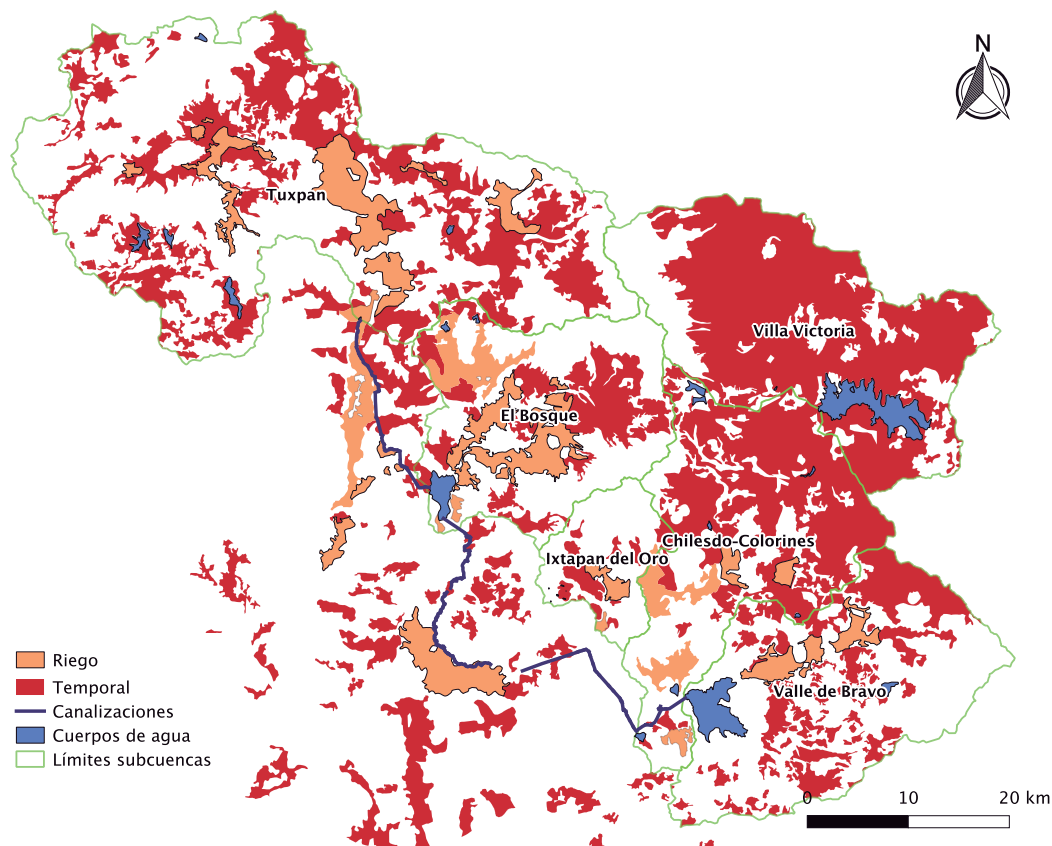
presa El Bosque hasta la presa Colorines mediante canales abiertos, túneles y sifones. En las cercanías de ambos canales se encuentran zonas de riego (unidades de riego y una parte del Distrito de Riego 045) que aprovechan el agua extraída de la infraestructura del Sistema Cutzamala y drenan las aguas excedentes hacia la cuenca baja del río Cutzamala. Por ello, las zonas bajo riego que se encuentran en esta área compiten por la cantidad de agua transportada hacia la ZMVM y la ZMT. Muchas de las áreas de riego que captan agua de los canales mencionados son irregulares y se sirven de mangueras sifonadas de los canales del trasvase.

3. **El Distrito de Riego 045: entre dos cuencas.** Una parte de la superficie del Distrito de Riego 045 se sitúa en la cuenca del río Lerma (unidad Maravatío) y otra parte dentro del Sistema Cutzamala (unidad Hidalgo). La unidad Hidalgo está integrada por los módulos 4, 5, 6 y 7. Los módulos 4, 5 y 6 están en el área de

la subcuenca Tuxpan, mientras que el módulo 7 se sitúa hacia el sur de la presa Tuxpan y fuera de las subcuencas del Sistema. El módulo 7 aprovecha parte del agua transportada por el canal Tuxpan-El Bosque (Figura 6.3). Estos módulos de riego cuentan con asociaciones de usuarios constituidas por la CONAGUA, con títulos de concesión basados en la Ley de Aguas Nacionales.

4. **Dos unidades de riego.** Las unidades La Mora-La Florida y Susupuato de Guerrero reciben agua del Sistema Cutzamala por la presa El Bosque y el canal El Bosque-Colorines. La toma de agua para la unidad La Mora-La Florida se sitúa en la mencionada presa. La unidad Susupuato aprovecha el agua del canal El Bosque-Colorines (Figura 6.4). Algunas características de estas unidades de riego se presentan en la Tabla 6.1.
5. **Incremento significativo.** Entre 1980 y 2011 se observa un notable incremento (45%) de

■ **Figura 6.2.** Uso agrícola en las subcuencas del Sistema Cutzamala y sus alrededores: riego y temporal



(Fuente: INEGI, 2011)

■ **Tabla 6.1.** Características principales de las unidades de riego y del Distrito de Riego 045 (unidad Hidalgo)

Localización	Nombre	Tipo ¹	Ubicación	Riego (ha) ²	Subtotal
En las subcuencas	Módulo 4	DR	Tuxpan	1,965	7,818
	Módulo 5	DR	Tuxpan	4,063	
	Módulo 6	DR	Tuxpan	1,461	
	Módulo 7	DR	Tuxpan	329	
Fuera de las subcuencas	Módulo 7	DR	Canal Tuxpan-Bosque	3,866 (*)	8,046
	La Florida-Mora	UR	Canal Bosque- Colorines	629	
	Susupuato	UR	Canal Bosque- Colorines	3,551 (*)	
	Total				15,864

¹ DR = Distrito de riego, UR = Unidad de riego; 2

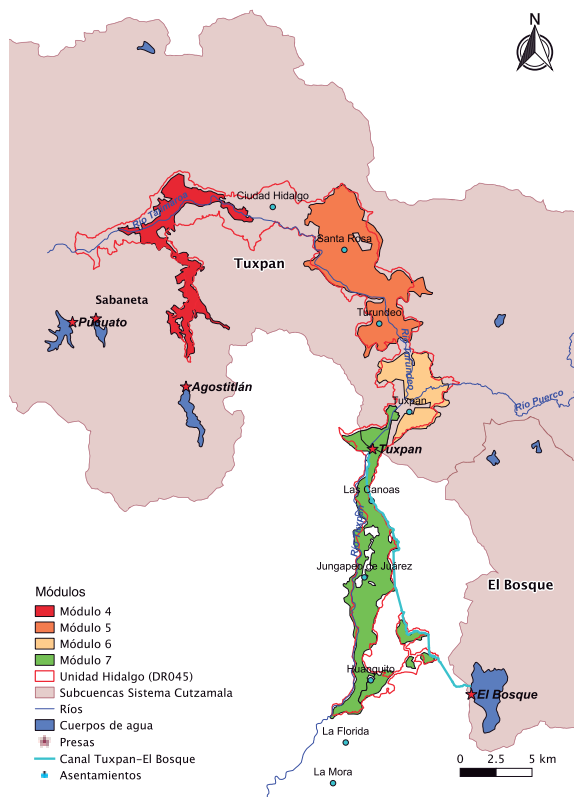
(*) Los datos de COLMERN. Noviembre 2014 indican áreas que difieren sustancialmente de los datos de INEGI: 2,691 ha para el módulo 7 fuera de la subcuencas, y 1,515 ha para la Unidad de Riego Susupuato.

(Fuente: INEGI Serie V, 2011)

las áreas de riego en el territorio del Sistema Cutzamala (figuras 6.5 y 6.6), particularmente en las subcuencas El Bosque (268%), Chilesdo-Colorines (63%) e Ixtapan del Oro (778%), así como una disminución en la subcuencas

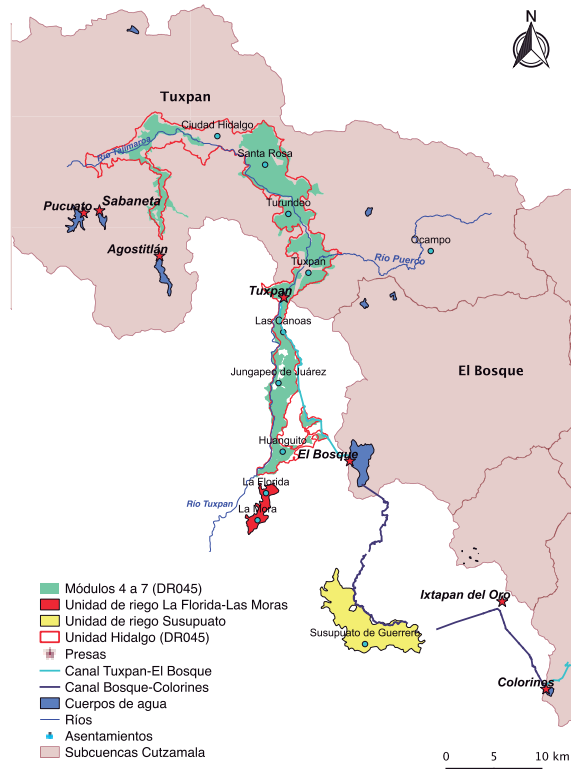
Tuxpan (-10%). En términos absolutos, el mayor crecimiento se ha dado en la subcuencas El Bosque, con 66 km² del total de 82 km² de incremento neto. Esta situación se debe principalmente a la rentabilidad que obtienen los

■ **Figura 6.3. Ubicación de los módulos de riego de la unidad Hidalgo del Distrito de Riego 045**



(Fuente: elaboración propia)

■ **Figura 6.4. Ubicación de la unidad Hidalgo del Distrito de Riego 045 y las unidades de riego**



Nota: Las interrupciones en el trazo de algunas líneas de los canales se deben a deficiencias en la información de base.

(Fuente: elaboración propia)

■ **Tabla 6.2. Riego (ha) en la zona del Sistema Cutzamala (1981-2011)**

Subcuenca	Impacto	INEGI I 1980	INEGI V 2011	Cambio 1980-2011
El Bosque	Presas respectivas	24.42	90.04	65.62
Chilesdo-Colorines		27.43	44.62	17.19
Ixtapan de Oro		1.18	10.36	9.18
Tuxpan		105.2	94.3	-10.9
Valle de Bravo		25	25.74	0.74
Subtotal		183.23	265.06	81.83
Módulo 7	Tuxpan-El Bosque	13.45	38.66	25.21
La Florida	El Bosque-Colorines	1.33	6.29	4.96
Susupuato	El Bosque - Colorines	0	35.51	35.51
Subtotal		14.78	80.46	65.68
Total		198.01	345.52	147.51

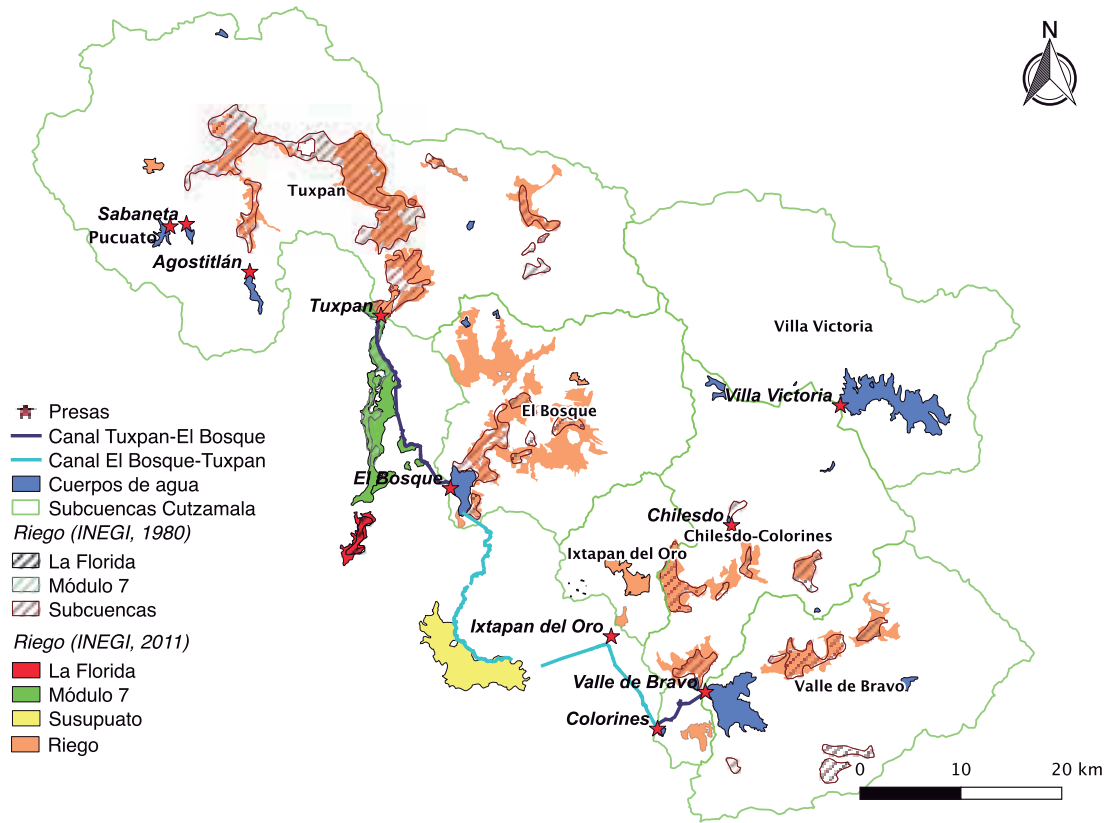
(Fuente: INEGI Serie I y Serie 5, 1981 y 2011)

productores con los cultivos de guayabo, chayote y fresa.

6. **Áreas fuera del Sistema Cutzamala.** Por lo que se refiere a las áreas irrigadas fuera de las subcuencas del Sistema, el crecimiento ha sido también significativo: aumentó un 533%, al

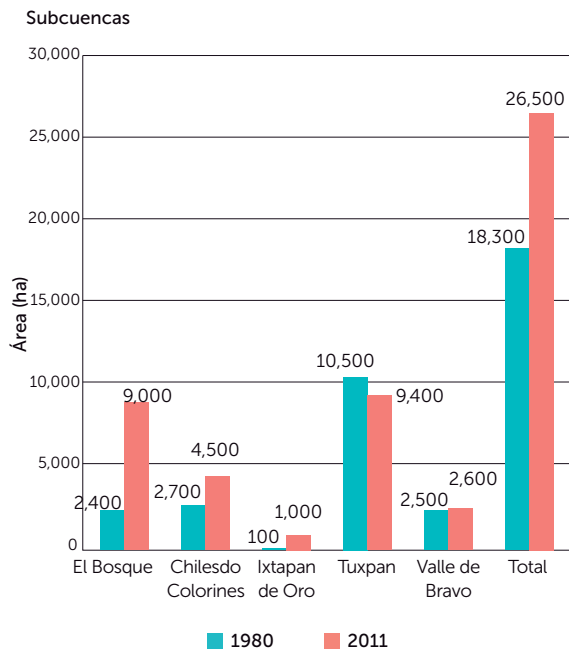
pasar de 15 km² a 80 km², como se muestra en las figuras 6.5 y 6.6. En particular, el módulo 7 ha crecido al triple y el módulo Susupuato lo ha hecho desde cero hasta 36 km². En este caso, el aumento se debe en gran medida al interés de los productores por el cultivo de guayaba.

■ **Figura 6.5.** Cambios de las áreas irrigadas en las subcuencas del Sistema Cutzamala y sus alrededores



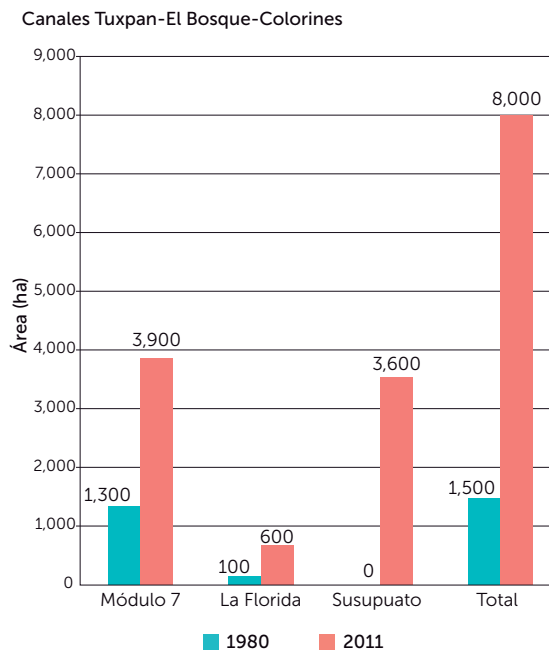
(Fuente: INEGI, 2011, zonas llanas; y 1980, zonas rayadas)

■ **Figura 6.6.** Cambios en las áreas irrigadas dentro de las subcuencas del Sistema



(Fuente: INEGI, 1980, 2011)

■ **Figura 6.7.** Cambios en las áreas irrigadas "externas" servidas por los canales Tuxpan-El Bosque y El Bosque-Colorines



(Fuente: INEGI, 1980, 2011)

1.1. Distrito de riego 045

7. **superficie total.** El Distrito abarca una superficie de 19,696 ha y corresponde a dos subcuencas identificadas por las unidades Maravatio (en la cuenca del río Lerma) e Hidalgo (en la cuenca del río Balsas). De la superficie dominada, 18,722 ha son irrigadas por gravedad y 1,464 ha por bombeo de pozos; a esas áreas corresponden dos grupos de usuarios: 5,674 en el primero y 471 en el segundo.
8. **Unidades Maravatio e Hidalgo.** La unidad Maravatio dispone de 9,759 ha en tres módulos (1, 2 y 3), cada uno de los cuales está concesionado a una asociación de usuarios. Por su parte, la unidad Hidalgo cuenta con 9,937 ha en cuatro módulos (4, 5, 6 y 7), en concesión a otras tantas asociaciones. En el territorio de esta última unidad, el río Taximaroa es la corriente más importante; existen cuatro presas y algunos manantiales.

1.1.1. Fuentes de abastecimiento y volúmenes concesionados

9. **Fuentes de abastecimiento.** La Tabla 6.3 muestra las fuentes de abastecimiento de agua del Distrito.
10. **Estructuras de control.** La Figura 6.8 permite localizar las estructuras que corresponden al módulo 7 de este Distrito.
11. **Concesión de agua.** El volumen total concesionado al Distrito es de 239 hm³/año; el promedio utilizado en el periodo 2007-2013 fue de 179 hm³/año. La eficiencia de conducción varía según los módulos, pero no supera en ningún caso un máximo de 66.5% en el mes de

octubre en el módulo 7, y en promedio oscila en torno a 61% según los meses.

12. **Eficiencia.** A nivel parcelario, la eficiencia estimada para el conjunto del Distrito es de 34% como máximo. El índice de agua entregada varía de 8,600 m³/ha a 10,200 m³/ha; a su vez, el indicador de agua entregada por tonelada producida oscila entre 0.68 y 1.06, lo que equivale a 900 m³ por tonelada de producción. En cuanto al índice de productividad del agua, se calcula en \$1.90 pesos de producción por m³ utilizado.

1.1.2. Patrón de cultivos

13. **superficie sembrada.** En los últimos ciclos agrícolas el patrón de cultivos ha permanecido estable. En el ciclo otoño-invierno predomina la avena forrajera, y en primavera-verano, cultivos perennes como guayabo y fresa. La superficie sembrada en el primer ciclo ha oscilado en los últimos 5 años entre 7,000 y 8,000 ha, con tendencia declinante. En primavera-verano esta superficie fue de alrededor de 4,600 ha en 2007-2008, y descendió a un poco más de 3,000 ha. Los perennes plantados ocupan aproximadamente 4,900 ha y tienden a aumentar ligeramente. En segundos cultivos, la superficie llega a 1,000 ha. Los volúmenes brutos de riego se indican en la Figura 6.9.

1.1.3. Dificultades

14. **Estado de la infraestructura.** Las redes de distribución están construidas en lecho de tierra, y los canales revestidos se encuentran en mal estado. La carencia de mantenimiento preventivo es generalizada. El canal Tuxpan-El Bosque tiene una sola estructura de control;

■ **Tabla 6.3. Fuentes de abastecimiento del Distrito de Riego 045**

Módulo	Fuentes de abastecimiento	Volumen anual (hm ³)
1	Derivaciones directas del río Lerma y pozos profundos	68.00
2	Laguna del Fresno, La Cortina, Torre Blanca, manantiales y pozos profundos	17.50
3	Presa Tercer Mundo	15.00
4	Presas Pucuató, Sabaneta y Agostitlán, y derivaciones en el río Taximaroa	39.60
5	Manantiales Santa Rosa, arroyos del Diablo y San Lorenzo	25.50
6	Derivaciones en los ríos Taximaroa y Puerco	33.34
7	Derivaciones del canal Tuxpan-Bosque	40.00
Total		238.94

(Fuente: CONAGUA, 2014)

16. **Baja rentabilidad.** En términos generales, el 88.5% de los productores dispone de una tenencia no mayor de 4 hectáreas y declaran que no alcanzan una rentabilidad suficiente. Por su lado, las asociaciones enfrentan graves dificultades de financiamiento y no logran cumplir satisfactoriamente con las responsabilidades establecidas en los títulos de concesión.

1.2. Módulo 7 Canoas-Huanguitío

17. **Superficie.** Este módulo dispone oficialmente de 2,293 ha de riego en seis secciones aprovechadas por 682 usuarios registrados, de los cuales 519 (1,736 ha) participan del régimen de tenencia ejidal y 163 (557 ha) del régimen privado. Existen además usuarios no registrados (en ambos regímenes de tenencia) en las seis secciones, con una superficie adicional de 398 ha. Por ende, el área efectivamente bajo riego asciende a alrededor de 2,700 ha.

18. **Producción.** En 2013 la producción dominante incluía guayabo (1,740 ha), chayote (200 ha) y frutales asociados (178 ha).

1.2.1. Volúmenes concesionados

19. **Presiones sobre la disponibilidad.** La concesión para el módulo 7 es por 40 hm³ provenientes de escurrimientos superficiales de los ríos Taximaroa y Aporo, así como de algunos arroyos y parcialmente de las presas Pucuat, Agostitlán y Sabaneta. El volumen promedio anual utilizado entre 2003 y 2013 fue de 37 hm³. Las demandas de algunos cultivos en suelos someros, como chayote y guayabo, tanto como la mayor superficie mencionada inciden en un incremento de la presión sobre las disponibilidades. A esa presión se agrega la que proviene del crecimiento de los usos públicos en arroyos y manantiales. Los volúmenes disponibles en las presas no podrían sostener el área efectivamente regada.

1.2.2. Dificultades

20. **Operación.** La infraestructura es operada de manera ineficaz. Los usuarios establecen separadamente el orden y las prioridades del plan de riegos. Algunos de ellos optan, de hecho, por una modalidad de gasto constante, sin aplicación de un criterio de turnos entre las parcelas ni reconocimiento de las exigencias originadas en la topografía del área. Con

el argumento de que una mayor eficiencia significa aumento de disponibilidad para la transferencia entre cuencas, muchos productores se oponen a que se impulsen mejoras en la distribución y la aplicación del riego.

21. **Conflictividad.** La asociación civil no tiene ni la capacidad ni los recursos apropiados para ejercer su función en un ambiente conflictivo. En el área del módulo se ha constituido una organización no reconocida oficialmente, que se opone a los acuerdos y disposiciones de la asociación civil; esta situación acentúa las dificultades de gestión.

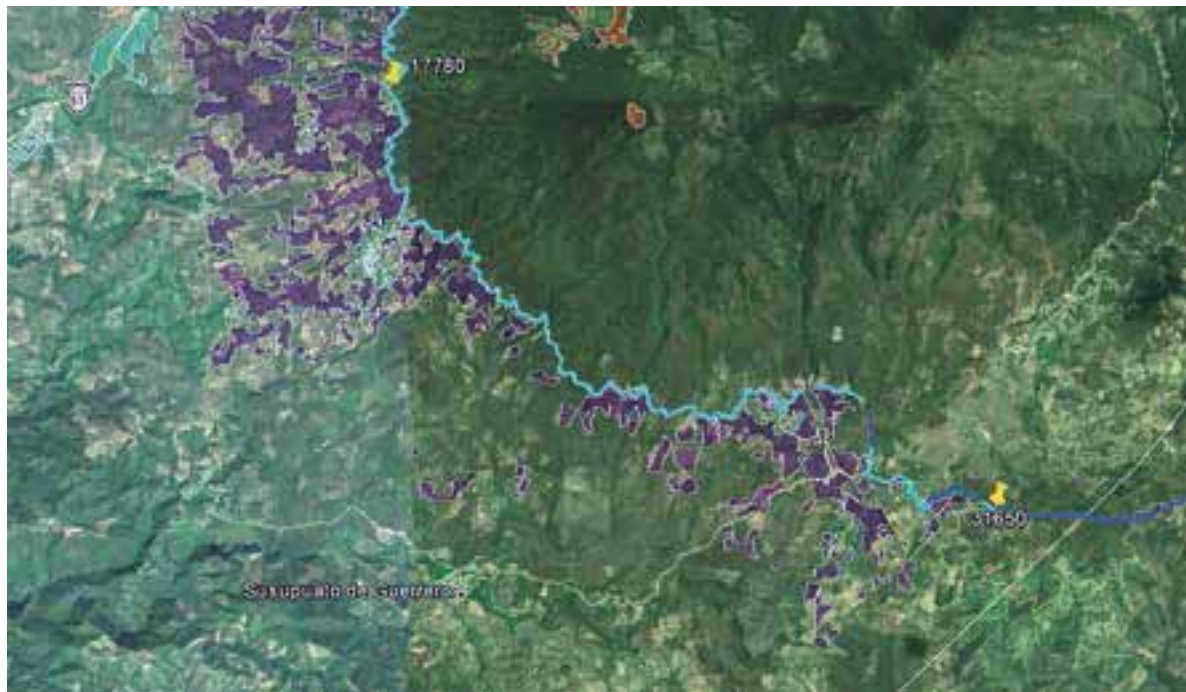
1.3. Unidades de riego

22. **numerosas unidades.** De acuerdo con la información disponible, las unidades de riego son 47 en total, entre autorizadas y no autorizadas, en el área de las presas Tuxpan, El Bosque y Colorines. El volumen utilizado por estas unidades alcanza los 43.569 hm³/año.

23. **Canal La Florida.** Esta pequeña estructura de 6 kilómetros tiene su bocatoma en la presa El Bosque; se utiliza para el riego de aproximadamente 800 ha de guayabo sin infraestructura y sin una organización oficialmente reconocida.

24. **Unidad de Riego Susupuato.** También dedicada casi por entero al guayabo, esta unidad dispone de 1,514 ha. Sin autorización, el agua (en los hechos concesionada al Sistema Cutzamala) se extrae por mangueras del canal El Bosque-Colorines. Los sistemas de riego no son eficientes. Debido al interés por el cultivo de guayabo, la presión por establecer nuevas áreas de producción se incrementó notablemente, lo que impactó también el gasto en el canal Tuxpan-El Bosque. La solución a un proceso tan desordenado e ilegal consistió en establecer 13 bloques de riego en 29 kilómetros del canal El Bosque-Colorines para la superficie mencionada, con un volumen estimado de 15 hm³ y un total de 1,113 productores. A la fecha de este diagnóstico, como se indica más adelante en este apartado, la instalación de los nuevos sistemas de riego tecnificado y la formación de la asociación de usuarios receptora de una nueva concesión estaba a punto de culminar. No obstante, se informa de la existencia de alrededor de 240 ha que no fueron incluidas en el proyecto de solución o que se abastecen de manantiales o que son de reciente plantación, y se prevé que constituirán una fuente de dificultades futuras.

■ **Figura 6.10.** Áreas de riego en Susupuato, a lo largo del canal principal



(Fuente: Google Earth)

25. **Tomas irregulares.** Desde la década de 1990 y con tendencia creciente, se observan tomas irregulares en los canales Tuxpan El Bosque y El Bosque-Colorines; en la actualidad, se han detectado 1,403 tomas irregulares. Los diámetros de las mangueras empleadas van desde 1" hasta 6". La mayoría tiene propósitos agrícolas, aunque hay algunas para abrevaderos de ganado y otras para uso doméstico. Un estudio reciente (PROINFRA, 2013) contabiliza hasta 1,459 tomas de esta clase (1,028 de las cuales están en el canal El Bosque-Colorines, 429 en el canal Tuxpan-El Bosque y 2 en el canal Héctor Martínez de Mesa). Una porción de estas tomas se ubican en la margen izquierda del canal y requieren bombeo para el riego de frutales. De continuar esta tendencia se agravaría la situación, puesto que la rentabilidad del cultivo permite cubrir los costos de energía.

1.4. **Tendencias y problemas relacionados con la eficiencia y objetivos de la infraestructura**

26. **eficiencia.** El análisis de las eficiencias actuales y previsibles con programas de modernización de las técnicas y de las prácticas de gestión de riego sugiere que pueden alcanzarse importantes ahorros de agua en las áreas de riego consideradas, en particular en las áreas que

usan en su mayoría riego por gravedad. En el caso del módulo 7, es posible pasar de una eficiencia actual de 34% a una de 64%. En la superficie autorizada (2,293 ha) se ahorrarían 18.4 hm³/año, equivalentes a un gasto anual de 0.584 m³/s. En el área no regularizada (398 ha en el módulo 7; 1,514 ha en la zona aledaña al canal El Bosque-Colorines, y 195 ha fuera del módulo 7) el ahorro con el aumento de eficiencia alcanzaría 18.9 hm³/año o un gasto anual de 0.601 m³/s. En total, el ahorro en las 4,400 ha generaría una disminución en la demanda de 37.4 hm³/año (comparado con el consumo total actual de estas áreas, que es de 80.8 hm³/año) o un gasto anual de 1.185 m³/s.

27. **Demanda estacional.** El canal Tuxpan-El Bosque opera sujeto a la demanda de agua de riego entre los meses de noviembre y julio. En cambio, durante la época de lluvias, esta infraestructura tiene limitaciones para contribuir, como es su objetivo, al servicio del Sistema Cutzamala. La razón reside en la combinación de los siguientes factores: la presa derivadora no tiene capacidad de regulación y almacenamiento; el canal tiene una capacidad limitada de conducción en periodos de precipitación; en esos periodos, opera para el almacenamiento en la presa El Bosque y frecuentemente suspende la transferencia para trabajos de mantenimiento (que se realizan en

ese momento por las exigencias de riego durante el estiaje).

28. **Vialidades.** Los caminos de servicio en el canal Héctor Martínez de Mesa generan un alto riesgo de accidentes en los cruces carreteros. Un tráfico que se incrementa con el transporte de personas y de carga, eventualmente de productos contaminantes, en las proximidades de la planta Los Berros agrava la situación. Los canales requieren protección adicional, y la vialidad señalamientos y pretilos. La presencia de claros continuos desde la obra de toma propicia el acceso de la población para actividades que reducen la cantidad de agua y deterioran su calidad.
29. En el caso de los canales Tuxpan-El Bosque y El Bosque-Colorines, existen tramos sin protección adecuada, lo que aumenta el riesgo de accidentes carreteros en las vías cercanas.

2. Consumo de agua en la agricultura de riego

30. **lámina de riego.** Al aumentar las áreas de riego se incrementa también el consumo de agua. La Tabla 6.3 presenta el volumen de consumo de agua para riego, considerando una lámina bruta de 1.2 m/año dentro de las subcuencas, y de 1.4 m/año fuera de ellas. También se presentan los volúmenes de agua distribuidos, considerando una eficiencia de riego igual a 35% en las subcuencas (es decir, 65% del agua utilizada para riego regresa al Sistema). En las áreas fuera de las subcuencas todo el líquido se pierde hacia la cuenca baja del río Cutzamala. La alta lámina de riego se explica por el tipo de cultivos (en gran medida perennes), por el sistema de riego empleado (con tomas de manguera sin control desde el canal principal) y por la topografía predominante (con alta pendiente).
31. **Considerando una lámina bruta de 1.4 m/año, la zona cultivada fuera de las subcuencas consume aproximadamente 3.4 m³/s.**

3. Situación y perspectivas de la irrigación en las subcuencas

32. **expansión creciente.** En los últimos 35 años se ha registrado una expansión creciente y desordenada del riego; esta situación es preocupante.

■ **Tabla 6.4. Consumo medio anual y retornos de riego (m³/s)**

Subcuenca	Consumo bruto por riego (1980)	Consumo bruto por riego (2011)	Retornos de riego (2011)
El Bosque	0.93	3.43	2.23
Chilesdo-Colorines	1.04	1.70	1.10
Ixtapan de Oro	0.04	0.39	0.26
Tuxpan	4.00	3.59	2.33
Valle de Bravo	0.95	0.98	0.64
Subtotal	6.97	10.09	6.56
Módulo 7	0.51	1.7	0.0
La Florida	0.05	0.24	0.0
Susupuato	0.00	1.5	0.0
Subtotal	0.56	3.44	0.0
Total	7.53	13.53	6.56

(Fuente: elaboración propia)

Con base en el conocimiento actual, es preciso formular propuestas para avanzar hacia políticas complementarias para reducir riesgos y garantizar una sustentabilidad mayor de la oferta del agua al Sistema Cutzamala.

33. **Cuatro grupos de acciones necesarias.** Se han identificado cuatro grupos de acciones para mejorar la gestión del agua en el Sistema:
 - profundizar en el conocimiento y el seguimiento de la gestión del agua;
 - incrementar la información disponible para formular opciones de política racionales y efectivas para reducir los derroches;
 - fomentar la modernización y uso eficiente del riego, a partir de la experiencia recogida para eliminar derroches y controlar las extracciones de agua, y
 - estudiar la posibilidad de incrementar la capacidad de almacenamiento en la subcuenca de Tuxpan.
34. **Conocimiento y seguimiento de la gestión del agua.** Se han observado deficiencias en la medición del agua, incluyendo aforos e hidrometría en las subcuencas. Es recomendable que se defina un sistema de monitoreo en tiempo real y con registros en las presas, canales y derivaciones para su posterior análisis. En las presas Tuxpan, El Bosque,

Colorines, Pucuate, Agostitlán, Sabaneta y Valle de Bravo serían colectados los siguientes datos: los niveles y volúmenes, los vertidos y las derivaciones de las tomas. En los canales y sus derivaciones se registrarían caudales de entrada y salida, caudales en los puntos intermedios de derivación (tomas) y en algunos puntos críticos intermedios. Deberían incorporarse asimismo cámaras de vigilancia. Sería conveniente que este control se incorporara al dispositivo de supervisión del Sistema Cutzamala y que fuera transmitido por fibra óptica. En el apartado de *Infraestructura* se proponen diversas alternativas para mejorar la vigilancia de los equipos, instalaciones y obras. Además se requiere la preparación de protocolos de colecta, frecuencias de registros, informes de salida y análisis de datos.

35. **Información disponible para opciones de política.** Es necesario obtener más y mejor información sobre las áreas expansión del riego, como base para la formulación de políticas racionales y eficaces que limiten los derroches y frenen la ampliación desordenada. Esto requeriría la actualización del catastro de las áreas de riego consideradas en el apartado de *Balances Hídricos* obtenido de los mapas de uso actual del INEGI. El uso de imágenes recientes de los satélites *Rapid Eye* y *World View*, de alta resolución y procesadas por el COLMERN, permitiría afinar los datos e identificar las fuentes de agua utilizadas (manantiales, arroyos, pozos), así como linderos de fincas, caminos y tipos de cultivos. El COLMERN realiza para la CONAGUA una actualización a escala nacional de todas las unidades de riego; esta información podría ayudar a asignar prioridad al trabajo relacionado con las subcuencas del Sistema Cutzamala.

36. **Modernización y uso eficiente del riego basada en experiencias.** Sería conveniente avanzar en la experiencia de modernización de riego de la CONAGUA y el COLMERN en el proyecto Susupuato y aprovechar las lecciones aprendidas. Este proyecto puede ofrecer bases sólidas para impulsar la modernización del riego, tanto en las unidades “colgadas” a los canales del trasvase como en el módulo 7 del Distrito de Riego 045. Como se menciona en el apartado de *Infraestructura*, se estima que es necesaria una inversión de \$1,200 millones de pesos para permitir las acciones de tecnificación y reingeniería en tres áreas de riego clave: el Distrito de Riego 045, según el Plan Director del Distrito; las unidades de riego en el canal Tuxpan-El Bosque-Colorines, y las

unidades de riego ubicadas en las subcuencas de aportación al Sistema Cutzamala.

37. **La experiencia de Susupuato.** En el proyecto Susupuato, el establecimiento de los nuevos sistemas tecnificados está a punto de culminar y se ha formalizado la integración de una Asociación Civil de Usuarios. Los consumos actuales se estiman en alrededor de 25 hm³, mientras que con la tecnificación se utilizarían solamente 15 hm³. Se encuentran actualmente en inicio de operación cuatro zonas de riego: bloque 1 “El Tanque”, bloque 2 “La Loma”, bloque 7 “Santa Ana” y bloque 9 “Rancho Dos Ríos”. El punto de vista técnico del COLMERN sobre el funcionamiento de los sistemas de regadío localizado (microaspersión 95% y goteo 5%) se considera satisfactorio. La eficacia productiva agrícola, la economía de fertilizantes y la reducción de las láminas brutas de riego son significativas. En el caso del guayabo, cultivo que cubre cerca del 90% de la superficie, las láminas de riego aplicadas se reducirían a nivel parcelario de 1.3 m a 0.8 m, con una reducción promedio del 38.5%.

38. **Lecciones aprendidas.** Varias lecciones surgen en la etapa actual de este proyecto. Como los sistemas fueron diseñados para recibir agua continuamente en dosis menores y hacer rotación entre las parcelas, las aplicaciones actuales se encuentran por debajo de la condición óptima. En efecto, el agua en los canales tiene un régimen de oferta variable cada tres y hasta cinco días; además, el líquido extraído de manera irregular con mangueras tiene usos múltiples, puesto que se emplea también para uso doméstico y abrevaderos. Esta situación, cotidiana, induce a que los productores no retiren de manera definitiva sus mangueras mientras permanezca el régimen de oferta intermitente. Además, las tomas en los canales (del tipo rejillas transversales de fondo de canal) seleccionadas para los 13 puntos de toma tienen problemas de captura de lodos y depósitos sólidos en el fondo del canal; con ello se aumentan los costos de limpieza y operación de los prefiltros y filtros de los sistemas de riego presurizado. En la situación actual, con muchos módulos aún en fase de construcción, es difícil que los agricultores retiren las mangueras; por lo tanto, prevalecen las conductas que se quieren eliminar. Considerando estas experiencias, debería reconocerse que el periodo de construcción e instalación de los nuevos sistemas debe responder a una secuencia lógica que facilite el retiro de las mangueras.

39. **Modificaciones en el diseño.** La experiencia en curso y las lecciones aprendidas deberían suscitar adecuaciones en los sistemas de la unidad Susupuato y, más en general, ser aplicadas en los futuros diseños de modernización en las unidades de riego concesionadas en las subcuencas del Sistema Cutzamala (el módulo 7 del Distrito de Riego 045, la unidad La Florida y otras que pudiesen incorporarse a una indispensable tecnificación del riego). Las principales modificaciones en el diseño de los sistemas serían:
- instalar tanques reguladores de múltiples días en las diferentes zonas de presión entre 50 m y 100 m de desnivel en los distintos niveles de ladera, que varían hasta 300 m, y
 - aprovechar las presiones y los filtros en los sistemas de riego y derivarlos a tanques elevados para surtir agua filtrada para usos domésticos en los grupos residenciales, con empleo de pastillas para cloración.
40. **Ello implica separar el uso doméstico del uso hidroagrícola, así como una sólida organización de cooperación local.** Tales cambios pueden ser inmediatamente probados como experiencias piloto con las organizaciones interesadas. Estas acciones ofrecerán un interesante incentivo para el retiro definitivo de las mangueras, además de economías incrementales en los derroches de agua observados y que están creciendo significativamente sin control.
41. **Posible incremento de la capacidad de almacenamiento en la subcuenca Tuxpan.** Un incremento de esta capacidad en la parte alta de la subcuenca Tuxpan (Figura 6.4) contribuiría a satisfacer las necesidades actuales de riego y a consolidar las disponibilidades para el trasvase realizado por el Sistema Cutzamala. En este sentido, se visualizan dos acciones complementarias:
- iniciar acciones para la sobre elevación de las presas de Sabaneta y Agostitlán, que tienen vertidos frecuentes, para incrementar sus almacenamientos, y
 - realizar estudios de gran visión para cuatro nuevas presas en los sitios de Turundeo I, Turundeo II, Ocampo y Guarámbaro.
42. Estas acciones permitirían en conjunto alcanzar alrededor de 40 hm³ adicionales de almacenamiento.
4. **Conclusiones**
43. La expansión rápida y desordenada del riego detectada en los balances hídricos de las subcuencas del Sistema Cutzamala —y fuera de ellas, pero alimentadas con agua aportada por las mismas subcuencas— constituye un obstáculo para la sustentabilidad de toda la cuenca hacia el umbral prospectivo del año 2030; es también un motivo de competencia evidente por el recurso y, en particular, un riesgo para la disponibilidad hídrica para todos los usos, incluyendo el trasvase del Sistema Cutzamala.
44. En el Distrito 045, varios módulos, incluido el número 7, utilizan agua dentro de la cuenca del Sistema Cutzamala. La eficiencia estimada es de 34%, con un patrón de cultivos exigente en materia de agua. En el conjunto de las áreas de riego analizadas dentro del módulo 7, y de la Unidad de Riego Susupuato, se ha calculado un volumen de 80.8 hm³/año. Con la eficiencia apuntada ello significa que se pierden anualmente 53.0 hm³ a causa del mal manejo y las modalidades de aplicación del agua.
45. Las captaciones irregulares para riego en dos canales, Tuxpan-El Bosque y El Bosque-Colorines, ascienden a 1,459 tomas irregulares, lo que confirma una tendencia creciente impulsada por las expectativas de los productores y los atractivos de mercado. La operación actual de los canales, principalmente en la época de estiaje, no favorece el impulso de prácticas de mayor tecnificación y eficiencia; la persistencia de prácticas de cultivo y manejo del agua sin el nivel técnico apropiado contribuye asimismo a incrementar la presión sobre las disponibilidades de líquido en las subcuencas.
46. La continuidad y el refuerzo a programas de mejoramiento en marcha podrían significar un ahorro de agua estimado en 37.4 hm³/año, equivalentes a 1.185 m³/s. Se requiere actualizar el Plan Director del Distrito de Riego 045 en sus módulos 4, 5, 6 y 7, revitalizar la transferencia efectiva a las asociaciones de usuarios con mejoramiento parcelario y obras interparcelarias, y ofrecer asistencia técnica intensiva y permanente a los productores. En el mismo sentido, la experiencia, las lecciones aprendidas y las sugerencias correctivas en el actual proyecto de tecnificación del riego en la unidad Susupuato proporcionan una base interesante para la expansión indispensable del esfuerzo de modernización del riego en todas las subcuencas.

47. Las modalidades actuales en la operación del canal Tuxpan-El Bosque, sujeto en prioridad a la demanda del riego, afectan la aportación de agua al Sistema Cutzamala durante los periodos de lluvia. Una mayor coordinación entre el OCAVM y el Distrito de Riego 045 es esencial para modificar esas prácticas, así como también su implicación en la tecnificación del riego en las unidades existentes.
48. Sería conveniente retomar la buena práctica de realizar inspecciones regulares de las presas y otras instalaciones por parte del Consultivo Técnico de la CONAGUA o, en su caso, por empresas especializadas.
49. El análisis de aumento de la capacidad de almacenamiento en la parte alta de la subcuenca Tuxpan tiene una importancia estratégica para satisfacer las necesidades conjuntas del riego y el trasvase de agua. Probablemente las mejores opciones son considerar la sobreelevación de las presas de Sabaneta y Agostitlán, y promover estudios de gran visión para incrementar los almacenamientos en cuatro nuevas pequeñas presas.
50. Se requiere mejorar la hidrometría en el conjunto de las presas de almacenamiento, compuertas y canales en las subcuencas Tuxpan y El Bosque. Es recomendable que se defina un sistema de monitoreo en tiempo real y con registros para un posterior análisis.
51. Los caminos de servicio en estas áreas irrigadas están en mal estado y tienen problemas de vialidad que propician accidentes y dificultan el acceso para los productores y para las acciones de mantenimiento.
52. En algunos casos existen claros continuos en los canales principales, lo que favorece el acceso de la población para actividades que deterioran la cantidad y la disponibilidad del agua.
53. En coincidencia con lo señalado en el apartado *Panorama Socioeconómico y de Comunicación*, la condición de pobreza y marginación de una buena parte de los productores en las áreas de riego incide en la perduración y extensión de prácticas que incrementan la presión sobre los recursos naturales y la conflictividad en las subcuencas.



Balances hídricos

El análisis de los balances hídricos permite evaluar los componentes del ciclo hidrológico y los usos del agua. Estos datos son herramientas fundamentales para la planeación y la evaluación de la gestión del agua. En este apartado se analiza la determinación de la disponibilidad del agua como base para el planteamiento de acciones y estrategias específicas en cuanto a volúmenes de usos del agua, su gestión y administración.

1. Aspectos generales

1. **Utilidad y aplicaciones.** El balance hídrico es útil para evaluar, en conjunto, los componentes del ciclo hidrológico y los usos del agua. Sus aplicaciones incluyen la determinación de la disponibilidad (si la hay) y el planteamiento de acciones y estrategias específicas en cuanto a volúmenes de usos del agua; estos datos son fundamentales para la planeación y la evaluación de los efectos de cualquier modificación en la gestión del agua.
2. **La cuenca del Sistema Cutzamala se diferencia de la cuenca del río Cutzamala.** Como se explicó en el apartado de *El Sistema Cutzamala y el Abastecimiento de Agua a los Valles de México y Toluca*, antes de que se constituyera el Sistema Cutzamala (decreto del 22 de junio de 1982), su cuenca drenaba hacia la parte baja de la cuenca del río Cutzamala (es decir, la porción de la cuenca que está hoy fuera de los límites definidos por el Sistema). Actualmente la cuenca del Sistema Cutzamala drena hacia la salida al Valle de México, a pesar de que ésta discurre hacia un nivel topográfico superior al resto de la cuenca y no hacia uno inferior, como ocurre con las cuencas naturales.
3. **Disponibilidad y veda.** La disponibilidad de aguas superficiales para nuevas concesiones o asignaciones en la cuenca del río Cutzamala –es decir, tanto el Sistema Cutzamala y sus subcuencas como la cuenca baja– es nula. En efecto, de acuerdo con el Diario Oficial de la Federación (DOF, 28 de agosto de 2013), el volumen disponible a la salida de la cuenca hidrológica del río Cutzamala es de 0.0 millones de metros cúbicos (está clasificada como deficitaria). Esta disponibilidad “comprende desde el nacimiento del Río Zitácuaro hasta donde se localiza la estación hidrométrica El Gallo”.

4. El 2 de febrero de 1966, a través de un acuerdo publicado en el DOF, se declaró la veda por tiempo indefinido para el otorgamiento de concesiones de agua del río Balsas y de todos sus afluentes y subafluentes que constituyen su cuenca tributaria, desde su origen en el estado de Puebla, hasta su desembocadura en el Océano Pacífico; esto dejó vigentes las reservas que se constituyeron en sendos decretos del 18 de junio de 1940, 30 de octubre de 1956 y 25 de agosto de 1958, que se referían a la Reserva Nacional de Energía Hidráulica en diversos tramos de la cuenca del río Balsas. Como se menciona en el apartado de *El Sistema Cutzamala y el Abastecimiento de Agua a los Valles de México y Toluca*, el 22 de junio de 1982 se establecieron en el propio DOF los volúmenes que el Sistema Cutzamala debía entregar al Estado de México y al Distrito Federal, lo que de hecho modificaba el acuerdo de 1966 en lo que se refiere al Sistema Cutzamala. Finalmente, el 22 de marzo de 2011 se modificó esta condición de veda mediante un decreto publicado en el Diario Oficial de la Federación, que indica que se mantienen las reservas para generación de energía hidroeléctrica declaradas en 1940, 1956 y 1958 “en la inteligencia de que las aguas reservadas podrán ser utilizadas, en el volumen que se requiera, para destinarse al uso doméstico y público urbano”. Así, no obstante esta modificación a las vedas anteriores, no es posible otorgar nuevas concesiones o asignaciones en el caso de la cuenca del río Cutzamala en virtud de su condición deficitaria.

2. Metodología

5. **Norma Oficial Mexicana.** En este estudio se empleó la metodología contenida en la Norma Oficial Mexicana NOM-011-CNA-2000. En general, los datos corresponden a promedios de los últimos 10 años.
6. **Cálculo del balance medio anual superficial para cada una de las subcuencas del Sistema Cutzamala.** El balance calculado incluye solamente las aguas superficiales, ya que la mayor parte de los aprovechamientos en el Sistema tiene ese carácter; en una etapa posterior se puede refinar el balance tomando en cuenta también las aguas subterráneas. Dado que el balance considera cifras medias anuales, no toma en cuenta explícitamente periodos de sequías o de abundancia de precipitación prolongados que pueden producir diferencias

significativas en periodos específicos respecto al balance que aquí se calculó. Estos episodios de años de abundancia o escasez se reflejan en los volúmenes de entrega. En el caso de las sequías, por ejemplo, como se menciona en el apartado de *Medio Biofísico*, de 2006 a 2008 se presentaron precipitaciones inferiores a la media, lo que produjo una disminución del gasto promedio de entrega del Sistema a 12.3 m³/s en 2009. Respecto a las inundaciones, el mismo apartado menciona el ejemplo del fenómeno ocurrido en febrero de 2010.

7. **Las salidas del Sistema Cutzamala son de dos tipos: entregas y exportaciones.** Las *entregas* son los volúmenes que se destinan a las ZMVM y ZMT y se entenderá como exportaciones a los volúmenes de agua que se transfieren de la cuenca hidrológica definida por el Sistema Cutzamala –es decir, las seis subcuencas que lo conforman– a la Cuenca Baja del Río Cutzamala, según se define apartado de *El Sistema Cutzamala y el Abastecimiento de Agua a los Valles de México y Toluca*.
8. **Definición en la Norma Oficial.** La NOM-011-CNA-2000 define *exportación* como “el volumen de agua superficial o subterránea que se transfiere de una cuenca hidrológica o unidad hidrogeológica a otra u otras, hacia las que no drena en forma natural”. En este caso, sin embargo, dado que la unidad de estudio es el Sistema Cutzamala (en los términos de la definición contenida en el apartado mencionado arriba), se entenderá que la cuenca hidrológica a la que se refiere la Norma es la que se conforma por las subcuencas que componen dicho Sistema, y que la cuenca baja del río Cutzamala es una cuenca distinta, por lo que todos los volúmenes que pasan de las subcuencas del Sistema Cutzamala a la cuenca baja del río Cutzamala se considerarán *exportaciones*. El concepto del agua que “drena en forma natural” se entenderá, en este contexto, como el escurrimiento del Sistema Cutzamala hacia la planta potabilizadora Los Berros.
9. **Definición hidrológica para el Sistema Cutzamala.** El término de *exportaciones* en este caso tiene una connotación exclusivamente hidrológica y no debe entenderse más que como los flujos de agua desde el Sistema Cutzamala hacia la cuenca baja del río Cutzamala, conformados por:
 - las salidas por las compuertas de la presa Tuxpan hacia el río del mismo nombre;

- las salidas del canal Tuxpan-El Bosque hacia el módulo 7 del Distrito de Riego 045;
- las salidas del canal El Bosque-Colorines hacia la Unidad de Riego de Susupuato;
- las extracciones de la presa El Bosque hacia la Unidad de Riego La Mora-La Florida;
- las filtraciones de la presa El Bosque, y
- los vertidos eventuales desde la presa Colorines.

10. **Fuentes de información.** Para la estimación de los componentes de los balances, se usaron diversas fuentes de información. Se consultaron estudios de entidades académicas y de gobierno, como el INECC, el Instituto de Ingeniería de la UNAM, el IMTA y el OCAVM.

11. **Datos sobre escurrimientos.** No existe actualmente ninguna estación hidrométrica en funcionamiento y, en general, la instrumentación hidrológica y climatológica está muy por debajo de la necesaria en un sistema de la importancia del Cutzamala. Debido a la falta de datos recientes de escurrimiento en las subcuencas, el escurrimiento medio anual de cada una de ellas se estimó mediante la aplicación de un coeficiente de escurrimiento, de acuerdo con la Norma mencionada, y se incluyeron los gastos descargados por los manantiales, según el Registro Público de Derechos del Agua.

12. **Incertidumbres.** En los valores usados persisten diversas incertidumbres. Las mayores incertidumbres están en los volúmenes para uso agrícola, las filtraciones —particularmente en la presa El Bosque— y en las tomas para el módulo 7 del Distrito de Riego 045 y para la Unidad de Riego Susupuato.

3. Resultados

13. **A continuación se describirá el balance hídrico del Sistema y se mostrará que hay un equilibrio muy frágil entre sus diversos componentes.** El balance global se muestra en la Figura 7.1.

14. **Entregas y transferencias.** En la Tabla 7.1 se exponen los volúmenes de producción de las subcuencas y las entregas correspondientes como promedio de 1997 a 2014. Por otro lado,

■ **Figura 7.1. Balance global (m³/s)**



(Fuente: elaboración propia)

■ **Tabla 7.1. Producción y entrega de las presas del sistema**

Etapa	Presas	Producción de la cuenca	Entrega de diseño	Entrega real
I	Villa Victoria	2.8	4	2.5
II	Valle de Bravo	4.4	6	4.5*
III	Tuxpan, El Bosque, Ixtapan del Oro, Colorines y Chilesdo	17.7	9	7.1
Total		24.9	19	14.1

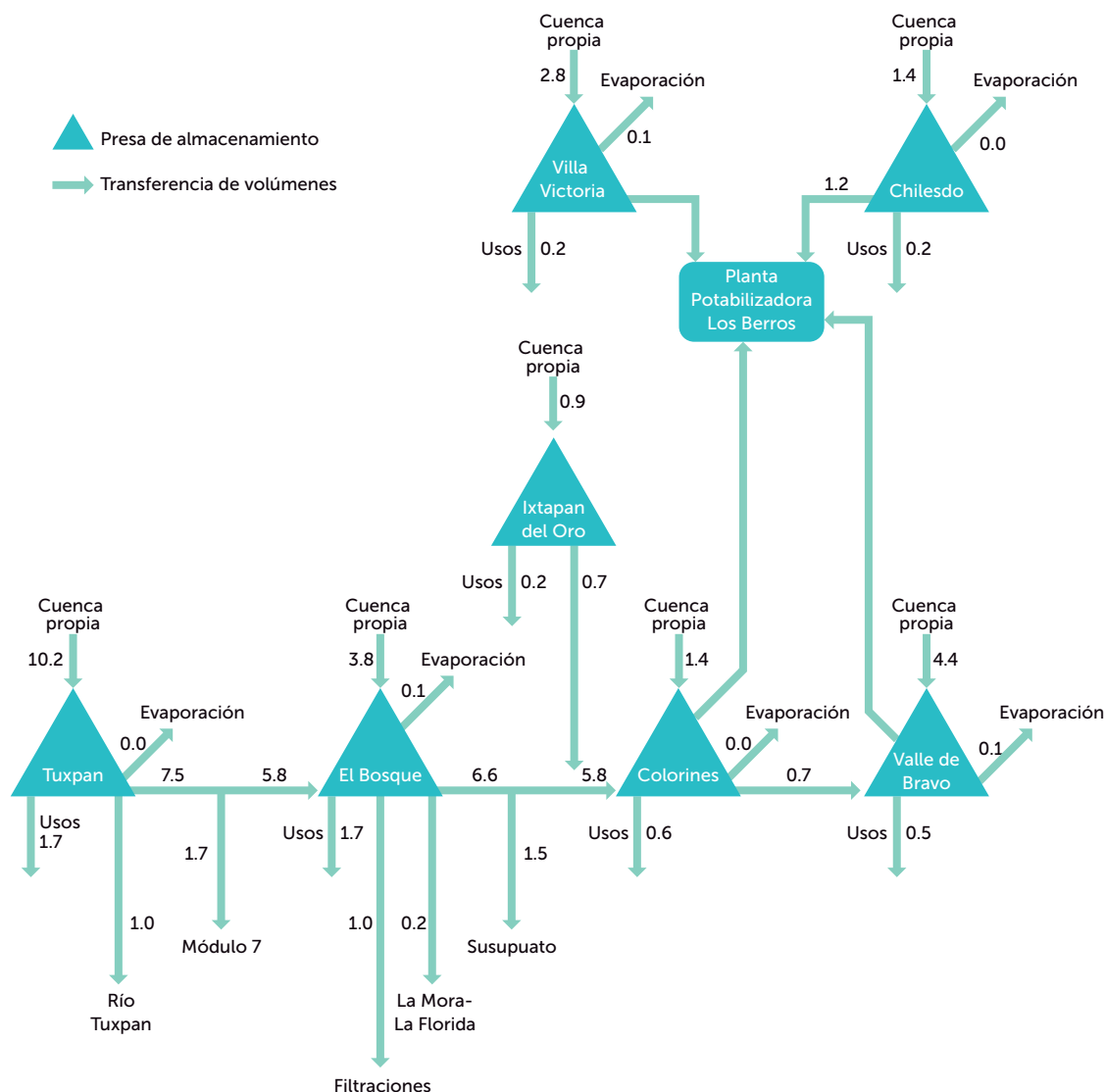
* Recibe 0.7 m³/s de Colorines
(Fuente: elaboración propia)

los volúmenes medios anuales de transferencia entre los diferentes componentes del Sistema se muestran en la Figura 7.2.

15. **Exportaciones.** La parte de las exportaciones a la cuenca baja del río Cutzamala formada por las filtraciones de la presa El Bosque y las salidas por las compuertas de la presa Tuxpan equivalen a un 16% de las entregas y las exportaciones destinadas al riego en el Módulo 7 y las unidades Susupuato y La Mora-La Florida equivalen a un 24% de las entregas.

16. **Uso agrícola.** En el Sistema el volumen consumido por el riego es significativo. El uso para riego se estimó con base en los datos de superficie de riego provenientes de la serie V del INEGI (2011) y usando una lámina bruta

■ **Figura 7.2.** Diagrama de transferencia de volúmenes medios anuales entre los componentes del Sistema Cutzamala (usos netos, m³/s)



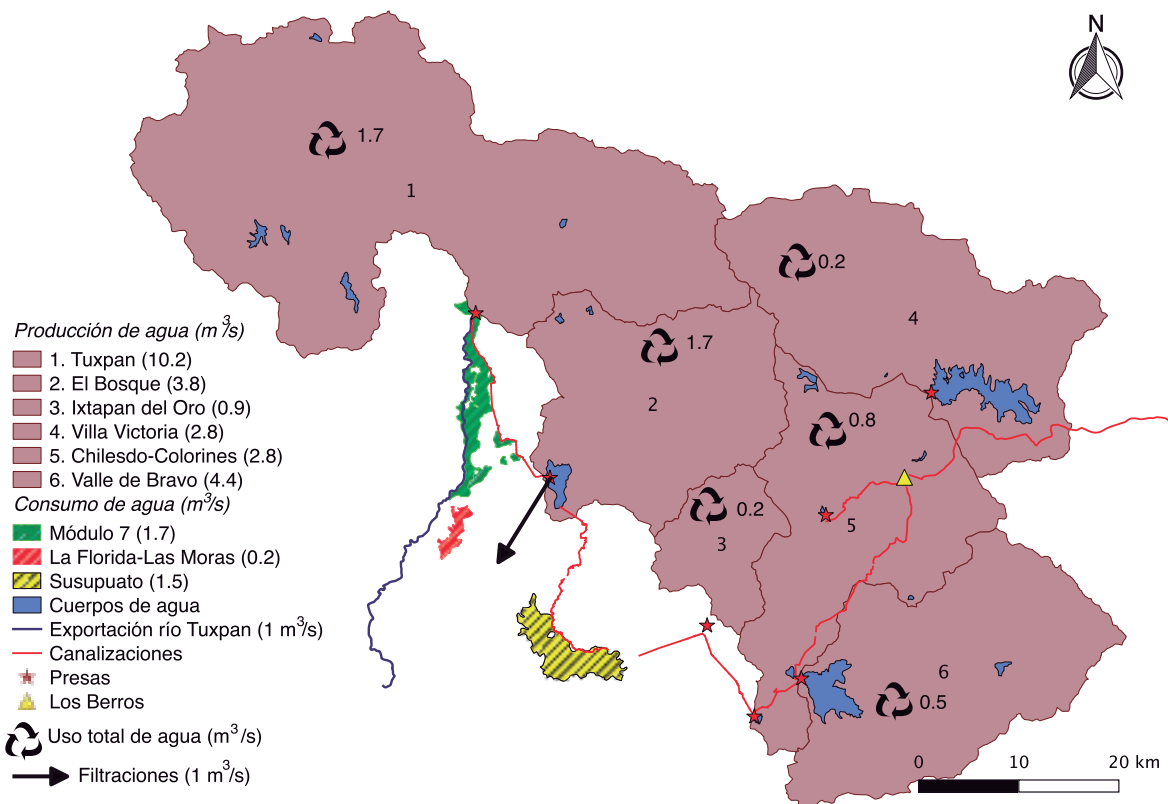
(Fuente: elaboración propia)

promedio de 1.2 metros por año para las áreas de riego dentro del conjunto de subcuencas, y de 1.4 metros fuera de este polígono. El análisis indica que se destina al riego aproximadamente un gasto medio neto de 3.5 m³/s dentro del Sistema (equivalente al 25.2% del volumen que se extrae para las entregas) y de 3.4 m³/s afuera del mismo (24.3% del volumen que se extrae para las entregas). La subcuenca Tuxpan es la que tiene un mayor volumen de uso agrícola, con un gasto medio neto de alrededor de 1.3 m³/s. La lámina de riego considerada es suficiente para abastecer al área de riego actual. Sin embargo, es necesario y urgente introducir la tecnificación para afrontar los posibles incrementos en las demandas. Este escenario deberá evaluarse como parte de

la formulación del plan integral de gestión del Sistema Cutzamala. En el apartado de Usos del Agua en las Subcuencas se analizan también estos usos.

17. **Uso acuícola.** De acuerdo con Bunge *et al.* (2012), se supuso un consumo bruto por granja acuícola de 0.23 hm³/año. El número de granjas por subcuenca se tomó de la misma publicación.
18. **Retornos.** Los usos consuntivos netos equivalen al 36% de las entregas, y se produce alrededor de 1 m³/s de retornos de agua doméstica y 6.6 m³/s de retornos de riego. Los retornos son muy importantes para los efectos de la calidad del agua.

■ **Figura 7.3. Producción y consumo de agua y transferencias de agua en la región del Sistema Cutzamala (m^3/s)**



(Fuente: elaboración propia)

19. **Vulnerabilidad del Sistema.** Como se observa en la Tabla 7.2, del gasto medio total de escurrimiento superficial de $25 m^3/s$ se usan $14 m^3/s$ para las entregas a las ZMVM y ZMT (58%), $5 m^3/s$ (20%) para los usos dentro del Sistema y $6 m^3/s$ (22%) para exportaciones a la cuenca baja del río Cutzamala. Es conveniente notar que hay un equilibrio muy precario entre las entregas y los usos dentro del Sistema, y que cualquier cambio del lado de la demanda (por ejemplo, incrementos significativos en los usos o en las exportaciones) necesariamente intensificará aún más ese frágil equilibrio, con riesgo de conflicto entre usos. Este balance corresponde a datos anuales; naturalmente, las relaciones entre las variables serán diferentes durante el año por las variaciones entre periodos de lluvias y de secas.

20. **Posibles efectos de sequías.** Lo anterior también es válido en el caso de la oferta de agua. En este Sistema hay permanentemente un riesgo de ocurrencia de hasta 4 años secos consecutivos en algunas zonas (véase el apartado de *Medio Biofísico*). Asimismo, la capacidad de

almacenamiento del Sistema es de $790 hm^3$, mientras que el volumen medio anual entregado a las ZMVM y ZMT es de $460 hm^3/año$, es decir, se tiene un factor de 1.7 entre capacidad de almacenamiento y volumen entregado. Este factor se considera muy pequeño, lo que hace que en años secos sucesivos la fragilidad de la entrega pueda hacerse extrema.

21. **Variabilidad de la precipitación.** Otro indicador de la vulnerabilidad del Sistema es la variabilidad de la precipitación. En la Figura 7.4 se muestra el porcentaje de años en que la precipitación anual es igual o mayor a la señalada para tres estaciones seleccionadas dentro del Sistema. Se observa una variabilidad significativa. Por ejemplo, el cociente de 20% entre 80% es de 1.28, 1.39 y 1.33 respectivamente para las estaciones 15046, 16036 y 15066. El factor entre la precipitación anual mínima y máxima en el periodo de registro es de aproximadamente 2.3.

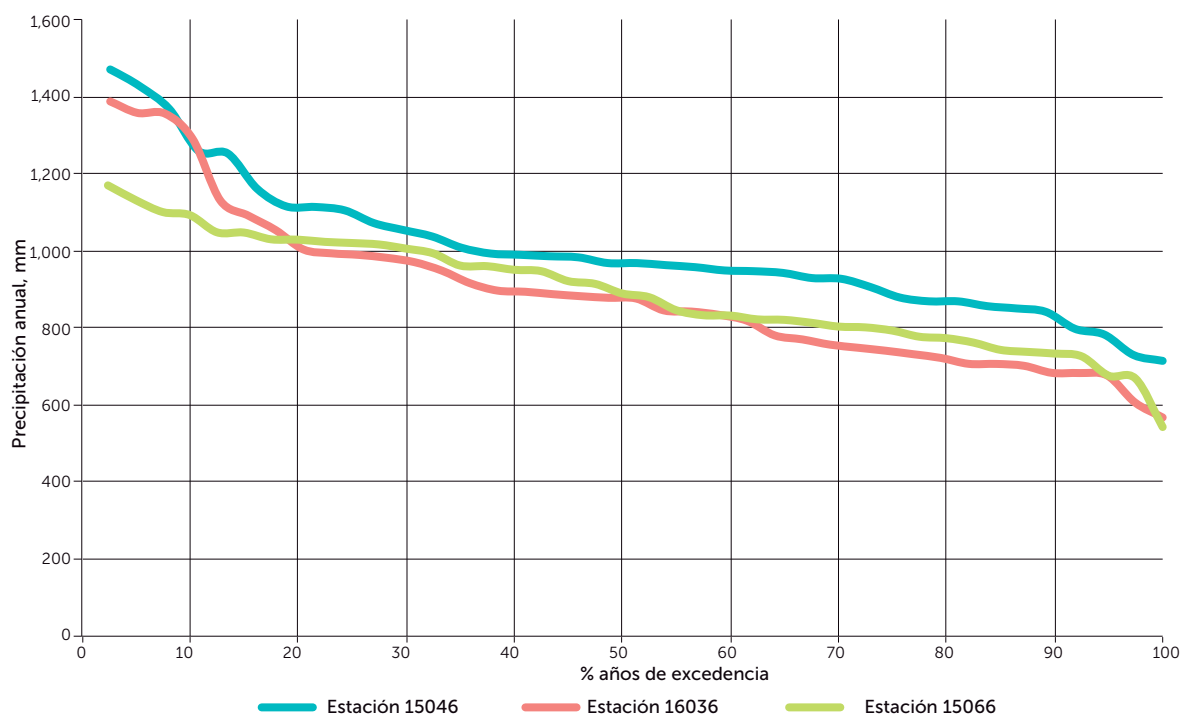
22. **Riesgos latentes.** Se ha observado recientemente un crecimiento significativo de la

■ **Tabla 7.2. Balance global (m³/s)**

Subcuenca o componente	Lluvia	Evaporación	Esc. Superficial (Incl. manantiales)	Transf. desde aguas arriba	Entregas para las ZMVM y ZMT	Transf. hacia aguas abajo
Valle de Bravo	17.6	0.1	4.4	0.7	4.5	
Villa Victoria	16.6	0.1	2.8	0.0	2.4	
Tuxpan	44.2	0.0	10.2	0.0	7.5	7.5
Canal Tuxpan-El Bosque						
El Bosque	13.6	0.1	3.8	5.8	6.6	6.6
Ixtapan del Oro	3.8	0.0	0.9	0.0	0.7	0.7
Canal El Bosque-Colorines						
Chilesdo	7.4	0.0	1.4	0.0	1.2	0.0
Colorines	6.6	0.0	1.4	5.8	5.9	0.7
Total	109.7	0.3	24.9		14.0	
Porcentaje respecto a entrega a Toluca/ZMVM	784.1	2.1	177.9		100.0	

(Fuente: elaboración propia)

■ **Figura 7.4 Variabilidad de la precipitación en estaciones seleccionadas**



(Fuente: elaboración propia)

agricultura de riego, principalmente hacia cultivos perennes y hortalizas; algunos de estos productos, como el guayabo, demandan un gran consumo de agua. Como se menciona en el apartado de *Aspectos Hidroagrícolas*, el canal Tuxpan-El Bosque-Colorines detectó más de 1,400 mangueras de distintos diámetros

instaladas en la infraestructura del Sistema. Todo esto pone en riesgo el funcionamiento del Sistema y la capacidad de entregar el agua a las ZMVM y ZMT. Esta situación deberá profundizarse en la siguiente etapa de formulación del plan integral de gestión del Sistema Cutzamala.

	Usos netos en las subcuencas	Exp. a la cuenca baja del Cutzamala	Uso neto en riego dentro de las subcuencas	Uso en riego fuera del Sistema	Exp. a la cuenca baja del Cutzamala excl. riego	Retornos de agua doméstica	Retornos de riego	Balance
	0.5	0.0	0.3			0.1	0.6	0.0
	0.2	0.0	0.0			0.1	0.0	0.0
	1.7	1.0	1.3		1.0	0.3	2.4	0.0
		1.7		1.7				
	1.7	1.2	1.2	0.2	1.2	0.2	2.2	0.0
	0.2	0.0	0.1				0.3	0.0
		1.5		1.5				
	0.2	0.0	0.1			0.0	0.1	0.0
	0.6	0.0	0.5			0.1	1.0	0.0
	5.2	5.5	3.5	3.4	2.3	0.8	6.6	0.0
	36.9	39.0	25.2	24.3	16.2			

4. Conclusiones

23. Los balances hídricos son fundamentales para la planeación y la evaluación de los efectos de modificaciones en la gestión del agua.
24. Los valores usados en este estudio contienen diversas incertidumbres. Las mayores incertidumbres están en los volúmenes para uso agrícola, las filtraciones —particularmente en la presa El Bosque— y en las tomas irregulares.
25. El volumen consumido por el riego es significativo. El análisis indica que se destina al riego un volumen bruto de cerca del 86% del volumen que se extrae para las entregas.
26. Las exportaciones a la cuenca baja del río Cutzamala, provenientes de las filtraciones de la presa El Bosque y las salidas por las compuertas de la presa Tuxpan, equivalen a un 16% de las entregas.
27. Hay un frágil equilibrio entre la producción de agua, las entregas y los usos dentro del Sistema. Cualquier variación en alguno de ellos (por ejemplo, incrementos significativos en las demandas o en las exportaciones o sucesiones de años secos) afectará necesariamente a los demás. El Sistema está actualmente en su límite de funcionamiento.
28. Existen riesgos significativos de que el Sistema pierda la capacidad de entregar volúmenes suficientes a las ZMVM y ZMT, tanto por la ocurrencia de años secos consecutivos como

por el crecimiento de la agricultura de riego hacia cultivos perennes y hortalizas de gran consumo de agua, además de la presencia de tomas irregulares.



Calidad del agua en las subcuencas

En las últimas dos décadas, el agua de las presas del Sistema Cutzamala ha sufrido un deterioro significativo en su calidad. Este apartado identifica las principales causas de esa degradación y sus consecuencias. Se hace especial énfasis en los fenómenos de sedimentación y limnológicos presentes en las presas y en otras instalaciones, distinguiendo entre las problemáticas en las subcuencas, en los almacenamientos y en la instalación de potabilización, todas ellas interrelacionadas.

1. El proceso de deterioro

1. **Causas de deterioro.** De acuerdo con los resultados de evaluaciones reportados por la CONAGUA (Acuagranjas, 2012), en las últimas dos décadas el agua de las presas del Sistema Cutzamala ha sufrido un deterioro significativo en su calidad, como resultado de la deforestación, la expansión de la frontera agrícola sin prácticas adecuadas de conservación de suelo y agua, y el crecimiento de una población urbana y rural que no cuenta con servicios adecuados de alcantarillado y tratamiento de aguas residuales. En las subcuencas prevalecen, además, fuertes obstáculos para llevar a cabo programas integrales y eficaces en la materia. No obstante lo anterior, hasta ahora el agua suministrada por el Sistema en sus más de 30 años de operación ha cumplido con la normatividad que rige la calidad del agua potable que se suministra.
2. **Consecuencias.** Lo anterior ha tenido las siguientes consecuencias:
 - El incremento en los costos de potabilización en Los Berros por la necesidad de emplear carbón activado en eventos de florecimientos de cianobacterias en los embalses, que comprometen la calidad del agua que entrega el sistema al Valle de México.
 - La utilización de una parte del agua conducida para el mantenimiento de la propia planta potabilizadora. Esto provoca la pérdida de importantes recursos económicos empleados en su conducción a Los Berros, pues aumenta la necesidad de retrolavar los sistemas de filtrado por la acelerada oclusión del medio filtrante por las algas.

- Un creciente riesgo de que se surta agua de mala calidad al Valle de México o que se suspenda el envío por no poder ofrecer una respuesta oportuna a los problemas de calidad del agua. El riesgo aumenta si se considera que podría comprometerse la salud de los habitantes, así como la reputación del OCAVM.
- La existencia de especies de plancton potencialmente tóxicas que implican riesgos para la salud. Como consecuencia, la mala calidad del agua de la presa de Valle de Bravo podría limitar las actividades recreativas que allí se realizan y que representan una importante derrama económica para la zona.

2. Presencia de algas en los embalses

3. **Presas eutróficas.** Los principales embalses del Sistema Cutzamala se caracterizan por tener altas concentraciones de nutrientes (como nitratos, fosfatos, hierro y sílice) y se han clasificado como eutróficos. La manifestación más obvia de las aguas eutróficas es la presencia de grandes cantidades de algas, especialmente colonias flotantes de algas azul-verde, pero también son indicadores importantes de este fenómeno la falta de oxígeno disuelto en aguas profundas y una baja transparencia en el agua.
 4. **Fuente de los nutrientes.** Los problemas de algas en las presas del Sistema Cutzamala son similares a los que se presentan en otras obras de abastecimiento de agua en el mundo y son consecuencia del incremento de las concentraciones de nutrientes en sus aguas. La carga de nutrientes en los embalses del Sistema Cutzamala proviene de dos fuentes:
 - *Carga externa.* Las concentraciones de nutrientes se incrementan en los escurrimientos que llegan sin tratamiento a los embalses como resultado de algunas prácticas como deforestación, o de escurrimientos que contienen fertilizantes, efluentes de criaderos de animales (puercos y peces), además de los aportes de las descargas municipales e industriales (a menos que su tratamiento incluya la remoción de nutrientes, lo que prácticamente no existe en la cuenca). Estas fuentes de aportación se han incrementado con el tiempo, entre otras razones porque la población residente ha aumentado más de tres veces. Otra fuente de incremento
 - de nutrientes son las descargas puntuales, como los drenajes sanitarios urbanos y los desechos de animales, con frecuencia descargados en forma deliberada directamente a las aguas superficiales que alcanzan los embalses.
 - *Carga interna.* Los embalses acumulan sedimentos orgánicos (hojas y ramas) de material influente durante las lluvias y tormentas; sin embargo, este material aporta cargas relativamente pequeñas de nutrientes. La principal carga orgánica en aguas eutróficas proviene de los crecimientos de algas en las aguas superficiales, que al morir se hunden al fondo del embalse.
5. **La estratificación térmica.** Los tres embalses principales del Sistema Cutzamala tienen profundidades máximas de entre 12 y 42 metros. Los lagos y presas de más de 10 metros de profundidad presentan estratificación térmica la mitad del año: las aguas superficiales se calientan por el sol y como consecuencia flotan en la superficie (epilimnion) sobre las aguas más frías y densas que se ubican en el fondo del embalse (hipolimnion); se presenta, entonces, una zona que sufre un cambio de temperaturas (termoclina) y que separa a ambos estratos. La estratificación evita la circulación vertical del agua en el embalse, por lo que el hipolimnion se encuentra todo el verano impedido de recibir oxígeno de la atmósfera. El decaimiento bacteriano de las algas en los sedimentos utiliza rápidamente el poco oxígeno disponible en ese estrato, lo que produce condiciones anaeróbicas en las cuales los nutrientes atrapados en los sedimentos se vuelven solubles y son liberado de nuevo al cuerpo de agua.
 6. **Un ciclo estacional.** La forma en la que el agua del fondo, enriquecida con nutrientes, se incorpora a las aguas superficiales donde favorece el crecimiento de algas difiere según las estaciones. Durante el verano, la termoclina se hace más profunda cuanto más se calienta la superficie, y de esta manera incorpora nutrientes de las aguas profundas. Durante el invierno, el agua superficial se enfría y rompe la estratificación; entonces las aguas del fondo del embalse se mezclan verticalmente y liberan los nutrientes que contienen en las aguas superficiales, lo que provoca el crecimiento de algas. Este ciclo se repite cada año y se refuerza a sí mismo de tal manera que las concentraciones de nutrientes tienden a aumentar en el tiempo. En lagos o embalses con problemas de algas, la carga interna contribuye usualmente

con aproximadamente la mitad de los nutrientes disponibles para su crecimiento. En el caso de Valle de Bravo los datos disponibles indican que este porcentaje de carga interna es de ese orden.

3. La calidad del agua en el sistema Cutzamala

7. **Diversos estudios de calidad del agua.** Para conocer con detalle la problemática del deterioro del recurso hídrico en el Sistema, diversas entidades locales y federales han desarrollado por muchos años estudios de calidad del agua. Estos estudios han detectado un creciente problema de calidad del agua en la región, pero en especial en los vasos de las presas que alimentan al Sistema Cutzamala.

8. **Herramientas de evaluación periódica.** Como un sólido apoyo para la planeación y gestión de las actividades relacionadas con la calidad del agua del Sistema Cutzamala, a partir de junio de 2014 el OCAVM comenzó a evaluar periódicamente las presas (en diversos puntos de muestreo a diferentes profundidades, para un total de 82 muestras cada vez) y en sus cauces tributarios (en 22 sitios de muestreo), que incluyen parámetros fisicoquímicos y biológicos; realiza además análisis de sedimentos de las presas (en 22 sitios de muestreo) y análisis CRIT para determinar la peligrosidad de los lodos provenientes de la planta de tratamiento de aguas residuales de Valle de Bravo y de la planta potabilizadora Los Berros. Asimismo, realiza evaluaciones de calidad del agua que sale de la planta de tratamiento de Valle de Bravo y de la planta potabilizadora (NOM-127-SSA1-1994). Por su parte, el Sistema Integral de Calidad del Agua (SICA) de CONAGUA proporciona información en línea sobre la calidad del agua de Valle de Bravo y de la planta potabilizadora Los Berros (www.igshydro.com.mx).

9. **Estudios en la presa Valle de Bravo.** Para la presa Valle de Bravo, en los últimos 30 años se han desarrollado estudios sobre la calidad del agua y sobre el manejo de las subcuencas en tres vertientes principales:

- análisis de parámetros fisicoquímicos y microbiológicos del embalse;
- estudios en los sitios de descarga de sus principales cauces tributarios, y

- estudios de carácter ecológico integral, con mediciones en la parte superficial, media y baja del embalse, para identificar y analizar las características de fitoplancton y de zooplancton, la existencia de ictiofauna, la presencia de detergentes y los tipos de sedimentos y bentos, entre otros (IMTA, 2012).

10. **Toxicidad.** La consultora Acuagranjas ha realizado para la CONAGUA la toma de muestras para el seguimiento de la calidad del agua en las presas Valle de Bravo, Villa Victoria y El Bosque y sus cauces tributarios, así como en la obra de toma de cada embalse para identificar la toxicidad. El muestreo ha sido supervisado por el OCAVM en los sitios considerados como más representativos de cada embalse, a saber: en la presa Valle de Bravo, en la cortina, el centro y el embarcadero; en la presa Villa Victoria, en la cortina, el centro oeste y el centro este, y en la presa El Bosque, en la confluencia del río Zitácuaro, el centro y la obra de toma.

11. **Potabilización.** De acuerdo con los resultados de los análisis de agua del Sistema Cutzamala realizados por la CONAGUA entre 1999 y 2012 (que se contrastaron con los Criterios Ecológicos de Calidad del Agua, CECA), la mayoría de los parámetros evaluados presentan valores que permiten considerar estas aguas como adecuadas hasta ahora para proveer agua para consumo humano sujetas a procesos convencionales de potabilización (Acuagranjas, 2012). Sin embargo, la presencia de organismos (cianobacterias) generados por el creciente deterioro de la calidad del agua en las presas Valle de Bravo y Villa Victoria ya ha provocado en repetidas ocasiones que se recurra a métodos no considerados en el proceso de la potabilizadora (por ejemplo, el uso emergente de carbón activado) para atender el problema y poder proveer agua de calidad a los usuarios de acuerdo con la norma.

12. **Índice de contaminación (Ico).** El índice de contaminación (Ico) relaciona el valor del contaminante en el sitio con el valor de contaminante analizado según el criterio ecológico. En este caso, los límites de calidad establecidos, según el criterio ecológico para suministro de agua potable, son los siguientes: DQO = 10 mg/l; SST = 20 mg/l; NT = 1 mg/l; y CF = 103 NMP/100ml; así, el análisis de los datos de calidad del agua y el cálculo del Ico para las presas El Bosque, Villa Victoria y Valle de Bravo indican que ha ocurrido un incremento significativo en este índice debido fundamentalmente al aumento del contenido de

■ **Tabla 8.1. Índice de contaminación de las presas El Bosque, Villa Victoria y Valle de Bravo**

Ubicación	DQO (mg/l)	SST (mg/l)	N _T (mg/l)	Col Fec (NMP/100ml)	Ico 2012	Ico en 2009
Salida presa El Bosque	9.88	8.67	1.6	23x103	6.9	-
Salida presa Valle de Bravo	11.29	25.00	7.18	22x103	9.68	2.00
Salida presa Villa Victoria	23.35	20.00	8.26	20x103	8.07	7.23

(Fuente: CONAGUA, 2013)

nutrientes. Con base en el “Seguimiento de la calidad del agua de las presas del Cutzamala 2012”, la CONAGUA (2013) calculó el Ico para las presas El Bosque, Villa Victoria y Valle de Bravo. Los resultados se muestran en la Tabla 4.1.

13. **Se observa que el Ico se ha incrementado considerablemente, sobre todo en la presa Valle de Bravo.** En 2009 este índice presentaba un valor de 2.00; su incremento hasta 9.68 en 2012 se debió, fundamentalmente, al incremento de Nitrógeno total (NT).

3.1. Valle de Bravo

14. **Cauces tributarios.** Tres de los cuatro cauces tributarios de la presa Valle de Bravo (los ríos Los González, Amanalco y Chiquito o El Molino) presentan, en términos generales, agua de buena calidad, pero rebasan los criterios ecológicos en algunos parámetros evaluados. Esto se debe a la descarga directa de aguas residuales crudas en sus cauces. El cuarto cauce tributario (el río Tizates) registra altos niveles de contaminación que lo convierten en un aporte permanente de agua de mala calidad a la presa Valle de Bravo (Acuagranjas, 2012).

15. **Criterios Ecológicos de Calidad del Agua (CECA).** Algunos de los parámetros evaluados en la presa Valle de Bravo rebasan los CECA. En la presa Valle de Bravo, la DQO, las grasas y aceites, y los coliformes fecales rebasaron los criterios ecológicos en la mayor parte de los años estudiados. En relación con la protección de la vida acuática, además de los parámetros mencionados, los sulfatos sobrepasan el nivel marcado en los CECA. Así, de acuerdo con los resultados de toxicidad, el agua de las presas se clasifica como levemente tóxica (Acuagranjas, 2012).

16. **Florecimiento de cianobacterias.** Los niveles excesivos de nutrientes en la presa Valle de Bravo, que lo caracterizan como un embalse claramente eutrófico (clasificación trófica

en función de contenidos de clorofila, fósforo y turbiedad de Carlson y Simpson, 1996), siguen aumentando y producen florecimientos explosivos de fitoplancton, y particularmente de cianobacterias, con problemas crecientes en la calidad del agua y complicaciones para su tratamiento. En julio de 1998 se presentó un florecimiento masivo de cianobacterias dominado por cuatro géneros: *Anabaena*, *Nostoc*, *Microcystis* y *Oscillatoria*. La más abundante, *Anabaena*, generó cepas tóxicas y presentó concentraciones de hasta 0.013 µg/l de la neurotoxina anatoxina-a. Esta concentración está cerca de representar peligro de intoxicación aguda (Acuagranjas, 2012). La proliferación de cianobacterias trajo consigo otros problemas de calidad de agua (olor y sabor desagradables), así como la reducción en la capacidad y eficiencia de filtración de los sistemas de tratamiento por la gran cantidad de materia orgánica (Ramírez, 2010).

17. En 2012, de acuerdo con información del OCAVM, se presentó una contingencia ambiental que se detectó a finales de mayo, se hizo crítica en junio y disminuyó en julio. En Valle de Bravo hubo florecimientos de algas cianofitas, en particular *Microcystis*, *Anabaena* y *Lyngbya* en la obra de toma y el canal Donato Guerra. El agua potabilizada adquirió olor y sabor desagradables, pero sin llegar a ser tóxica por la microcistina (Acuagranjas, 2012).

18. **Respuesta frente a una situación crítica.** El más reciente florecimiento masivo de algas cianofitas ocurrió en noviembre de 2014, en condiciones muy diferentes a las descritas: los embalses se encontraban llenos y era otra época del año. Esto muestra que, además de la concentración de nutrientes, existen factores que aún no se determinan, o bien que la concentración y disponibilidad de nutrientes no depende sólo del nivel de captación de agua de los embalses. Este brote ocurrió en el embalse de Valle de Bravo, y la situación se tornó crítica entre el 7 y 8 de noviembre, momento en el que la concentración de toxinas llegó cerca del límite máximo recomendado por organismos

internacionales. Incluso se llegó a considerar la suspensión del suministro a las ZMVM y ZMT. Para controlar las algas, se mezcló agua de Valle de Bravo con la proveniente de la presa El Bosque (para conseguir un efecto de dilución), y se agregó carbón activado en el canal Donato Guerra. Las medidas tomadas fueron efectivas y se controló la concentración de toxinas en el agua producida en la potabilizadora Los Berros.

3.2. Villa Victoria

19. **Cauces tributarios.** Los dos cauces tributarios de la presa Villa Victoria (los ríos El Salto y La Compañía) presentan en los parámetros evaluados valores que rebasan algunos de los criterios ecológicos de referencia. Destaca la concentración de aluminio en el río La Compañía: es de 14.73 mg/l en promedio para la última década, mientras que los CECA son de 0.02 mg/l para abastecimiento de agua y de 0.05 mg/l para protección de la vida acuática en agua dulce. La concentración de aluminio proviene de fuentes naturales en la zona y no altera la calidad del agua suministrada por el sistema, gracias a que en la planta potabilizadora Los Berros se reduce hasta estar dentro de parámetros aceptables (menos de 0.2 mg/l, de acuerdo con la NOM-127-SSA1-1994). El 70% de la contaminación de esta presa es de origen agropecuario, y se destaca el uso de plaguicidas y fertilizantes en el cultivo de la papa.
20. **CECA.** Algunos de los parámetros evaluados en las aguas de la presa Villa Victoria rebasan los CECA. En la presa Villa Victoria, la DQO, las grasas y aceites y los coliformes fecales rebasaron los criterios ecológicos en la mayor parte de los años monitoreados (Acuagranjas, 2012).
21. **Presencia de fósforo y clorofila.** El embalse de la presa Villa Victoria es claramente eutrófico dados los valores de fósforo total detectados en sus aguas. Asimismo, considerando las concentraciones de clorofila "a", Villa Victoria se acerca a la hipertrofia.

3.3. El Bosque

22. **Cauces tributarios.** Los dos cauces tributarios de la presa El Bosque (el río Zitácuaro y el canal Tuxpan) presentan en los parámetros evaluados valores que rebasan algunos de los criterios ecológicos de referencia. Destaca

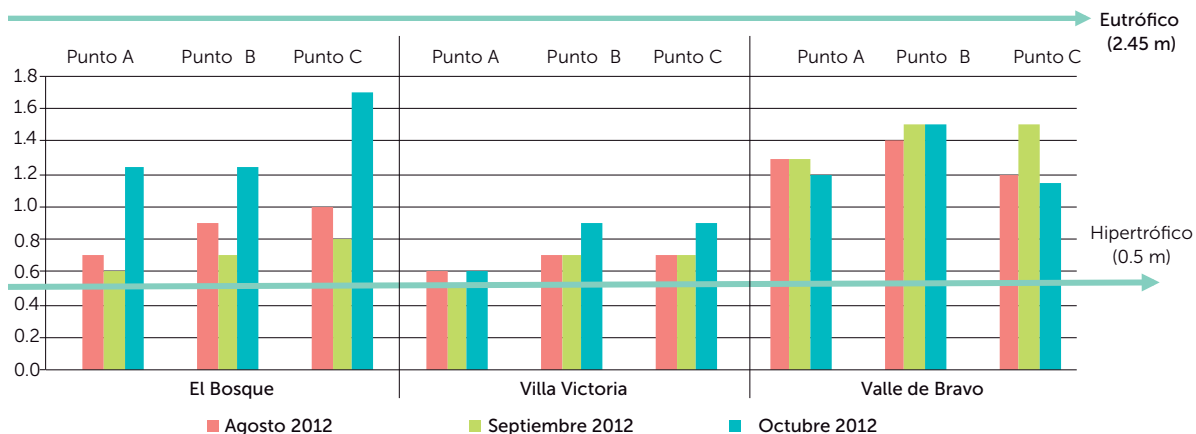
la alta concentración de aluminio en ambos cauces, que para 2011 fue de 4.40 mg/l y 8.99 mg/l respectivamente, mientras los CECA son de 0.02 mg/l para el abastecimiento de agua y de 0.05 mg/l para la protección de la vida acuática en agua dulce. También en este embalse la concentración de aluminio proviene de fuentes naturales y no altera la calidad del agua suministrada por el sistema, pues la planta Los Berros lo reduce hasta cumplir con los parámetros aceptables (NOM-127-SSA1-1994).

23. **Aporte de nutrientes.** En la presa El Bosque, el canal Tuxpan es el cauce tributario que más nitrógeno aporta (947.56 ton/año) y el río Zitácuaro es el de mayor aporte de fósforo (83.38 ton/año). La mayor cantidad de nutrientes sale por el canal Colorines (98.72 ton/año de nitrógeno y 5.5 ton/año de fósforo). La salida de nitrógeno a través de los efluentes (los canales Colorines y La Florida) es significativamente menor que el aporte de los cauces tributarios; se estima que se quedan 4,433.70 toneladas de nitrógeno al año en el embalse. En el caso del fósforo total, permanecen 130.5 ton/año en el embalse (Acuagranjas, 2012).
24. **CECA.** Algunos de los parámetros evaluados en las aguas de la presa El Bosque rebasan los CECA. En la presa El Bosque, la DQO, las grasas y aceites, los nitritos y los coliformes fecales rebasaron los criterios ecológicos en la mayor parte de los años monitoreados (Acuagranjas, 2012).
25. **Una presa eutrófica.** La presa El Bosque es claramente eutrófica, dados los valores de fósforo total detectados en sus aguas.

3.4. Eutrofización de los embalses

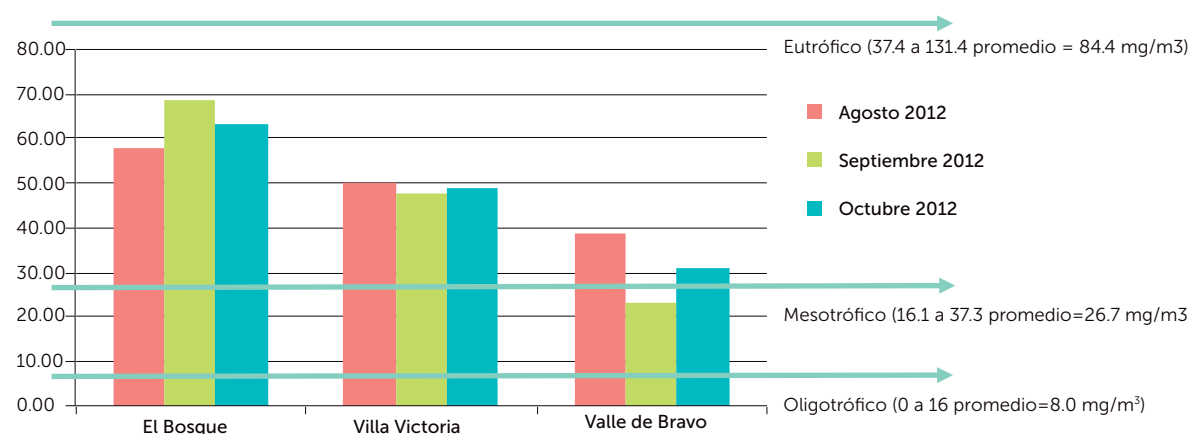
26. **Transparencia, fósforo y clorofila.** La Figura 4.1. muestra la categoría de eutrofización de los embalses estudiados; se elaboró de acuerdo con la transparencia del agua de tres sitios en cada presa, medida con el disco de Secchi en tres ocasiones. Se observa que las aguas de Valle de Bravo permiten ver hasta una profundidad mayor a 1.2 m en casi todas las evaluaciones; no obstante, los tres embalses son, de acuerdo con este parámetro, francamente eutróficos y muy cerca de considerarse como hipertróficos. Por otra parte, de acuerdo con la clasificación de Janus y Vollenweider citada por Acuagranjas (2012), los tres embalses se encuentran en estado eutrófico, aunque con diferente rango: Valle de Bravo aún se podría clasificar como

■ **Figura 8.1. Categoría de eutrofización (transparencia del disco de Secchi)**



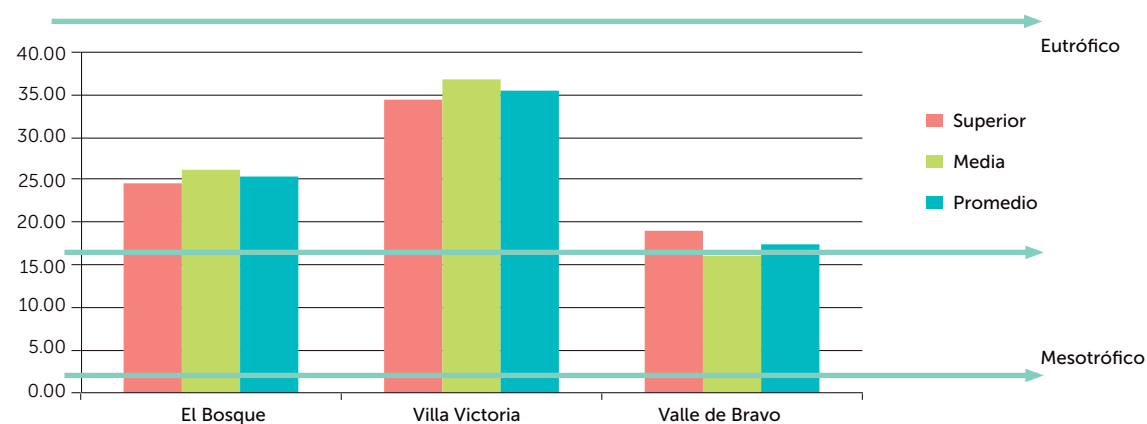
(Fuente: Acuagranjas, 2012)

■ **Figura 8.2. Concentraciones de fósforo total (mg/m³) en los tres embalses**



(Fuente: Acuagranjas, 2012)

■ **Figura 8.3. Concentraciones de clorofila "a" en los tres embalses**



(Fuente: Acuagranjas, 2012)

mesotrófico, mientras que los otros dos embalses son claramente eutróficos en relación con el fósforo total en el agua (Figura 4.2). Este mismo comportamiento se aprecia a partir de la concentración de clorofila “a” registrada (Figura 4.3). Para evitar confusión en la interpretación de las figuras, nótese que es preciso que la transparencia resulte inversa a la concentración de fósforo y de clorofila; es decir, a mayor concentración de nutrientes, menor transparencia del agua debido al crecimiento de algas.

3.5. Otras subcuencas

27. **La Red Nacional de Medición de la Calidad del Agua.** Sobre la calidad del agua de las subcuencas que no se han descrito en este apartado (Tuxpan, Ixtapan del Oro y Chilesdo-Colorines se han encontrado registros aislados de evaluaciones puntuales en años anteriores. Sin embargo, desde 2012 se inició el monitoreo sistematizado de estas subcuencas a través de la Red Nacional de Medición de la Calidad del Agua. Esta red incluye, entre sus 30 estaciones de monitoreo dentro del Sistema Cutzamala, algunas ubicadas en el canal Tuxpan, en el canal Colorines, en el influente de la presa El Bosque a Colorines, en la presa Colorines y en el canal Río Malacatepec-Duraznos. Para la presa Colorines, el IMTA realizó una evaluación de la calidad de sus aguas, en el marco de un proyecto de control de lirio acuático. El índice de calidad del agua para DBO en los canales y en la Puerta 2 es excelente, mientras que en la cortina la calidad es buena. Para DQO la calidad es buena en el canal Santo Tomás y en la Puerta 2, mientras que en las otras estaciones varía de buena (canal

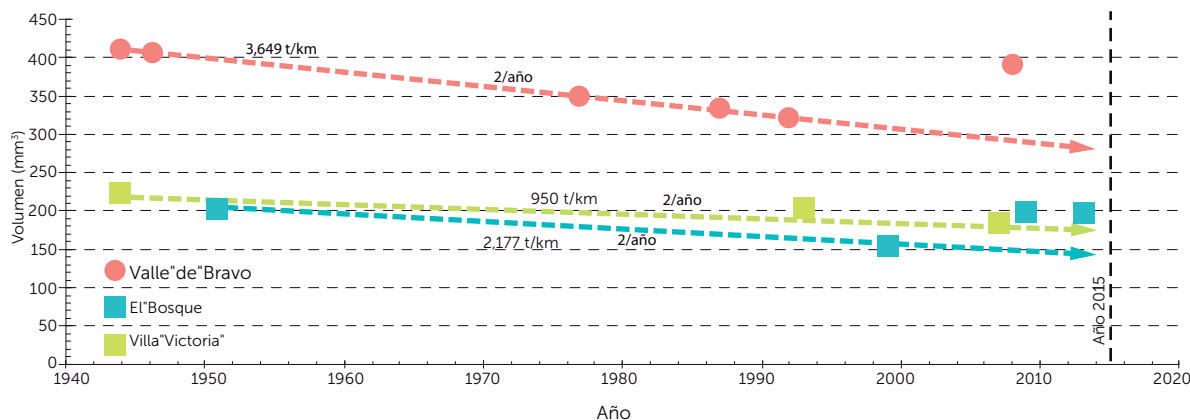
Santo Tomás) a aceptable (canal Durazno) y hasta contaminada (cortina superficial) (IMTA, 2013).

3.6. Sedimentación de los embalses

28. **Manejo sostenible de los embalses.** La capacidad del sistema Cutzamala para suministrar agua depende, sobre todo, de que cuente con un volumen adecuado de almacenamiento; no obstante, la capacidad de almacenamiento en los embalses se está perdiendo debido a la sedimentación. Además, los problemas de la calidad del agua que sufre el Sistema como consecuencia del crecimiento de algas se atribuyen, en gran parte, al reciclaje de nutrientes desde los sedimentos anaerobios en el fondo de los embalses hacia la parte superficial de la columna de agua. Para ampliar el diagnóstico, y teniendo la posibilidad de aprovechar las experiencias internacionales más recientes y exitosas, el proyecto acordó la participación de un grupo de expertos internacionales en los temas de limnología y manejo de la sedimentación; este grupo analizó la información existente y realizó una extensa visita de campo al Sistema para estudiar el manejo de los sedimentos.

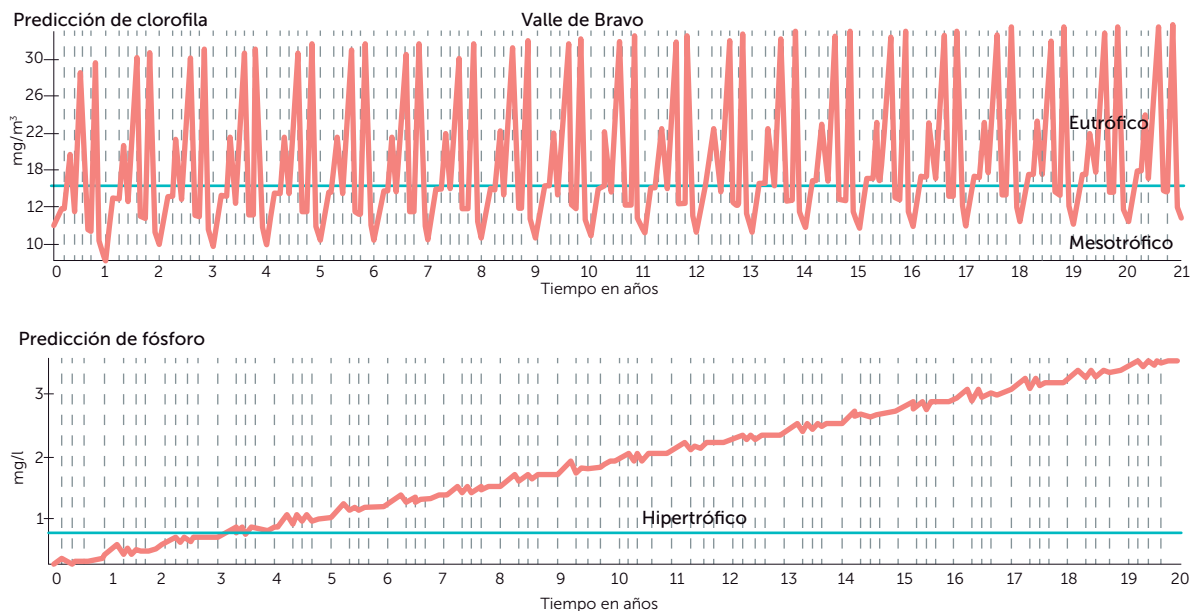
29. **Análisis de la información.** El equipo recibió información de estudios batimétricos realizados a lo largo de varias décadas, para determinar las tasas de azolvamiento y los patrones de sedimentación en las presas, así como información generada para desarrollar estrategias de manejo. La revisión de datos batimétricos para las tres presas principales (Valle de Bravo, El Bosque y Villa Victoria) reveló discrepancias severas. Hoy no se

■ **Figura 8.4. Datos de volumen en las presas y proyecciones del volumen futuro debido a la sedimentación (sin considerar los datos de estudios recientes en Valle de Bravo y El Bosque)**



(Fuente: elaboración con información de OCAVM)

■ **Figura 8.5. Predicción de la calidad del agua de la presa Valle de Bravo**



(Fuente: Acuagranjas, 2012)

conoce con certeza el volumen actual o la tasa de pérdida en volumen debido a la sedimentación. Los datos de los estudios batimétricos disponibles (Figura 4.4) muestran resultados incoherentes: los estudios más recientes en Valle de Bravo y El Bosque indican que el volumen de estos embalses es hoy del orden del 20% mayor que hace 20 años. No se sabe si los errores son principalmente en los estudios antiguos o en los nuevos, y aún no se han llevado a cabo investigaciones adicionales para subsanar este interrogante. Por eso es prioritario hacer nuevos estudios de campo, con un estricto control de calidad, tanto en la recolección como en el procesamiento de la información obtenida, y establecer un protocolo estándar para todo lo referente batimetría en el futuro.

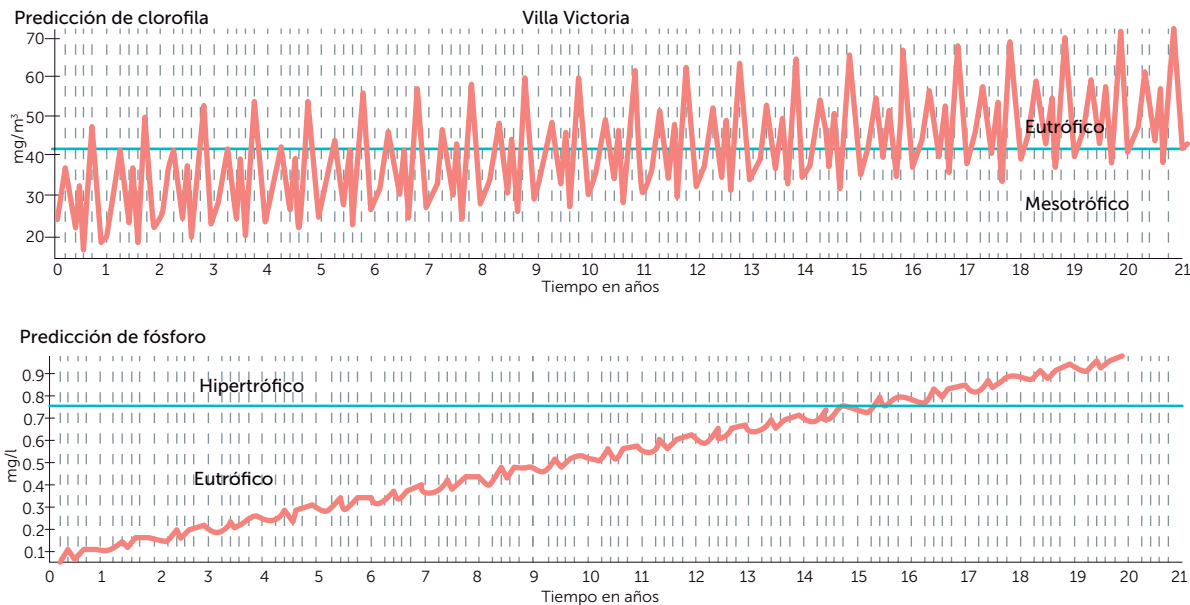
30. **Alta tasa de sedimentación y sostenibilidad.** De ser correctas las tasas de sedimentación señaladas en los estudios más antiguos (sin considerar los estudios recientes), el Sistema podría perder la mitad de su volumen actual dentro de 80 años debido a las elevadas tasas de sedimentación. Esta pérdida de volumen, junto con la reducción de los escurrimientos como consecuencia del cambio climático, indica que, en su estado actual, el Sistema Cutzamala no podría sostener su rendimiento en el largo plazo.
31. **Manejo sostenible de los embalses.** El manejo sostenible de los embalses requiere:

- el diseño de un programa de recolección de datos para entender mejor los procesos de sedimentación y las opciones para su manejo, y
- la identificación e implantación de estrategias que permitan mantener en el largo plazo el volumen de almacenamiento necesario para garantizar el suministro del agua. La implantación de una estrategia de manejo sostenible debe ser prioritaria.

4. Escenarios futuros

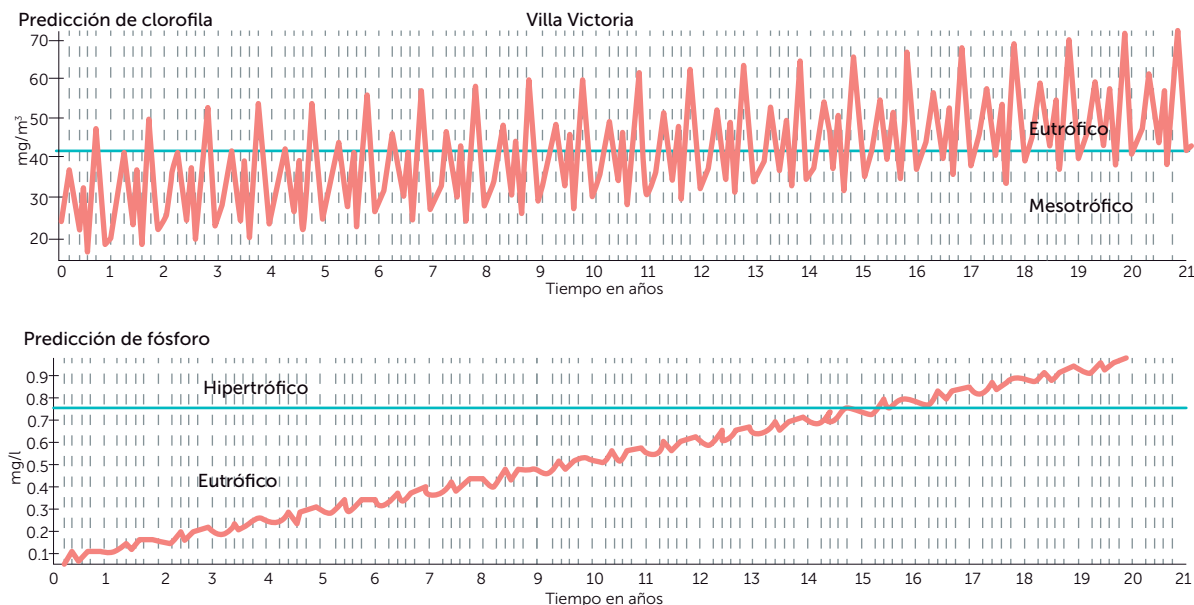
32. **Modelos de simulación.** Para la estimación de escenarios futuros se ha utilizado un modelo matemático de regresión lineal múltiple, desarrollado para manejar las siguientes tres variables (Acuagranjas, 2012):
 - concentración de fósforo total en mg/l;
 - visibilidad del disco de Secchi medida en metros, y
 - concentración de clorofila "a" en mg/m³.
33. **El embalse como un sistema.** En este modelo se hacen corridas con diferentes concentraciones y tiempos, a fin de estimar diversos escenarios. El modelo general del embalse utiliza el promedio de los factores en estudio en los

■ **Figura 8.6. Predicción de la calidad del agua de la presa Villa Victoria**



(Fuente: Acuagranjas, 2012)

■ **Figura 8.7. Predicción de la calidad del agua de la presa El Bosque**



(Fuente: Acuagranjas, 2012)

niveles de superficie y fondo y en las estaciones de monitoreo, desde la zona litoral hasta el centro y la cortina, lo que considera al embalse como un sistema de mezcla completa. Este método está diseñado para las condiciones de carga orgánica actual, por lo que en caso de alguna variación extrema, como un aumento excesivo o una disminución notable en las descargas al embalse, será necesario recalibrarlo.

34. **Valle de Bravo.** El embalse de Valle de Bravo seguirá siendo eutrófico de acuerdo con los modelos de simulación si se consideran las concentraciones de clorofila “a” para 5 y 20 años; no obstante, si se considera la concentración de fósforo, el embalse puede llegar a ser hipertrofico a partir del cuarto año si no se reducen los aportes de este nutriente. Ambos efectos indican una propensión mucho mayor al florecimiento de algas azul-verde

(cianobacterias) en el futuro, con brotes cada vez más intensos y frecuentes.

35. **Villa Victoria.** De acuerdo con los modelos de simulación, el embalse de Villa Victoria seguirá siendo mesotrófico durante ocho meses del año hasta, aproximadamente, el décimo año, cuando el número de meses mesotróficos y eutróficos se invierten. Considerando la concentración de clorofila “a”, a partir del año 12 se presentarán condiciones hipertróficas durante la mitad del año. Si se considera al fósforo, seguirá siendo eutrófico y se convertirá en hipertrófico a partir del año 15. Para Villa Victoria, dadas las condiciones de la cuenca, se espera que la situación de eutrofización se acentúa con una velocidad mayor a la que se ha venido presentando hasta ahora.
36. **El Bosque.** El embalse El Bosque seguirá siendo mesotrófico la mayor parte del año y eutrófico por dos meses. Se prevé que estas condiciones se mantengan hasta por 20 años, sin convertirse en hipertrófico si las condiciones actuales de aportación de nutrientes se mantienen; sin embargo, es probable que las condiciones actuales no se mantengan, por lo que el estado hipertrófico podría presentarse mucho antes. Por su parte, las gráficas de predicción de fósforo indican claramente que el embalse se clasifica como eutrófico.
37. **Orden de importancia.** Conforme a lo anterior, se puede prever que los mayores problemas de calidad del agua en los embalses se presentarán en el siguiente orden de importancia: primero en Valle de Bravo, después en Villa Victoria y finalmente en El Bosque.

5. Medidas

5.1. Pretratamiento en los embalses

38. **Alternativas.** Una de las formas más efectivas de combatir el crecimiento de algas en un embalse consiste en eliminar o reducir sustancialmente la carga interna, proveyendo oxigenación a las aguas profundas; esto hace que el fósforo se mantenga atrapado en los sedimentos y se elimine el nitrógeno. Se analizaron y se propusieron diversas alternativas para resolver el problema de algas en los embalses, tal como se presentan a continuación.

39. **Valle de Bravo.** Además de los métodos que ya se emplean (cosechas de macrofitas y extracción de agua del hipolimnion mediante la botatoma existente) se sugiere lo siguiente:

- oxigenación del hipolimnion (HOS) usando el cono Speece (Figura 4.8) para romper el ciclo de la carga interna de nutrientes de los sedimentos anóxicos y así reducir la eutrofización y los brotes de algas cianobacterias;
- biomanipulación (aguas profundas) para combinar con otros métodos y reducir las algas aprovechando la cadena alimenticia de zooplancton, y
- uso limitado de herbicidas para destruir algas en situaciones de emergencia.

40. **Villa Victoria.** Además de los trabajos que se realizan actualmente (cosecha de macrofitas y extracción de aguas del hipolimnion), se ha sugerido lo siguiente:

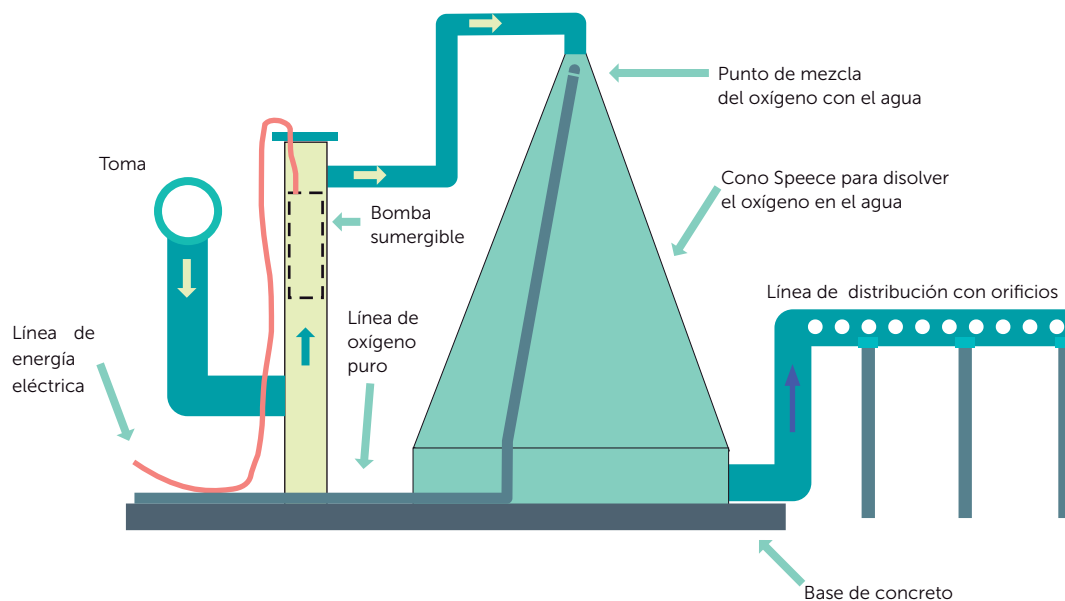
- desestratificación con mezcla de aire, mediante la adición de oxígeno en el pequeño y poco profundo epilimnion (agua de fondo) para reducir en parte la carga interna de nutrientes provenientes de los sedimentos anóxicos; asimismo, se puede usar una mezcla vigorosa del epilimnion (VEM) en aguas someras para reducir directamente los brotes de cianobacterias, ya que estos microorganismos son muy sensibles al mezclado.

41. **El Bosque.** Por su similitud física con Valle de Bravo, pero su diferente uso y distinta forma de operar, se sugiere:

- oxigenación del hipolimnion (HOS) usando el cono Speece (Figura 4.8), biomanipulación (aguas profundas) y uso limitado de herbicidas (en emergencias).

42. **El cono Speece.** Se espera que el sistema HOS recomendado que utiliza un cono Speece (Figura 4.8) elimine en buena medida la carga interna de nutrientes. Esta tecnología se ha empleado con éxito diversos embalses de Estados Unidos, incluido uno en California con características muy similares a las de Valle de Bravo. En este sitio, la población de algas (incluidas las azul-verde) se redujo en más de 80%. La diferencia principal del empleo del sistema HOS en Estados Unidos y en el Sistema Cutzamala es que en este último hay mayores aportes de aguas residuales al embalse. Sin embargo, dado que grandes cantidades de

■ **Figura 8.8.** Corte transversal esquemático del cono Speece Situado en el fondo del embalse



(Fuente: elaboración propia)

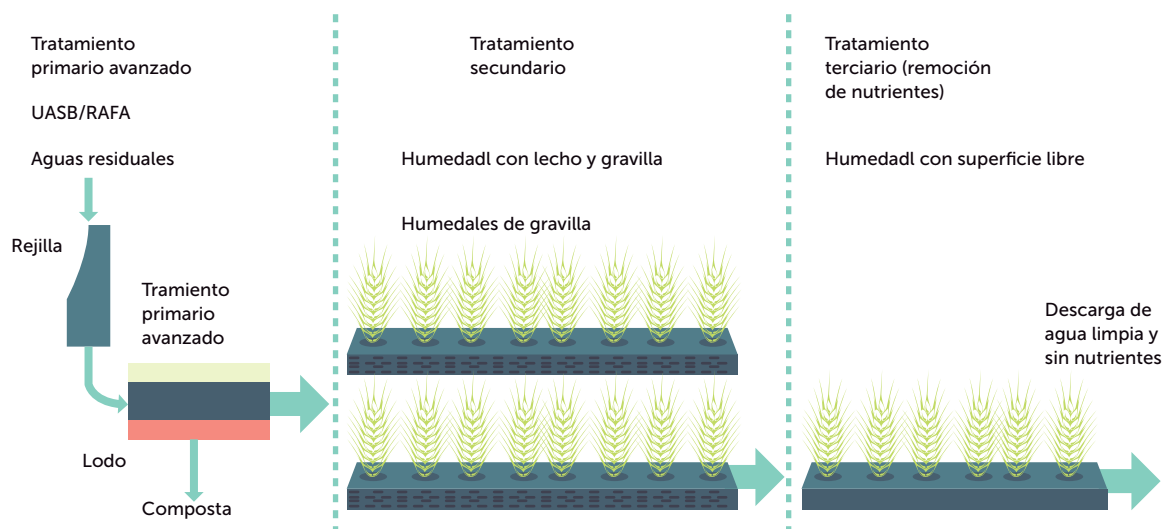
nutrientes de las aguas profundas serán secuestradas por el HOS, tanto la carga interna de nutrientes como las poblaciones de algas se verán sustancialmente reducidas. Un cono Speece instalado en Valle de Bravo tendría una altura aproximada de 7 metros.

43. **Ventajas del sistema HOS: económicas, operativas y de eficiencia.** Comparado con la opción de instalar nuevos procesos unitarios en la planta potabilizadora de Los Berros (ozonación y flotación por aire) o de construir sistemas de tratamiento de aguas residuales convencionales que además remuevan nutrientes en las descargas urbanas en la cuenca, un sistema HOS es relativamente poco costoso de construir y sencillo de operar. Se estima que los costos de adquisición e instalación para Valle de Bravo serían menores a \$45 millones de pesos, con costos de operación inferiores a los \$2.3 millones de pesos al año. El sistema puede ser fabricado e instalado en un periodo menor de 6 meses y generaría beneficios importantes desde el primer año de su funcionamiento. Por su parte, el sistema de mezcla con aireación para Villa Victoria costaría menos que el HOS, pero se estima que los costos de operación serían mayores y dependerían de la disponibilidad de energía y la batimetría del embalse. Otros métodos considerados como viables deberían instaurarse; entre ellos, sólo el de estabilización de niveles del agua sería independiente del HOS y es una parte importante, básica o complementaria de los otros métodos.

5.2. Manejo de cuencas

44. **Acciones complementarias.** Además de las medidas descritas para el mejoramiento de la calidad de agua en los embalses, es preciso emprender acciones complementarias en el nivel de las cuencas de aportación.
45. **Remoción de nutrientes de descargas puntuales de aguas residuales municipales.** Las descargas municipales aportan una carga importante de nutrientes a los embalses. Existen métodos económicamente eficientes para alcanzar niveles terciarios de tratamiento (remoción de nutrientes) mediante sistemas novedosos que no emplean energía. Se debería dar prioridad a la construcción de sistemas demostrativos de tratamiento con “cero energía”, incluyendo la remoción de nutrientes para las descargas no tratadas en Villa Victoria. En la planta de tratamiento de Zitácuaro se recomienda la instalación de un humedal para la remoción de nutrientes y como tratamiento terciario del actual efluente secundario.
46. **Reducción de cargas de nutrientes provenientes de operaciones ganaderas.** Las actividades ganaderas, confinadas o no, pueden incrementar sustancialmente la carga de nutrientes. En las subcuencas del Sistema, las aportaciones de nutrientes de actividades confinadas provienen principalmente de producciones trutícolas y porcinas. Se sugiere seleccionar varias granjas para el diseño e

■ **Figura 8.9. Los tres componentes de un sistema de tratamiento “cero energía”**



(Fuente: elaboración propia)

instalación de sistemas demostrativos de remoción de nutrientes mediante humedales u otras prácticas de manejo que reduzcan sustancialmente los nutrientes en sus descargas.

47. **Remoción de nutrientes de fuentes no puntuales de aguas residuales domésticas.** Los problemas por las cargas de nutrientes provenientes de fosas sépticas o de descargas directas en comunidades que carecen de drenaje suelen abordarse mediante la construcción de sistemas de recolección y plantas de tratamiento o mediante la instalación de humedales para la remoción de nutrientes de los efluentes de las fosas sépticas. En el caso de las subcuencas del Sistema, algunas comunidades descargan directamente a los embalses (por ejemplo, en Valle de Bravo); hay proyectos en marcha para ampliar la cobertura de los sistemas de alcantarillado sanitario (por ejemplo, en Avándaro, adyacente al embalse de Valle de Bravo). Se debería dar prioridad a la recolección y tratamiento de aguas residuales municipales que descargan directamente en los embalses; este factor, especialmente en Valle de Bravo, implica un problema de salud pública dado el intenso uso recreativo que tiene la presa. Con menor prioridad en tiempo se debe atender a las comunidades más alejadas y a aquellas con baja densidad de población.
48. **Reducción de cargas de nutrientes provenientes del uso de fertilizantes.** El empleo de fertilizantes en actividades agrícolas y de jardinería puede transportarse hacia los embalses por los escurrimientos de agua de lluvia.

Normalmente, para este problema se sugiere evitar la sobrefertilización y contar con áreas vegetadas de retención de escurrimientos, como zonas de amortiguamiento u otros métodos para capturar la mayor cantidad de nutrientes posible directamente de los escurrimientos. Un programa de control para el uso de fertilizantes no se considera en este momento como prioridad de acción inmediata, pues no se espera que aporte beneficios en el corto plazo.

49. **Construcción de humedales que funcionen como trampa para remover nutrientes de fuentes no puntuales.** Los escurrimientos provenientes de zonas urbanas o áreas intensamente fertilizadas, así como los arroyos con alto contenido de nutrientes (provenientes de descargas sin tratamiento aguas arriba) pueden conducirse hacia zonas de humedales diseñadas para la remoción de nutrientes. Cuando se emplean para escurrimientos pluviales, suelen tratarse las aguas de las primeras lluvias por ser las que aportan mayores cantidades de nutrientes.
50. **Costos y deficiencias en la operación y mantenimiento de los equipos.** Actualmente, el principal impedimento para garantizar un tratamiento adecuado de aguas residuales en pequeñas comunidades es la deficiente operación y mantenimiento de los equipos de tratamiento, así como los altos costos de energía que requieren estos equipos para operar. En comunidades más grandes, con posibilidades de operar sistemas de tratamiento de

nivel secundario, la remoción de nutrientes representa un costo adicional significativo y una complejidad mayor. En esta situación, la utilización de un humedal para la remoción de nutrientes puede ser una alternativa menos costosa, menos complicada y más atractiva.

51. Sistemas de tratamiento de aguas residuales con “cero energía”. Un sistema de tratamiento de aguas residuales sin consumo de energía puede ser una respuesta frente a las dificultades mencionadas. En la Figura 4.9 se muestra conceptualmente el proceso de tratamiento con “cero energía” en tres etapas:

- *Primera.* Se conduce el agua cruda a través de una rejilla no mecanizada tangencial y de allí a un reactor anaeróbico de flujo ascendente (RAFA); es un proceso unitario que remueve sólidos sedimentables y aproximadamente un 60% de la DBO5 proveniente de las aguas crudas. Su tiempo de retención promedio es de 8 horas.
- *Segunda.* El paso del agua por un humedal construido sobre un lecho de gravilla permite alcanzar un nivel secundario de tratamiento, con una profundidad de grava saturada de alrededor de 0.45 m y 24 horas de retención.
- *Tercera.* Un humedal abierto con una profundidad de aproximadamente 0.45 m y con un tiempo de retención de hasta 7 días.

52. Ventajas del tratamiento “cero energía”. A pesar de que este sistema requiere una superficie mucho mayor que un tratamiento convencional, esto se compensa ampliamente porque logra ahorros tanto en la fase de construcción como durante operación del sistema, pues no requiere equipos mecánicos o el consumo de energía en el proceso de tratamiento. Como consecuencia, la operación del sistema es muy sencilla y también reduce el costo del personal requerido para su operación y mantenimiento. Además, a diferencia de los sistemas tradicionales de tratamiento, éste se ve afectado mucho menos por las variaciones en el flujo y la calidad de las aguas que ingresan (en comparación, por ejemplo, con una planta de lodos activados).

53. Fase de demostración en Villa Victoria y Zitácuaro. Se recomienda la construcción prioritaria y demostrativa de un sistema de “cero energía” de tres fases para Villa Victoria: un sistema a cada lado de la población, donde se

concentran las aguas residuales. También se sugiere la instalación de una tercera fase del sistema para tratar el efluente de la planta de tratamiento de Zitácuaro. Así, basados en los resultados de esta fase de demostración, el sistema “cero energía” de bajo costo podría replicarse en forma extensiva, en la medida de lo posible, en el resto de la cuenca del Sistema.

54. La aplicación en Valle de Bravo. Se sugiere asimismo lograr el pulimiento de los efluentes de Valle de Bravo para alcanzar remociones sustanciales de nitrógeno inorgánico (amonio y nitratos), pues la planta de tratamiento descarga directamente al embalse. Para esto se requieren algunas mejoras. Una primera opción consistiría en bombear el efluente hasta un sitio donde pudiera construirse un humedal para remoción de nutrientes, ya sea en zona plana o en terrazas. La segunda opción sería mejorar la capacidad de remoción de nutrientes en el sistema actual, que podría optimizarse con la primera opción, con lo que se obtendría agua tratada de muy alta calidad.

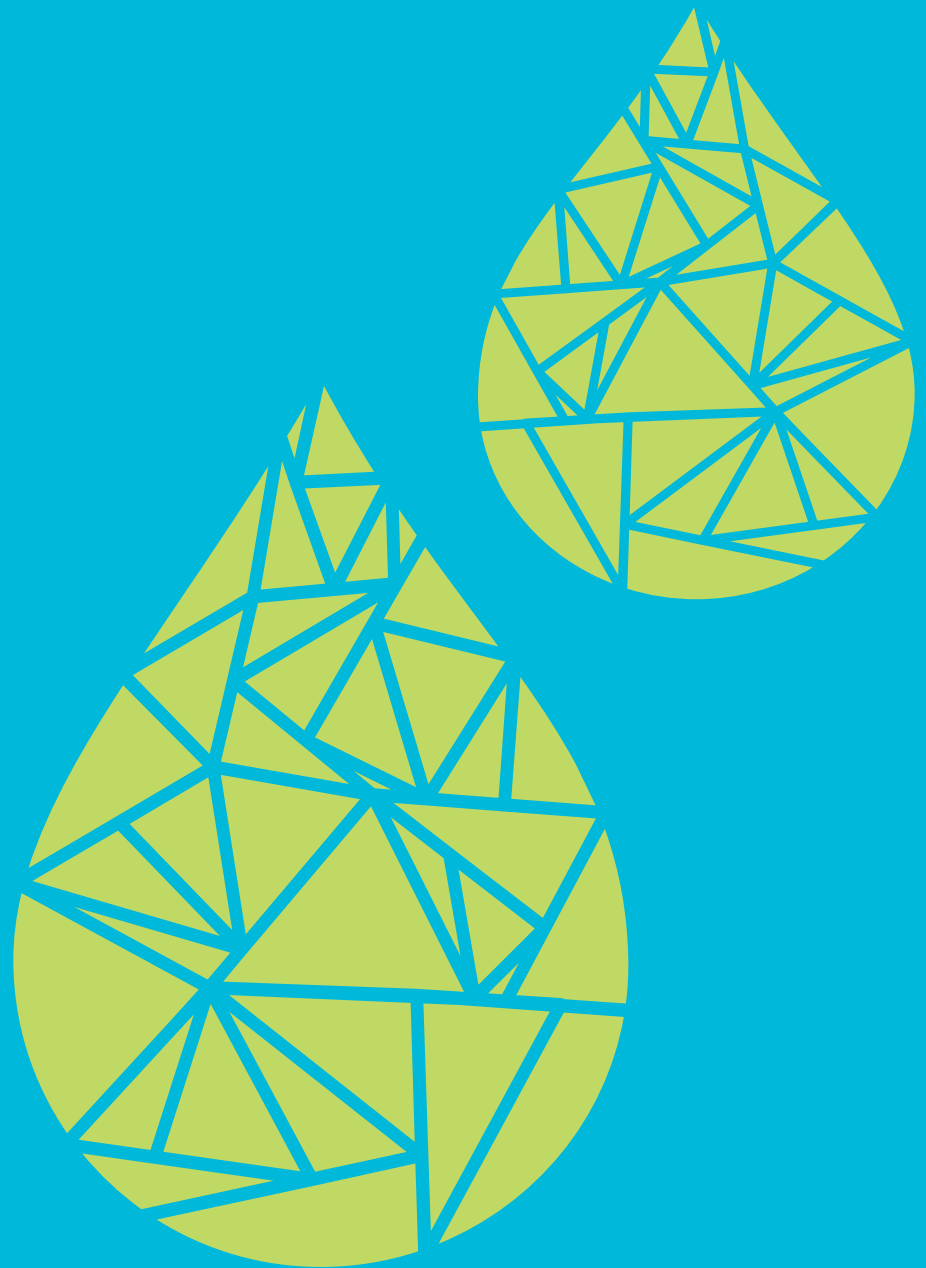
55. La planta potabilizadora Los Berros. Del análisis realizado en los párrafos anteriores se concluye que para garantizar la calidad del agua que suministra el Sistema Cutzamala, en relación con la presencia de algas azul-verde en los embalses, además de las acciones que ya se están realizando, deben removerse nutrientes en las fuentes puntuales y no puntuales de contaminación; eliminar o reducir sustancialmente la carga interna de nutrientes en los vasos, y modificar y mejorar los procesos en la planta Los Berros. En este sentido, se propone que se sigan realizando los análisis de factibilidad técnica y económica para incorporar procesos destinados al control de algas en la planta de Los Berros, como el empleo de flotación con aire disuelto, el uso de filtros de carbón activado o la dosificación optimizada de carbón activado en los canales alimentadores de agua a la planta. Además, en el apartado de *Infraestructura* se proponen otras medidas para mejorar el funcionamiento de las instalaciones de depuración.

6. Conclusiones

56. De mantenerse las condiciones actuales en el Sistema, se incrementará la frecuencia de los problemas relacionados con el deterioro de la calidad del agua. Esto pondrá en riesgo la

confiabilidad del proceso de potabilización en Los Berros, además de los problemas de continuidad en su operación y de costos excesivos en reactivos y energía eléctrica para tratar de resolverlos.

57. La problemática de la contaminación de los embalses y de la calidad del agua del Sistema es multifactorial y se relaciona con aspectos geológicos, con actividades productivas en la zona, con el uso de los ríos y canales, y con el aprovechamiento del agua; esto condiciona la posibilidad de emplear posteriormente el recurso, tanto en actividades locales como para el abastecimiento de agua potable. Las instancias locales y federales deben articular sus esfuerzos para conseguir que el deterioro del sistema se detenga y se revierta. No obstante, ninguna propuesta parece viable si no existe un organismo coordinador y las condiciones presupuestales necesarias.
58. Como se explica en el apartado de *Aspectos Institucionales*, la gestión integrada del recurso hídrico en las subcuencas del Sistema Cutzamala implica que todos los actores involucrados en el sector del agua definan objetivos comunes, que se fortalezcan las capacidades institucionales y que se especifiquen las funciones y responsabilidades de las diversas instituciones. La acción intersectorial y multinivel, sumada a la participación de los usuarios, es esencial para superar los problemas actuales de calidad del agua.
59. Sedimentación y sostenibilidad de los embalses. La capacidad del Sistema Cutzamala para suministrar agua depende, sobre todo, de que cuente con un volumen adecuado de almacenamiento. Sin embargo, no se ha puesto la atención necesaria para conocer con certeza el volumen actual de los embalses y sus tasas de azolvamiento, a pesar de que los datos existentes sugieren una alta tasa de sedimentación. Se recomienda implantar un programa de recolección de datos diseñado para entender mejor los procesos de aporte y deposición/acumulación de sedimentos en los embalses, así como el diseño de una estrategia de manejo sostenible para asegurar un volumen suficiente que garantice la disponibilidad del agua en el largo plazo.
60. La presencia y florecimiento masivo de algas cianofitas en el Sistema aún no se comprende cabalmente; requiere una mayor investigación y evaluación, a pesar de que sus consecuencias son evidentes. La información disponible sobre las condiciones que favorecen este florecimiento no es suficiente para su predicción detallada. Sin embargo, existen opciones tecnológicas prometedoras para reducir sustancialmente la proliferación de algas en los embalses y mejorar la capacidad de manejar las algas en la planta de tratamiento Los Berros mediante la aplicación de carbón activado y la optimización de los procesos de coagulación y sedimentación.





Aspectos económicos y financieros

Este apartado presenta el costo total del Sistema Cutzamala, incluyendo no sólo los costos de suministro, sino también el costo de oportunidad en el punto de captación y las externalidades económicas y ambientales. Se presenta, además, el balance financiero comparando los costos de suministro con las contribuciones monetarias que se generan en el Sistema, así como la magnitud de los subsidios que financia la Federación. Se complementa el análisis con el balance económico en el que se estima la magnitud de los subsidios y los costos asumidos por la sociedad. Finalmente, se presentan algunas reflexiones y recomendaciones.

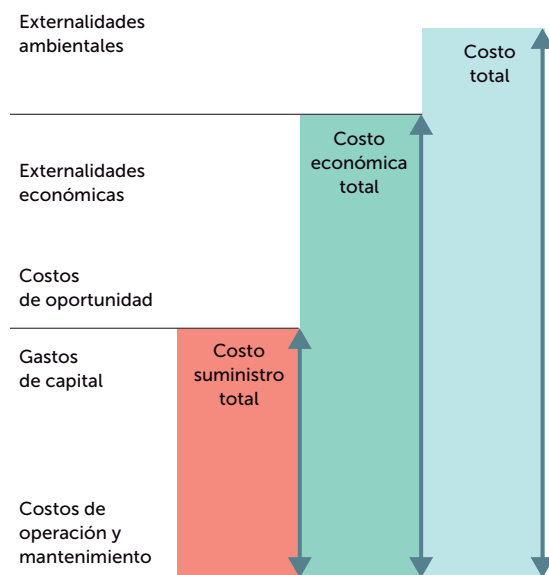
1. Costo total del agua en el sistema Cutzamala

1. **Cálculo del costo del agua en el Sistema.** Para el cálculo del costo del agua en el Sistema Cutzamala se incorporan tres conceptos: el costo total del suministro (costo financiero), el costo económico y el costo total. La Figura 9.1 presenta de forma esquemática los diversos componentes que integran el costo.
2. El costo total incluye los costos de suministro tradicionales (costo financiero de operación, mantenimiento y capital) y otros costos económicos no convencionales (el costo de oportunidad y las externalidades económicas y ambientales).

1.1. Costo financiero de suministro

3. **Costo de suministro.** Corresponde al costo asociado con las acciones de operación, mantenimiento, conservación, modernización y mejoramiento del sistema. Se clasifican en costos de operación y mantenimiento, y costos de capital.
4. **Costos de operación y mantenimiento.** Los costos de operación y mantenimiento incluyen:
 - costos de energía eléctrica,

■ **Figura 9.1 Componentes del costo**



(Fuente: OECD, 2010)

- costos de personal y
- costos de mantenimiento y conservación.

Entre los *costos de mantenimiento y conservación* están:

- costos de materiales,
 - servicios de vigilancia y otros,
 - equipos y maquinaria, y
 - obras civiles para el mantenimiento y la conservación de la infraestructura.
5. **Costos de capital.** Los costos de capital equivalen a los costos de modernización y mejoramiento, y corresponden a las inversiones necesarias para incrementar la seguridad, para flexibilizar la operación y garantizar el funcionamiento de la infraestructura. Entre las acciones que se incluyen en este rubro se encuentran:
- la tercera línea de conducción, que dará mayor seguridad al sistema;
 - las mejoras en la planta potabilizadora Los Berros;
 - las obras para reforzar la seguridad y el control de supervisión, y
 - el mejoramiento de acueductos y canales.

■ **Tabla 9.1. Costos de suministro, 2014-2018 (millones de pesos)**

	2014-2018	Anual
Operación y mantenimiento		
A) Mantenimiento y conservación		
1. Materiales	1,615	323
2. Servicios	1,227	245
3. Equipo y maquinaria	569	114
4. Obras civiles	2,455	491
Subtotal	5,866	1,173
B) Servicios de energía eléctrica	11,892	2,378
C) Personal	472	94
Total de operación y mantenimiento	18,230	3,646
Capital		
D) Mejoramiento		
1. Tercera línea TO5 a entrega	4,500	225
2. Planta potabilizadora Los Berros	413	41
3. Acueductos y canales	3,855	193
4. Reequipamiento de plantas de bombeo	2,100	210
5. Control Supervisorio	200	40
6. Presas y limpieza de vasos	365	73
7. Obras para reforzar la seguridad	173	35
8. Estudios y proyectos	387	77
9. Obras sociales	200	40
Total capital	12,193	934
TOTAL	30,423	4,580

Los costos anuales de operación y mantenimiento corresponden al promedio resultante del periodo 2014-2018.

Los costos anuales de capital se estiman de acuerdo con la vida útil, que se estimó en 20 años para las líneas y los canales, y 10 años para el equipo de bombeo.

(Fuente: apartado de Infraestructura para todos los ítems, excepto personal, tomado del presupuesto aprobado del OCAVM para el Sistema Cutzamala)

6. Los detalles de los costos se presentan en el la Tabla 9.1.

1.2. Costo de oportunidad

7. **Costo de oportunidad.** El costo de oportunidad es un indicador de la competencia por el uso del recurso, como es el caso del agua que se capta en las subcuencas que alimentan al Sistema Cutzamala. Corresponde al costo causado por un sector al consumir el agua e impedir que se destine a otro uso que valora en mayor medida este recurso. En otras palabras, el costo de oportunidad representa el mejor uso

alternativo que se le pueda dar al agua captada en las subcuencas. Este costo equivale a cero solamente cuando no existe un uso alternativo para el agua, es decir, cuando no hay escasez.

8. **Competencia entre usos.** En los apartados de *Usos del Agua en las Subcuencas* y de *Balances Hídricos* se presentan con detalle los usos y el volumen del agua utilizada por los diferentes sectores. Los principales usos de agua son el abastecimiento público, el riego y la acuicultura. Para calcular el costo de oportunidad se estima el valor económico del agua en cada uno de los sectores en el punto de captación.
9. **Sector agrícola.** Para estimar el valor económico del agua en el sector agrícola se seleccionó el método del análisis residual, derivado de la diferencia entre los ingresos y los costos asociados a los factores de producción distintos al agua. El valor por m³ resulta del valor residual dividido por el volumen del agua utilizado por hectárea. Este valor es un indicativo de la disponibilidad máxima que el agricultor estaría dispuesto a pagar por un m³ de agua.
10. **El Distrito de Riego 045 Tuxpan .** Este Distrito se toma como referencia para estimar el valor residual del agua. La información con la cual se hacen los cálculos corresponde a datos de la CONAGUA (CONAGUA, 2014) relacionada con el rendimiento, el costo de producción y el consumo de agua por hectárea. La información está diferenciada por tipo de cultivos, según sea perenne o anual, y de acuerdo con la estación. El 80% del área sembrada con cultivos perennes se destina al guayabo (57%), chayote (16%) y fresa (7%), mientras que el 80% del área sembrada con cultivos anuales se dedica al maíz (49%) y a la avena forrajera (31%). Al sumar las áreas de cultivos perennes y de cultivos anuales, se encuentra que el maíz

ocupa la mayor parte del área (32%), seguido del guayabo (20%), la avena forrajera (7%), el chayote (6%) y otros cultivos (35%).

11. **Volumen de agua.** De acuerdo con el plan de riegos para el Distrito en el periodo 2014-2015 elaborado por la CONAGUA, el volumen neto de agua por hectárea varía significativamente entre cultivos, desde 4,000 m³ para el maíz hasta 19,000 m³ para la fresa. El chayote requiere 17,000 m³ y el guayabo 11,000 m³. El promedio en el Distrito es de 7,500 m³/ha.
12. **Valor residual.** El valor residual por m³ resulta de la división de la utilidad neta por el volumen de agua consumida. Los resultados varían de acuerdo con el cultivo. Para la avena forrajera es de \$2.04 pesos/m³, mientras que para el chayote es de \$8.3 pesos/m³. El promedio ponderado de todo el Distrito es de \$5.6 pesos/m³.
13. **Este diagnóstico no estudia el impacto de los resultados que podrían causar la introducción de mejoras en la utilización del riego.** Tampoco el impacto que resultaría si los costos de los insumos se transformaran a precios sombra, eliminando los subsidios que se le otorgan al sector agrícola, especialmente en la energía.
14. **Abastecimiento público.** Tal como se explica en el apartado de *Usos del Agua en las Subcuencas*, el agua que se entrega para el abastecimiento público se hace a través de las siguientes instancias:
 - organismos operadores en las tres localidades de mayor tamaño en las subcuencas;
 - organizaciones a cargo del suministro de agua a las pequeñas localidades en las subcuencas, y

■ **Tabla 9.2. Valor residual por m³ en los principales cultivos del Distrito 045**

	Rendimiento (\$/ha)	Costo de producción (\$/ha)	Valor residual (\$/ha)	Volumen de agua neto (m ³ /ha)	Valor residual (\$/m ³)
Maíz (anual)	33,600	9,978	23,622	4,272	5.52
Guayabo (perenne)	116,000	35,942	80,058	11,100	7.21
Avena forrajera Primavera-Verano	16,250	5,974	10,276	5,033	2.04
Chayote (perenne)	187,500	39,908	147,592	17,747	8.31
Otros cultivos (anual y perennes)	45,463	16,775	28,689	7,256	3.95
Total (promedio Distrito)	61,759	18,986	42,772	7,511	5.69

(Fuente: elaboración propia con base en el plan de riegos 2014-2015 de la CONAGUA para el Distrito de Riego 045)

- a través del Sistema Cutzamala que la transporta para entregarla en bloque a organismos operadores del Estado de México y del Distrito Federal.

- 15. Valor económico del agua para abastecimiento público.** En este diagnóstico no se hizo un estudio del valor económico del agua para abastecimiento público en el punto de captación. Dada la importancia que tiene el agua en la salud pública y en la calidad de vida de la población, es probable que el valor económico del agua para abastecimiento público en el punto de captación sea superior al del sector agrícola. Como referencia del posible valor del agua en las subcuencas, la CONAGUA ha establecido una cuota por el derecho de uso de agua superficial en la zona de disponibilidad 1 (área de estudio) para los usuarios privados equivalente a \$13.8 pesos/m³. Esta cuota establecida en la Ley Federal de Derechos (Artículo 223-Apartado A) corresponde a más del doble del valor económico obtenido para el sector agrícola. De acuerdo con la CONAGUA, esta cuota refleja la situación de escasez del agua en las subcuencas (medida por la disponibilidad del agua en la zona) y la competencia por su uso.
- 16. Cuota por derechos de uso agua para abastecimiento público.** La cuota establecida en la Ley Federal de Derechos (Artículo 223-Apartado B-Fracción I) por el uso de agua en el área de estudio para empresas que presten el servicio de agua potable y alcantarillado es muy inferior a la cuota establecida para los privados, y equivale a \$0.41 pesos/m³. De acuerdo con la CONAGUA, esta cuota se estableció con un alto subsidio, ya que el servicio de agua potable es indispensable para la población. Dada la falta de mejor información y a pesar de que esta cuota no corresponde al valor del agua para abastecimiento público sino al precio pagado por las empresas operadoras, esta cifra se utiliza en este diagnóstico para encontrar el costo de oportunidad. No obstante, se requieren estudios adicionales para mejorar esta estimación.
- 17. Acuicultura.** Lo mismo que con el costo del agua para abastecimiento público, este diagnóstico utiliza como aproximación la cuota por derecho de agua establecida en la Ley Federal de Derechos (Artículo 223-Apartado B-Fracción III) para este uso, equivalente a \$0.003 pesos/m³. Esta aproximación tiene la misma

■ **Tabla 9.3. Costo de oportunidad en el punto de captación (\$/m³)**

Sector	Valor económico agua en la captación	Costo de oportunidad
Agrícola	5.691	
Abastecimiento público	0.412	
Acuicultura	0.0032	
Total		5.69

¹ Se utiliza el valor residual por m³ promedio en el Distrito 045

² Para el sector de abastecimiento público y de acuicultura, el valor utilizado corresponde a la cuota cobrada por el derecho de uso de agua en las subcuencas
(Fuente: elaboración propia)

debilidad de la utilizada para el cálculo de la cuota de abastecimiento público.

- 18. Costo de oportunidad total.** Comparando las alternativas de uso, se encuentra que el agrícola es el sector con mayor valor y por lo tanto es la referencia que se toma en este diagnóstico para calcular el costo de oportunidad. El resultado obtenido se utiliza como referencia preliminar para reflejar la competencia por el recurso en situación de escasez. Sin embargo, se requieren estudios adicionales para mejorar la estimación.
- 19.** Cuando se aplica el costo de oportunidad por m³ al volumen medio anual entregado en bloque por el sistema Cutzamala, se obtiene un costo de oportunidad total de \$2,616 millones de pesos por año. El volumen anual entregado a las ZMVM y ZMT es de aproximadamente 460 hm³, correspondiente al caudal promedio de 14.58 m³/s entregado por el sistema en el periodo 2006-2012 (véase el apartado de *Usos del Agua en las Subcuencas*).
- 1.3. Externalidades económicas**
- 20. Costo de las externalidades económicas.** Las externalidades económicas que se consideran en este diagnóstico corresponden al costo o beneficio en las diferentes subcuencas por los trasvases de agua generados con el Sistema Cutzamala. Se genera un costo o una externalidad económica cuando el impacto es negativo, por ejemplo, cuando hay sobreexplotación de una fuente; al mismo tiempo, se produce un beneficio o una externalidad positiva cuando se mejora la disponibilidad del recurso. Otras externalidades, como las causadas por la

contaminación del agua, se analizan en las externalidades ambientales.

21. **Cuota de trasvase.** Se asume el costo de las externalidades económicas igual a las cuotas de trasvase definidas en la Ley Federal de Derechos. Estas cuotas se establecieron con base en la disponibilidad de agua de las subcuencas importadoras y exportadoras. Las cuotas establecidas para cada uno de los sectores que usa el agua de las subcuencas son las siguientes:

- el sector *agrícola* está exento del pago para los volúmenes concesionados al Distrito de Riego; sólo para volúmenes mayores se establece una cuota de \$0.15 pesos por m³;
- los sectores de *acuacultura* y de *abastecimiento público* tienen una cuota de \$0.6 pesos por millar de m³ y \$74 pesos por millar de m³, respectivamente.

22. Tomar las cuotas de trasvase como referencia del costo económico es conservador por cuanto los sectores que usan el agua en las subcuencas reciben un subsidio y, por lo tanto, estas cuotas no reflejan el impacto económico real causado por la importación y exportación del agua entre subcuencas. La magnitud del subsidio no se analiza en este diagnóstico; sin embargo, si se toma como referencia la cuota de trasvase definida para el sector privado de \$2.5 pesos/m³, la magnitud del subsidio es significativa. Para el cálculo del costo de trasvase en este estudio se utiliza la cuota definida en la Ley de Derechos para el abastecimiento público (tabla 9.4) y el volumen de agua en bloque entregado por el Sistema Cutzamala (460 hm³), lo que resultan en un costo anual de 34 millones de pesos.

23. **Sobreexplotación del acuífero.** El sistema genera una externalidad positiva importante con el caudal de agua que se entrega en el Valle de México, reflejada en el alivio de la recarga del

acuífero en el Valle de México. La sobreexplotación del acuífero ha sido un problema en el Valle de México y ha traído problemas serios de hundimientos de los terrenos. De no existir el agua del Cutzamala, la situación sería aún más crítica. El costo de este impacto no se estimó en este diagnóstico.

1.4. Costo económico total

24. **Costo económico total.** Este valor es la suma del *costo de suministro* más el *costo de oportunidad* y el *costo de las externalidades económicas*. El costo económico se expresa en precios de mercado y, por lo tanto, no se eliminaron las distorsiones como impuestos y subsidios. El costo económico total obtenido es de \$7,230 millones de pesos por año.

1.5. Externalidades ambientales

25. **Impacto ambiental.** Las externalidades ambientales se relacionan con la salud pública y el mantenimiento de los ecosistemas. La sostenibilidad ambiental del suministro de agua desde el Sistema Cutzamala tiene riesgos. Entre los problemas ambientales que presenta el Sistema se pueden mencionar los siguientes, citados por el PROCYMI:

- la pérdida y degradación de la cobertura vegetal de las subcuencas, generadoras del ciclo hidrológico y de los escurrimientos que capta;
- el avance de la agricultura de temporal con inadecuadas prácticas de cultivo que han propiciado la degradación de los suelos y han reducido la capacidad de infiltración y retención de agua;
- el predominio del régimen de riego en algunos canales de conducción, tanto por las tomas regulares como por las irregulares, que limita la operación del Sistema y pone en riesgo el suministro;
- las presas del Sistema Cutzamala han venido sufriendo un deterioro significativo en la calidad del agua, tal como se presenta en el apartado de *Calidad del Agua en las Subcuencas*. Este riesgo puede comprometer la calidad del agua suministrada a las ZMVM y ZMT o provocar la suspensión del suministro.

■ **Tabla 9.4. Cuota de trasvase**

Sector	(\$/ m ³)
Agrícola	
Para volumen concesionado	0.000
Para volumen superior al concesionado	0.0263
Abastecimiento público	0.0740
Acuacultura	0.0006

(Fuente: Ley Federal de Derechos 2014. Artículo 223-Bis Apartado B (fracción I y III) y Apartado C)

26. **Externalidades ambientales.** Una forma de medir los impactos ambientales y de salud que padece el Sistema Cutzamala es cuantificando el costo de medidas dirigidas a evitar el daño. Estas medidas tienen que ver, entre otras, con:

- la restauración y conservación de la cobertura vegetal mediante proyectos de buenas prácticas agropecuarias, forestales y gestión de recursos hídricos sostenibles;
- el mejoramiento de los servicios de agua potable y alcantarillado;
- el tratamiento de aguas residuales generadas por la población urbana y rural localizadas en las subcuencas y descargadas en los cuerpos de agua que alimentan el Sistema, y
- la rehabilitación y modernización del Distrito de Riego y de las Unidades de Riego, así como la tecnificación de riego para aumentar la eficiencia del uso del agua.

27. **Costos para evitar el daño ambiental.** En el apartado de *Infraestructura* se hicieron algunas recomendaciones sobre las acciones requeridas para garantizar la sostenibilidad ambiental del Sistema. Estas acciones tienen que ver con:

- la tecnificación en el Distrito de Riego 045 y en las Unidades de Riego;
- el tratamiento de aguas residuales de las comunidades urbanas en áreas que afectan las subcuencas;
- el abastecimiento de agua y saneamiento en las cuencas de aportación al Sistema;
- la protección de las áreas de bosques, y
- la conservación de suelos y aguas.

28. **Tecnificación del Distrito de Riego 045 y de las Unidades de Riego.** Se estima que el requerimiento para tecnificar el riego es de \$30,000 pesos por hectárea. La superficie utilizada para el riego es de 34,500 hectáreas, ubicadas en dos áreas en la región (véase el apartado de *Aspectos Hidroagrícolas*): una se encuentra físicamente dentro de las subcuencas con una superficie de 26,500 hectáreas (véase el apartado de *Medio Biofísico*) y otra que, si bien se sitúa fuera de las subcuencas, está servida por dos canalizaciones que forman parte de la infraestructura del Sistema (8,000 hectáreas). En este diagnóstico no se dispone del número de hectáreas

■ **Tabla 9.5. Costo de tecnificación de Distrito 045 y Unidades de Riego**

Sector	Superficie (ha)	Costo total (millones de pesos)
Totales	34,5001	
% hectáreas que requieren tecnificación:		
10%	3,450	1042
50%	17,250	518
100%	34,500	1,035

1 Apartados Hidroagrícola y Medio Biofísico.

2 Cálculos propios considerando un costo de \$30,000 pesos por hectárea (apartado *Infraestructura*) multiplicado por el número hectáreas de riego (Fuente: elaboración propia)

que requiere este nivel de tecnificación; por lo tanto no se puede determinar su valor exacto. Como referencia se presenta a continuación la estimación del costo para varios porcentajes del área por tecnificarse. Si se hace con el área total de riego, el costo equivale a \$1,035 millones de pesos. La vida útil de los equipos se estima en 10 años, lo que resulta en un costo anual de \$103.5 millones de pesos.

29. Para el cálculo de los costos que se presentan en este diagnóstico, se utilizan en forma aproximada los costos de tecnificación correspondientes al 50% del área, es decir, \$518 millones de pesos, que corresponden a un costo anual de \$52 millones de pesos. Es necesario profundizar más en el tema para mejorar el cálculo.

30. **Tratamiento de aguas residuales de las comunidades urbanas y rurales en las subcuencas.** En el apartado de *Infraestructura* se estima el costo del tratamiento de aguas residuales en las comunidades urbanas de las subcuencas, como Ciudad Hidalgo, en \$340 millones de pesos. Se calcula que esta inversión tendrá una vida útil de 20 años, lo que resulta en un costo anual de \$17 millones de pesos.

31. **Costo de protección de las áreas de bosques.** El costo de las actividades dedicadas a la protección de las áreas de bosques también se suma en el costo de externalidades ambientales, ya que este tipo de acciones permite evitar el daño a través de la recarga hídrica, buscando que los productores forestales mantengan, conserven, o aumenten la cobertura forestal natural o inducida, y se reduzcan las cargas de sedimentos en las partes bajas de las cuencas, se conserven los cuerpos de agua y disminuyan los riesgos de inundación.

32. El costo de la protección forestal se estima con base en el pago anual por servicios ambientales

hidrológicos que hace el programa PROBOSQUE en el Estado de México, equivalente a \$1,600 pesos por hectárea. La superficie ocupada por bosque en el área de estudio es de 1,579 km² (equivalente a 157,900 hectáreas), de acuerdo con el apartado de *Medio Biofísico*. El costo total de protección depende del porcentaje de hectáreas que son elegibles para este tipo de programas. Si se aplica a toda la superficie de bosque, el costo total anual sería de \$253 millones de pesos.

33. En este diagnóstico se utiliza un porcentaje aproximado de 50% de la superficie, lo que resulta en un costo anual de \$126 millones de pesos. Para obtener una mejor estimación se requieren estudios más detallados.

34. **Costo de conservación de suelos y aguas.** En el apartado de *Medio Biofísico* se presenta el uso del suelo dedicado a la agricultura de temporal con una superficie de 133,700 hectáreas. En el mismo apartado se menciona que en la porción media de las subcuencas se observa que la cobertura vegetal primaria está muy fragmentada por la agricultura de temporal. En el apartado de *Infraestructura* se recomienda aplicar en esta área un programa de conservación de suelos y aguas de características similares al PROCAMPO, mediante el cual se apoya a los productores del campo para mejorar sus condiciones económicas y de calidad de vida, y para conservar los recursos naturales con acciones como la reducción de la erosión del suelo y de la contaminación de las aguas. PROCAMPO paga anualmente \$2,000 pesos por hectárea a los productores que se acojan a las reglas del programa. Aplicando este pago a toda el área de agricultura temporal, el costo total de conservación de suelos es \$267 millones de pesos por año.

■ **Tabla 9.6. Costo de protección de las áreas de bosque**

Sector	Superficie (ha)	Costo anual (millones pesos)
Totales	157,9001	
% Hectáreas elegibles:		
10%	15,700	252
50%	78,950	1262
100%	157,900	2532

1 Apartados Hidroagrícola y Medio Biofísico.
2 Elaboración propia utilizando el precio pagado de \$1,600 pesos por hectárea por PROBOSQUE en el Estado de México (véase el apartado de *Infraestructura*).
(Fuente: elaboración propia)

■ **Tabla 9.7. Costo de algunas medidas para evitar el daño ambiental (millones de pesos)**

	Costo total	Costo anual
Tecnificación Distrito 045 y Unidades Riego	5181	523
Tratamiento de aguas residuales en comunidades urbanas	3402	173
Servicios ambientales hidrológicos		1264
Conservación de suelo y agua		2675
TOTAL		462

1 Tabla 9.5 correspondiente al 50% del área de riego
2 Apartado *Infraestructura*
3 Cálculos propios utilizando una vida útil de 10 años para la tecnificación del riego, y de 20 años.
4 Tabla 9.6 para el 50% de las áreas de bosques
5 Párrafo 34 para la totalidad de las áreas de agricultura temporal.
(Fuente: elaboración propia)

35. **Costo total de las externalidades ambientales.** El costo anual que se obtiene de las actividades que podrían reducir el daño ambiental es, entonces, de \$462 millones de pesos anuales.

36. Este costo está subestimado, pues no incluye todas las acciones necesarias para garantizar la sostenibilidad ambiental. Por ejemplo, en el cálculo del tratamiento de aguas residuales se incluyen sólo algunas localidades; el costo de las obras para el abastecimiento de agua en las poblaciones localizadas en las cuencas de aportación tampoco está incluido, lo mismo que otras obras requeridas en el Distrito de Riego y en las Unidades de Riego.

37. Existen otros problemas de índole social que también afecta la sostenibilidad del Sistema:

- los asentamientos irregulares en localidades cercanas a las presas que impiden que operen al máximo de sus capacidades de regulación en los embalses;
- las tomas irregulares de agua de los canales para de irrigar parcelas o abastecerse de agua cruda para higiene personal y labores domésticas, y
- los conflictos con las comunidades por la transferencia del agua.

38. Si bien estos costos si bien son importantes para garantizar la operación del Sistema, no fueron estimados en este diagnóstico.

■ **Tabla 9.8. Costos del Sistema Cutzamala: anuales y por m³**

	Costos anuales (millones pesos, 2014)	Costo por m ³ (\$/m ³)
Costo financiero		
Operación y mantenimiento	3,646	7.9
Capital	934	2.0
Total costo financiero	4,580	10.0
Costo económico		
Costo de suministro	4,580	10.0
Costo de oportunidad	2,616	5.7
Externalidades económicas	34	0.1
Total costo económico	7,230	15.7
Costo total		
Costo de suministro	4,580	10.0
Costo de oportunidad	2,616	5.7
Externalidades económicas	34	0.1
Externalidades ambientales	462	1.0
Costo total	7,692	16.7

El costo por m³ se obtiene dividiendo el costo anual por el volumen promedio entregado en agua en bloque por el Sistema: 460 hm³, correspondiente a un caudal de 14.56 m³ /s. Los costos de cada concepto se presentan en la Tabla 9.1 (costo financiero), parágrafo 19 (costo oportunidad), parágrafo 22 (externalidades económicas), y tabla 9.7 (externalidades ambientales) (Fuente: elaboración propia)

1.6. Resumen de los costos

- 39. Costos anuales del Sistema.** El costo de suministro del Sistema —que incluye la operación, el mantenimiento y el capital requerido para su funcionamiento— equivale a \$4,580 millones de pesos. Cuando se incluyen las externalidades económicas y el costo de oportunidad, alcanza los \$7,230 millones de pesos y corresponde al costo económico. Cuando se agregan las externalidades ambientales, el costo llega a \$7,692 millones de pesos por año.
- 40. Costos por m³ de agua en bloque entregado por el Sistema.** El costo de suministro de agua en bloque es de \$10 pesos por m³, y el costo total, incluyendo externalidades económicas y ambientales, es de \$16.7 pesos por m³.

2. Balance financiero

- 41.** Con base en los resultados de costos de suministro presentados en la sección anterior, el balance financiero compara los costos con los recursos que genera el Sistema y que son cobrados por el OCAVM por la venta del agua en bloque.

2.1. Contribuciones del sistema Cutzamala

- 42. Contribuciones.** Los recursos que genera el Sistema por cuotas cobradas por entrega de agua en bloque se conocen como contribuciones. El OCAVM cobra las contribuciones por concepto de derechos de agua, trasvase, aprovechamiento de infraestructura (suministro de agua en bloque), derechos de descarga a los cuerpos de agua y derecho de uso de la zona federal. Por el Sistema Cutzamala cobra las cuotas de derecho de agua, trasvase y aprovechamiento de infraestructura (suministro de agua en bloque).
- 43. Derechos de agua.** El pago por derechos de agua es un impuesto que se cobra por el uso de un bien público, en este caso, por el uso, la explotación o el aprovechamiento de las aguas nacionales. El cobro está en función del uso, de la zona de disponibilidad de agua y de la cuenca o acuífero de donde se efectúe la extracción. Las cuotas se establecen en la Ley Federal de Derechos. El OCAVM es la entidad encargada de cobrar las cuotas por derechos en el Valle de México. Las personas o entidades que usan o explotan el agua proveniente de las subcuencas pertenecientes al Sistema se dedican al abastecimiento público (municipios u organismos operadores), riego (sector agrícola), acuicultura o para uso particular.
- 44. Cuota de trasvase.** Se estableció en 2014 y corresponde a cobros por trasvasar aguas nacionales. Los valores se establecen en función del uso de agua, de la zona de disponibilidad de donde se efectúa la exportación del agua trasvasada y la importación. Las cuotas de trasvase que actualmente se aplican se presentaron en la Tabla 9.4.
- 45. Cuota de aprovechamiento de la infraestructura.** Corresponde al cobro por suministro de agua en bloque al Distrito Federal y a algunos municipios del Estado de México. En total, 13 Delegaciones en el Distrito Federal y 14 municipios en el Estado de México reciben agua proveniente del Sistema Cutzamala. La cuota se establece anualmente en la Ley Federal de Ingresos de la Federación. Actualmente esta cuota es de \$5.5 pesos por m³.
- 46. Recaudación.** En 2013, los montos recaudados por el OCAVM por concepto de cuotas por derechos de agua y aprovechamiento por suministro de agua en bloque en el Sistema Cutzamala fueron de \$2,200 millones de pesos. La recaudación de las cuotas de

■ **Tabla 9.9. Derechos de agua (área de estudio)**

Sector	(\$/m ³)
Agrícola	
Para volumen concesionado	0.000
Para volumen superior al concesionado	0.1504
Abastecimiento público	0.41
Acuacultura	0.003

(Fuente: Ley Federal de Derechos 2014. Artículo 223- Apartado B (fracción I y III) y Apartado C)

■ **Tabla 9.10. Cuotas recaudadas por el OCAVM correspondientes al Sistema Cutzamala, 2013 (millones de pesos)**

Tipo de cuota	Costo
Cuotas de trasvase	0
Cuotas de derechos	1211
Cuotas de aprovechamiento (agua en bloque)	2,0882
Total de contribuciones Sistema Cutzamala	2,209

1 Fuente: Dirección de Recaudación y Fiscalización. Organismo de Cuenca Aguas Valle de México. Sólo incluye los derechos pagados por el SACMEX. Los detalles de la recaudación por concepto de derechos por el agua en bloque entregada al Estado de México y a la ciudad de Toluca no estaban disponibles.

2 Fuente: Dirección de Recaudación y Fiscalización. Organismo de Cuenca Aguas Valle de México. Propuesta de Aprovechamiento 2014. (Fuente: OCAVM)

aprovechamiento por el suministro de agua en bloque es aproximadamente el 83% del total cobradas. El porcentaje de recaudación en el Distrito Federal es cercano al 100%, mientras que para el suministro de agua en bloque al Estado de México se definió un plan de pagos progresivo en el cual se incrementa anualmente el porcentaje de cuota cobrado y aún no ha llegado al 100%.

2.2. Financiamiento del sistema Cutzamala

47. **Recaudación y déficit.** Los recursos recaudados por el OCAVM por el servicio de agua en bloque (incluyendo cuotas de derechos) cubren el 48% de los costos totales de suministro; el 52% restante es cubierto con recursos de la Federación. Las cuotas recaudadas por el OCAVM por el Sistema Cutzamala no alcanzan a cubrir los costos de operación y mantenimiento (sólo el 61% de los costos de operación y mantenimiento se financia con las cuotas). El déficit operativo que se genera (39% del costo operación y mantenimiento) es financiado con recursos de la Federación, lo mismo que los costos de capital.

■ **Tabla 9.11. Financiamiento del costo de suministro**

Recursos de financiamiento	Millones de pesos/año	%	Costos de suministro
Derechos agua	121		Operación y mantenimiento
Cuota de agua en bloque	2,088		Capital
Total recaudado	2,209	48%	Costo total
Déficit cubierto por la Federación	2,371	52%	
Total de recursos de financiamiento	4,580	100%	Costo total

(Fuente: elaboración propia con base en los resultados presentados en las tablas 9.1 y 9.10)

48. El monto anual de recursos aportados por la Federación para cubrir el déficit operativo y los requerimientos de capital es de aproximadamente \$2,400 millones de pesos.

3. Balance económico

49. **Costo total del Sistema.** El costo total del Sistema, incluyendo los costos de suministro, los costos de oportunidad y las externalidades económicas y financieras, equivale a \$7,692 millones de pesos.

50. **Sectores que cubren el costo total del Sistema.** El 29% del costo es cubierto por los operadores que compran el agua en bloque con el pago de las cuotas de derechos y aprovechamientos. El 31% lo asume la Federación con recursos destinados a financiar el

■ **Tabla 9.12. Costo total del Sistema y sector que lo cubre**

Sectores	Millones pesos/año	%	Costos totales	Millones pesos/año
Operadores compran agua bloque	2,209	29%	Suministro	4,580
Federación	2,371	31%	Costo de oportunidad y externalidades	
Sociedad	3,112	40%		3,112
Total	7,692	100%		7,692

(Fuente: elaboración propia con base en los resultados presentados en las tablas 9.8 y 9.10)

déficit operativo y el costo de capital. El restante 40% lo cubre la sociedad a través de los efectos relacionados con el deterioro de la calidad del agua, la escasez del recurso y el deterioro ambiental

4. Costos y subsidios adicionales en el suministro de agua

- 51. Otros costos en la distribución.** El Sistema Cutzamala entrega el agua en bloque a 14 municipios del Estado de México y a 13 Delegaciones del Distrito Federal. Una vez que reciben el agua en bloque, los prestadores del servicio se encargan de la distribución del agua hasta el punto de entrega al usuario final, lo que genera costos adicionales.
- 52. Costos vs tarifas.** En la mayoría de los casos, la tarifa cobrada a los usuarios finales en el Estado de México y en el Distrito Federal es inferior a los costos de distribución incurridos por los organismos operadores, lo que genera un déficit que es financiado con fondos del gobierno (federal, estatal o municipal). Estos subsidios, sumados a los otorgados por la entrega de agua en bloque, hacen que el volumen de los subsidios en el sector de agua sea

significativo, y con ellos las transferencias del Gobierno con las que se financian.

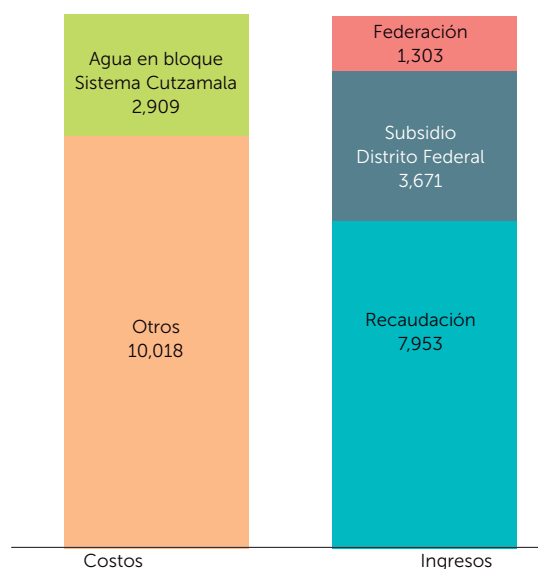
- 53. Costo de suministro de operadores del servicio de agua potable.** A manera de ejemplo, se presentan a continuación los costos de suministro del SACMEX y la recaudación por tarifas del servicio prestado. Posteriormente, se calcula la magnitud del subsidio que otorga a los usuarios que sirve.
- 54. Costo de suministro del SACMEX.** El costo de suministro se presenta en dos situaciones, en las cuales se modifican los costos de agua en bloque. La primera es la que se registra en la Ciudad de México con los costos operativos, y corresponde a las cuotas pagadas por el SACMEX a OCAVM por agua en bloque. La segunda se calcula aplicando el costo de suministro del Sistema Cutzamala (\$10 pesos por m³) al volumen de agua en bloque comprado por el SACMEX al Sistema Cutzamala. En la primera alternativa se utiliza información del presupuesto de cierre del 2014 de la Ciudad de México para el SACMEX, y consiste en los gastos corrientes y gastos de capital. Los gastos corrientes corresponden a gastos de personal, materiales y suministros, y servicios generales. Los gastos de capital corresponden a bienes muebles e inmuebles y a obra pública. La suma de gastos corrientes y gastos de capital para el

■ **Tabla 9.13. Costos anuales de suministro SACMEX, 2014 (millones de pesos)**

Tipos de costo	Costos anuales (incluyendo cuota pagada por agua en bloque)	Costos anuales (el costo de agua en bloque corresponde al costo de suministro del Sistema Cutzamala)
Costo de suministro SACMEX		
Operación y mantenimiento		
Agua en bloque (Sistema Cutzamala)	1,606	2,909
Otros costos de operación y mantenimiento	6,258	6,258
Total de operación y mantenimiento	7,864	9,166
Capital	3,760	3,760
Total	11,624	12,926
Recaudación	7,953	7,953
Subsidio	3,671	4,973
\$/m ³		
Costo	23.5	26.1
Tarifa	16.1	16.1
Subsidio	7.4	10.0

El volumen de agua comprado en bloque al Sistema Cutzamala es de 292 hm³, y el volumen facturado en el 2014 en SACMEX fue de 495 hm³. El costo de agua en bloque en la primera columna se calcula con la cuota de \$5.5 pesos por m³; para la segunda columna, se aplica el costo de suministro del Sistema Cutzamala: \$10 pesos por m³. (Fuente: elaboración propia con base en el presupuesto aprobado para el SACMEX al cierre de 2014 y en la recaudación del 2014 de acuerdo con registros del SACMEX)

■ **Figura 9.2. Costos de suministro e ingresos del SACMEX, 2014 (millones de pesos)**



(Fuente: elaboración propia con base en los resultados presentados en la Tabla 9.13)

2014 equivale a \$11,624 millones de pesos. La segunda alternativa utiliza la misma información, excepto la correspondiente a compras de agua en bloque al Sistema Cutzamala; se calcula, en cambio, con el costo real del suministro del Sistema calculado en este diagnóstico (\$10 pesos por m³). Los resultados para esta segunda alternativa muestran que los costos del SACMEX se incrementan a \$12,926 millones de pesos.

55. El volumen de agua que el SACMEX le compra en bloque al Sistema Cutzamala (292 hm³ en promedio anual, de acuerdo con el apartado de *El Sistema Cutzamala y el Abastecimiento de Agua a los Valles de México y Toluca*) corresponde al 63% del volumen de agua en bloque entregado por el Sistema Cutzamala (460 hm³), y al 31% del agua suministrada en la red por SACMEX (942 hm³).

56. **Tarifas y costos por m³.** El costo de suministro del SACMEX por m³ entregado al usuario final es de \$23.5 pesos, comparado con una tarifa promedio de \$16 pesos por m³. Si el costo real del suministro del Sistema Cutzamala se incluyera en los costos de suministro del SACMEX, el costo subiría a \$26 pesos por m³.

57. **Recaudación y subsidios.** La recaudación por concepto de tarifas cobradas a los usuarios es de aproximadamente \$8,000 millones de pesos al año. Si se toma el costo pagado actualmente por el sistema del SACMEX por el servicio (\$11,624 millones de pesos), el subsidio total pagado por la Federación y el Gobierno del Distrito Federal es de aproximadamente \$3,700 millones pesos. Cuando se incluye el costo de suministro de agua en bloque del Sistema Cutzamala (aplicando el costo de \$10 pesos/m³, de acuerdo con resultados de la Tabla 9.6), el costo total del sistema del SACMEX es cercano a \$13,000 millones de pesos. Esto resulta en un subsidio cercano a \$5,000 millones de pesos, de los cuales el 73% corresponde a subsidios a la operación del SACMEX pagado por la Federación y el Gobierno del Distrito Federal, y el 27% restante corresponde a subsidios en la venta de agua en bloque que es cubierto por la Federación.

58. **Subsidios totales en el suministro de agua.** Cuando se suman los subsidios totales otorgados por la Federación a los organismos operadores que compran el agua del Sistema Cutzamala con los subsidios que recibe el SACMEX en el suministro, se obtienen subsidios totales de \$6,000 millones de pesos anuales.

59. Estos subsidios no incluyen aquellos que reciben los otros operadores del Estado de México que compran agua en bloque del Sistema Cutzamala, ni tampoco se incluyen los costos de oportunidad ni las externalidades del Sistema. Si se consideraran estos datos, la brecha sería significativamente mayor.

■ **Tabla 9.14. Subsidios totales de agua en bloque del Sistema Cutzamala más suministro del SACMEX**

Millones de pesos	Federación (subsidio de agua en bloque del Sistema Cutzamala)	Federación y Distrito Federal	(Estado o Federación)	Total
SACMEX	1,303	3,671		4,973
Organismos del Estado México	1,068			1,068
Totales	2,371		n/a	6,042

1 No incluye subsidios en el suministro de agua de los operadores del Estado de México que compran agua en bloque en el Sistema Cutzamala. (Fuente: elaboración propia con base en los resultados presentados en las Tablas 9.11 y 9.13)

5. Complejidad institucional del esquema de financiamiento

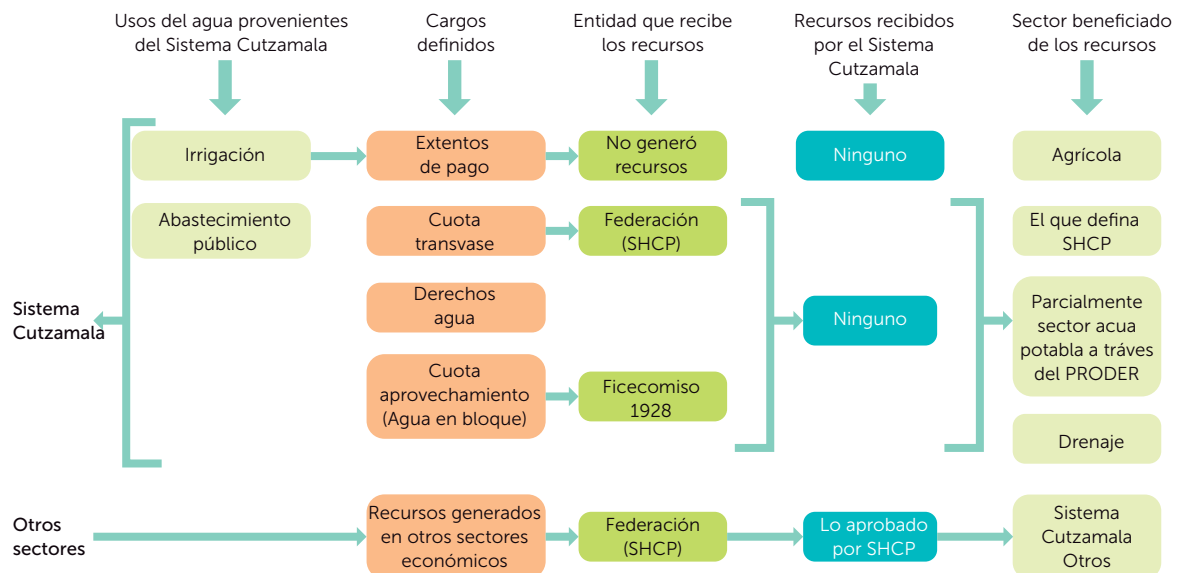
60. **Disociación entre contribuciones y entidades beneficiarias.** La situación financiera es más compleja aún, dado el esquema de financiamiento en el que se desenvuelve. Los recursos y las entidades que los reciben están disociados. Las contribuciones por concepto de derechos de agua y cuotas de trasvase son recaudados por el OCAVM, pero no entran a las finanzas de este organismo, sino que se entregan a la Tesorería de la Federación. Por su parte, las contribuciones por los aprovechamientos por suministro de agua en bloque son recaudados por OCAVM y se dirigen en su totalidad al Fideicomiso 1928. Tal como se explica en el apartado de *Aspectos Legales*, el personal del OCAVM identificó que, a pesar de que una parte importante de los recursos del Fideicomiso 1928 proviene del Sistema Cutzamala, los montos otorgados se asignan a obras de drenaje y saneamiento en el Valle de México o para obra nueva de infraestructura hidráulica, y no para mantener el Sistema Cutzamala. La Figura 9.3 ilustra el flujo de los recursos del Sistema.
61. **Uso de los fondos.** Las cuotas por derecho de agua fueron concebidas como una fuente de recursos que no sólo reflejaba la escasez del agua de acuerdo con la disponibilidad hídrica, sino también como fondos para ser utilizadas para la gestión de la cantidad y calidad de

los recursos hídricos, así como para financiar la infraestructura necesaria de las cuencas hidrológicas. Sin embargo, los recursos recaudados por este concepto se han venido utilizando para mejorar la infraestructura de agua potable y no para la protección de las cuencas hidrológicas, como era su objetivo original.

6. Conclusiones y recomendaciones

62. El esquema institucional de financiamiento del Sistema Cutzamala se caracteriza por:
- la disociación entre las cuotas cobradas y los costos de prestación del servicio: los precios establecidos para los usos del agua se basan en criterios políticos y sociales, y no brindan señales de la escasez del recurso ni del costo asociado para su distribución ni de los beneficios o perjuicios que provoca el uso del agua sobre el ambiente y los sectores económicos;
 - la disociación entre las entidades que financian el servicio y las que lo operan; esta falta de coordinación de entidades y recursos no favorece las mejoras de eficiencia, sino que aumenta las distorsiones en el manejo del recurso hídrico y se aleja de programas de optimización en el funcionamiento del Sistema.

■ **Figura 9.3. Flujos financieros en el Sistema Cutzamala**



(Fuente: elaboración propia)

63. En México en general, y en Sistema Cutzamala en particular, se presentan distorsiones importantes entre el costo y el precio que los usuarios pagan por el recurso. Las cuotas cobradas no cubren ni siquiera los costos operativos, y mucho menos los costos de capital. De la misma manera, los costos de oportunidad o el total de las externalidades no se reflejan en los precios.
64. El costo anual de suministro del Sistema de Cutzamala es de \$4,580 millones de pesos, de los cuales el 48% se financia con las cuotas cobradas por derechos de agua y del servicio de agua en bloque, el 52% restante se financia con recursos de la Federación. Cuando se incluyen el costo de oportunidad y las externalidades económicas y financieras, el costo anual del Sistema Cutzamala se incrementa a \$7,692 millones de pesos, de los cuales el 29% es cubierto por las cuotas pagadas por los operadores que compran agua en bloque, el 31% por la Federación y el 40% restante por la sociedad que asume los costos de la degradación en la calidad del agua y en el medio ambiente.
65. El impacto del Sistema Cutzamala para la gestión del acuífero en el Valle de México requiere un estudio más cuidadoso; esto podría ser un insumo crítico para la planeación del manejo del agua en el Valle de México y para las decisiones futuras sobre nuevas fuentes de agua.
66. Los subsidios se otorgan no sólo en la distribución del agua en bloque, sino que siguen en cadena en la distribución del agua hasta llegar a los usuarios finales. Tomando como ejemplo al SACMEX, se encuentra que los subsidios diferentes a los del agua en bloque alcanzan los \$3,671 millones de pesos, que son financiados por la Federación y el gobierno del Distrito Federal.
67. Cuando se suman los subsidios en compras de agua en bloque del Sistema Cutzamala financiados por la Federación más los subsidios otorgados al SACMEX por la Federación y el Distrito Federal en el suministro de agua a los usuarios de la Ciudad de México, el total del subsidio llega a \$6,000 millones de pesos por año.
68. Las distorsiones entre costo y precio generan señales equívocas para los usuarios y los operadores del servicio, pues no fomentan la eficiencia en el uso del agua ni en la operación del servicio. El resultado se refleja en bajas eficiencias comerciales y físicas en la prestación del servicio, y en un consumo excesivo por parte de algunos usuarios.
69. Es necesario estructurar el Sistema Financiero del Agua para garantizar la sostenibilidad de largo plazo y la eficiente operación del Sistema. La política de financiamiento debe incluir mecanismos e incentivos que garanticen el equilibrio entre ingresos y flujo de gastos. Las cuotas y tarifas deben ajustarse en forma tal que brinden eficiencia y permitan implementar una política de subsidios transparente, dirigida sólo a los usuarios que los necesiten. Para establecer un Sistema Financiero del Agua se sugiere tomar como punto de partida las recomendaciones y mecanismos financieros propuestos por el Banco Mundial (Banco Mundial, 2014).
70. El costo de suministro del Sistema Cutzamala debe revisarse, considerando potenciales mejoras de eficiencia en el manejo de ciertos procesos, como la energía, los planes de mantenimiento y otros por identificarse. Se debe avanzar en un análisis de las ventajas económicas para justificar estos cambios.
71. La ejecución del presupuesto debe revisarse para que coincida con los montos autorizados. Los puntos críticos a nivel institucional, administrativo y legal deben identificarse y deben diseñarse programas para mejorarlos.



Aspectos institucionales y de planeación

esta sección analiza el marco institucional y de planeación que organiza la acción pública en las subcuencas de aportación del Sistema Cutzamala. Se abordan, por una parte, los aspectos directamente relacionados con el mandato de la CONAGUA y, por otra parte, la multiplicidad de agentes institucionales y su necesaria coordinación interinstitucional. Un proyecto de gestión integrada del agua implica no sólo un enfoque institucional sectorial, sino también la construcción de una propuesta multisectorial y multinivel.

1. Complejidad institucional-territorial

1. **Extensión territorial, delimitación y distancia.** La dimensión espacial del Sistema Cutzamala es una característica que define su funcionamiento y la complejidad de su organización institucional. Permite, además, explicar algunas de las dificultades y desafíos de las dos instancias responsables de su gestión: el Organismo de Cuenca Aguas del Valle de México, que tiene las atribuciones para operarlo, y el Organismo de Cuenca Balsas, que es la autoridad en materia de administración, gestión y custodia de los recursos hídricos de la región hidrológico-administrativa IV, de la que forman parte las subcuencas de aportación del Sistema.
2. **Funciones y circunscripción del OCAVM.** El Organismo de Cuenca Aguas del Valle de México tiene entre sus funciones principales ejercer la autoridad en materia técnica, operativa, administrativa y jurídica especializada, y ejercer la autoridad en la administración, gestión y custodia de los recursos hídricos en su circunscripción, es decir, en la región hidrológico-administrativa XIII, Aguas del Valle de México (CONAGUA, 2014). El OCAVM se distingue de los otros 12 Organismos de Cuenca del país porque opera sistemas de abastecimiento de agua potable en bloque, como los pozos del Plan de Acción Inmediata (PAI) dentro de la región XIII, y también opera el Sistema Cutzamala en la región IV, Balsas (OCAVM-CO-NAGUA, 2010).
3. **Misión y acciones del OCB.** La misión del Organismo de Cuenca Balsas consiste en “administrar con eficiencia y equidad las aguas nacionales y bienes inherentes en el ámbito de la Región Balsas, para asegurar su

uso integral por los sectores usuarios, con la participación comprometida de la sociedad” (CONAGUA, 2012). El OCB, junto con las Direcciones Locales de la CONAGUA en Michoacán y el Estado de México, organiza y jerarquiza la información, la planeación, las acciones de administración del agua, así como los actos de autoridad. Su ámbito de acción se circunscribe a la extensa región hidrológico-administrativa IV.

4. **El área de estudio.** En el presente diagnóstico —y tal como se describe en el apartado *El Sistema Cutzamala y el Abastecimiento de Agua a los Valles de México y Toluca*— el área de estudio está delimitada por el polígono que forman las subcuencas de aportación al Sistema Cutzamala. Es decir: el criterio de delimitación no es el parteaguas de una cuenca hidrológica, sino el perímetro de varios parteaguas —cada uno independiente— desde los cuales se forman los afluentes de los embalses del Sistema.
5. **El trasvase entre cuencas.** El espacio que ocupa el Sistema Cutzamala no se restringe a una cuenca ni a su dinámica hidrológica natural, sino que tiene su propia extensión y dinámica artificiales. El trasvase se inicia en la región hidrológico-administrativa IV, Balsas; atraviesa y entrega un caudal a Toluca en la región VIII, Lerma- Santiago-Pacífico, y concluye en la región XIII, Aguas del Valle de México, para entregar el agua en bloque para su distribución en la ZMVM. No hay adyacencia ni continuidad entre el territorio de la cuenca de captación y el de la cuenca receptora del caudal, así como no la hay entre las circunscripciones de los respectivos Organismos de Cuenca.

2. El OCAVM: desafíos institucionales

6. **Fortalecimiento de las capacidades institucionales para la operación del Sistema.** Por sus características de diseño y de construcción de la infraestructura, el Sistema Cutzamala ha recibido el reconocimiento de especialistas en ingeniería en el mundo, y el desempeño del personal que opera esta infraestructura ha alcanzado resultados de excelencia (Certificación ISO 9001-2000). No obstante, es indispensable fortalecer las capacidades administrativas e institucionales para continuar la modernización tecnológica del Sistema y

garantizar su operación con los más altos estándares de compromiso, calidad y seguridad.

7. **Personal para las funciones operativas.** La Dirección de Agua Potable, Drenaje y Saneamiento del OCAVM cuenta con 714 personas, de las cuales 275 laboran en las dos Residencias Generales encargadas de operar el Sistema Cutzamala. Esta Dirección está integrada por funcionarios de carrera, personal sindicalizado y trabajadores eventuales. El personal que cubre la operación del Sistema las 24 horas del día trabaja en dos grupos con turnos de 12 horas, y un grupo más que cubre los descansos (DAPDS-OCAVM, 2014). Se requiere fortalecer la capacidad de contratación de personal altamente especializado, así como establecer mecanismos de transmisión de la experiencia de los técnicos que en un mediano plazo se jubilarán o tomarán la opción del retiro voluntario.
8. **Dificultades logísticas para las visitas de inspección.** La Dirección de Administración del Agua del OCAVM no cuenta con personal suficiente para cumplir de manera óptima sus funciones de inspección. La rigidez de los trámites y autorizaciones para viajar a las subcuencas de aportación del Sistema son dificultades adicionales para cumplir oportunamente con las tareas de supervisión.
9. **Infraestructura y servicios fuera de la circunscripción del OCAVM.** Los vehículos con los que se desplaza el personal operativo del Sistema tienen placas del Distrito Federal, lo que implica que ciertos trámites, como la verificación vehicular o cualquier reparación, deben realizarse en la capital. Además, el servicio de telefonía contratado por CONAGUA tiene cobertura en todas las ciudades del país, excepto en la zona rural del Sistema Cutzamala. Por seguridad, esta situación debe resolverse.
10. **Escasa flexibilidad presupuestal para la operación y mantenimiento.** Es necesario revisar las condiciones de ejercicio de los presupuestos para la rehabilitación, el mantenimiento y la conservación de la infraestructura, así como evaluar la posibilidad de que no necesariamente se sujeten a las mismas condiciones requeridas para la construcción de nuevas obras.

3. El OCB: desafíos institucionales

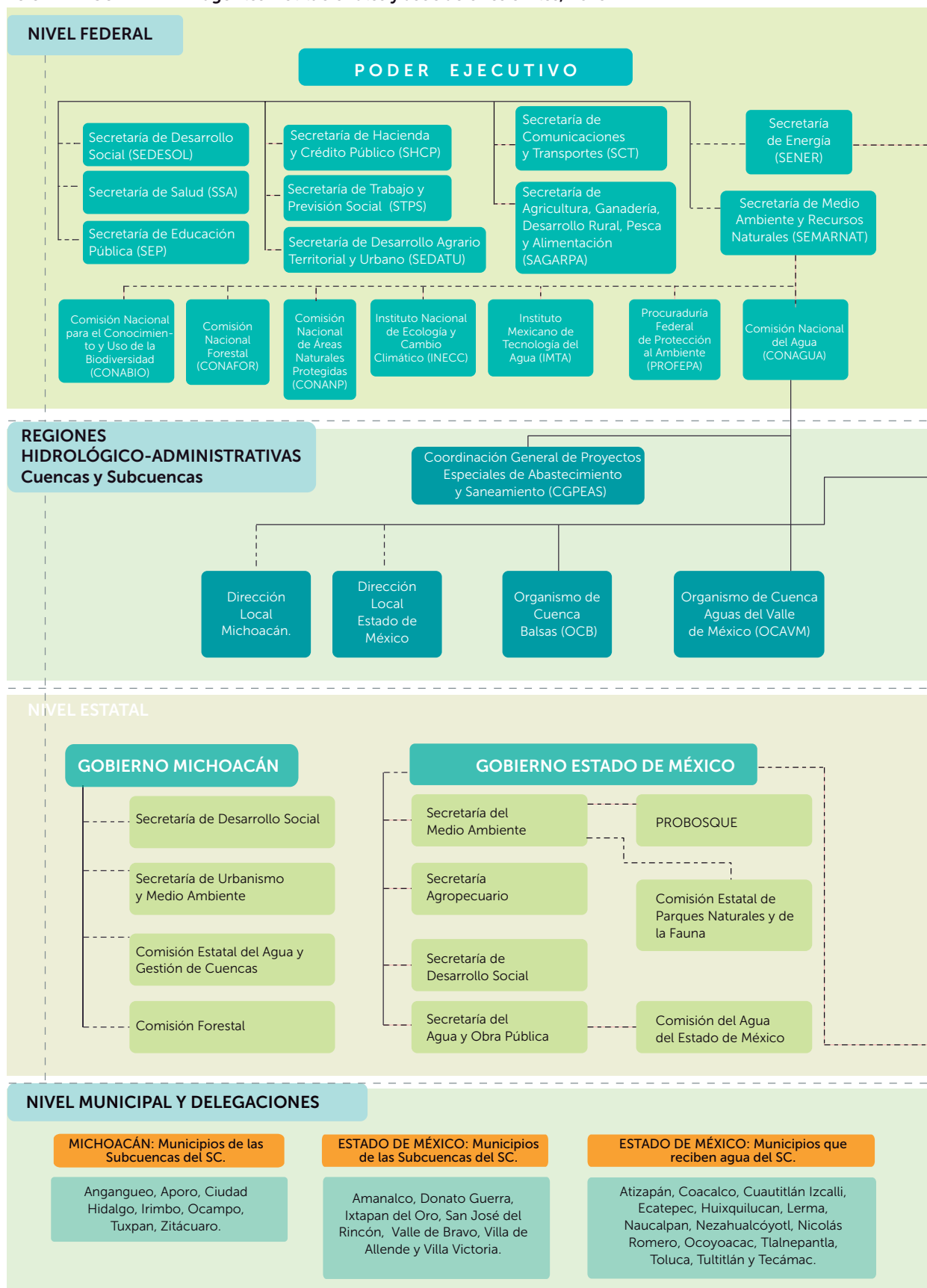
11. **Escala del territorio del OCB.** La circunscripción del Organismo de Cuenca Balsas es muy extensa (116,104 km²); incluye 422 municipios de los estados de Guerrero, Jalisco, México, Michoacán, Morelos, Oaxaca, Puebla y Tlaxcala. En esta escala territorial, la problemática de las subcuencas del Sistema Cutzamala (cuya área representa el 3% de la región hidrológico-administrativa) es, sin duda, un asunto importante que debe posicionarse en medio de muchos otros problemas locales y regionales de gran magnitud y prioridad.
12. **Reducida capacidad de inspección para para vigilar y sancionar a los usuarios que descargan aguas residuales sin tratamiento a los cauces y a los embalses.** La inspección de calidad del agua es realizada directamente por las Direcciones Locales de los estados de México y Michoacán. El OCB, a petición de parte o por situaciones especiales, puede participar también en algunas inspecciones. Tanto las Direcciones Locales como el OCB disponen de escaso personal para realizar el monitoreo, y éste tiene que concentrarse en la atención de denuncias, emergencias hidroecológicas, contaminación de fuentes de abastecimiento y peritajes ordenados por juzgados. A esto se añade que los laboratorios no cuentan con los equipos y reactivos en la cantidad y con la oportunidad requeridas, por cuestiones estructurales y que dependen de ajustes presupuestales desde hace años.
13. **El Sistema Cutzamala en el contexto de la cuenca del río Cutzamala.** Desde la perspectiva del OCB, para lograr un manejo sustentable de las subcuencas del Sistema Cutzamala se deben reconocer los compromisos legales y los riesgos ambientales y sociales que pueden generarse aguas abajo en la cuenca del río Cutzamala. En este sentido, es recomendable conciliar la perspectiva del OCAVM, como operador consciente de la importancia estratégica del Sistema Cutzamala para la ZMVM, y la perspectiva del OCB, como administrador de las aguas nacionales en las subcuencas que señala la importancia de los problemas locales y las demandas de los usuarios en la escala de la cuenca del río Cutzamala.
14. **La función de las Direcciones Locales de la CONAGUA.** Dos Direcciones Locales de la CONAGUA, la del Estado de México y la de Michoacán, intervienen en la gestión de las

subcuencas del Sistema Cutzamala con el objetivo de coordinar la ejecución de las políticas de la CONAGUA y del Programa Hídrico en la entidad federativa de su competencia; asimismo, son responsables de la operación de la infraestructura hidráulica y administración de las aguas nacionales en cuanto a su cantidad, calidad, distribución, uso y aprovechamiento eficiente (CONAGUA, 2014). A través de estas dos Direcciones Locales se realiza gran parte de las inversiones para agua potable, alcantarillado y uso hidroagrícola mediante programas federalizados.

15. **Regulación en la asignación de derechos de agua.** En las subcuencas existe el riesgo de que se genere un mercado desbalanceado de derechos de agua, que se manifieste en acaparamiento y especulación del recurso. Por eso es importante brindar apoyo al OCB y a las Direcciones Locales para que realicen estudios de la demanda de derechos de agua y analicen las solicitudes de volúmenes en concesión, de transmisión de derechos y de cambios de uso. De esta manera se podrá saber si las solicitudes obedecen a una demanda real y sustentable. Asimismo, con base en los balances hídricos correspondientes, se podrán emitir los títulos y, en su caso, autorizar los intercambios, indicando las condiciones de uso y las medidas necesarias, como la tecnificación del riego y la eficiencia de la red de agua potable.
4. **Desafíos de coordinación intersectorial**
16. **Distintas instancias y niveles de autoridad.** En el territorio de las subcuencas del Sistema Cutzamala intervienen diversas instituciones, dependencias, entidades y organismos descentralizados y desconcentrados, algunas de nivel federal, otras de nivel estatal y algunas municipales. Se superponen distintas formas de autoridad que impulsan acciones burocráticas y ejercen presupuestos públicos. Entre ellas hay desfases administrativos, de políticas y de capacidades pues no hay coordinación entre las funciones y responsabilidades de todos los actores institucionales en función del objetivo de sustentabilidad de las subcuencas del Sistema.
17. **Gobernanza hídrica con una visión integradora.** En la práctica, las dependencias y organismos de diferentes Secretarías federales desconocen lo que realizan otras instancias en las subcuencas. En alguna medida, ese déficit

■ **Figura 10.1.** Diagrama de agentes institucionales y asociaciones civiles en el Sistema Cutzamala

SISTEMA CUTZAMALA: agentes institucionales y asociaciones civiles, 2015



(Fuente: Elaboración Banco Mundial, 2015)

Comisión Federal de Electricidad (CFE)

PODER LEGISLATIVO

CÁMARA DE SENADORES

CÁMARA DE DIPUTADOS

Comisión de Recursos Hidráulicos

Comisión Especial de la Cuenca del Sistema Cutzamala

ASOCIACIONES CIVILES NACIONALES

Fundación Pedro y Elena Hernández A.C.

Consejo Civil Mexicano para la Silvicultura Sostenible A.C.

Centro Mexicano de Derecho Ambiental

Beta Diversidad, A.C.

Pronatura, A.C.

ASOCIACIONES INTERNACIONALES

The Nature Conservancy

World Wildlife Fund for Nature

GOBIERNO DISTRITO FEDERAL

Secretaría del Medio Ambiente (SMA)

Sistema de Aguas de la Ciudad de México (SACMEX)

Comisión de Gestión Integral del Agua de la Asamblea Legislativa del Distrito Federal

Comisión de Recursos Hidráulicos, Legislatura del Estado de México.

DISTRITO FEDERAL: Delegaciones que reciben agua del SC.

Álvaro Obregón, Azcapotzalco, Benito Juárez, Coyoacán, Cuajimalpa, Cuauhtémoc, Iztacalco, Iztapalapa, Magdalena Contreras, Miguel Hidalgo, Tlalpan, Tláhuac y Venustiano Carranza.

ASOCIACIONES CIVILES LOCALES

Fondo Pro-Cuenca Valle de Bravo A.C.

Patronato Provalle de Bravo A.C.

Somos Valle A.C.

Alternare, A.C.

Frente Mazahua A.C.

se presenta también en las diferentes áreas de la CONAGUA, del OCAVM y del OCB. Por ello, es fundamental mejorar los mecanismos de comunicación y de coordinación intrainstitucionales e interinstitucionales.

18. La importancia de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes y de la CONAGUA en la inversión federal. En el periodo de 2006 a 2014, los 14 municipios que se encuentran dentro del polígono de las seis subcuencas del Sistema Cutzamala recibieron una inversión federal del orden de \$7,600 millones de pesos (Banco Mundial, 2015a). La mayor parte de esta inversión provino de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes y se dirigió a infraestructura carretera en municipios mexiquenses. En segundo lugar se registró la inversión de la Comisión Nacional del Agua en municipios de Michoacán, que privilegiaron acciones de conservación de subcuencas.

19. Procesos de coordinación interinstitucional. A partir de los problemas identificados en el apartado de *Realidades en las Subcuencas*, se pueden establecer procesos concretos de colaboración, con el apoyo de instrumentos de planeación y monitoreo. Los diversos agentes institucionales pueden alinear sus acciones mediante mecanismos de coordinación intergubernamental para resolver problemas específicos y claramente definidos, como los que se han identificado en este diagnóstico:

- deforestación y erosión, con el consecuente aumento de sedimentos en los cauces y embalses;
- descargas de aguas residuales sin tratamiento a los afluentes y a los embalses, y
- urbanización desordenada, cambios de uso de suelo, expansión sobre zonas inundables y vasos de las presas.

20. Falta de capacidad institucional y financiera de los municipios para construir y operar las plantas de tratamiento. Uno de los principales problemas detectados en las seis subcuencas es la creciente contaminación de los afluentes de las presas del Sistema Cutzamala. Este deterioro de la calidad de las aguas superficiales en las subcuencas afecta tanto a los usuarios locales como a los usuarios externos del Sistema. En los 14 municipios ubicados en las subcuencas se observa —en distintos grados— una falta de capacidad institucional y financiera para construir una red de drenaje y

operarla; para construir plantas de tratamiento de aguas residuales, y para operar las plantas construidas. La mayoría de estas plantas —como se señala en el apartado de *Realidades en las Subcuencas*— se encuentran fuera de operación u operando a una capacidad mucho menor para la cual fueron diseñadas.

21. Fortalecimiento o construcción de las capacidades institucionales de los municipios para operar los servicios de agua potable, drenaje y saneamiento. El municipio es un espacio político-administrativo primordial por su cercanía y conocimiento de la problemática local; al mismo tiempo, es un eslabón débil en la instrumentación de políticas de desarrollo sustentable. Desde 1983, cuando la reforma al artículo 115 constitucional les otorgó la responsabilidad de los servicios urbanos, los municipios del país han tenido dificultades para cumplir con su cometido, fundamentalmente por falta de recursos. Los municipios urbanos de Valle de Bravo, Villa Victoria, Ciudad Hidalgo y Zitácuaro deben fortalecer sus capacidades administrativas para ejercer fondos de programas federales. Por su parte, los municipios rurales requieren esquemas innovadores para atender las demandas de localidades pequeñas y dispersas.

22. Corresponsabilidad y esquemas de uso eficiente y administración de la demanda. El esfuerzo por dotar de sustentabilidad a las subcuencas del Sistema Cutzamala debe ir acompañado de un esquema de uso eficiente del agua en la ZMVM. Es preciso que exista una corresponsabilidad de los consumidores de los caudales trasvasados. La solución a la demanda de agua de la capital y de su zona conurbada a partir del incremento de la oferta debe complementarse y transformarse mediante una política de administración de la demanda.

5. Planeación y coordinación de la acción pública

23. Alineación de planes y programas. La Ley de Aguas Nacionales (artículo 14 bis 6, fracción I) señala que la planeación hídrica debe realizarse en tres ámbitos: nacional, de cuenca hidrológica y local. La conservación de los recursos naturales, de ecosistemas vitales y del medio ambiente se considera una actividad obligatoria e indispensable para la gestión integrada de los recursos hídricos (artículo 15). Cualquier intervención de política pública sobre el

Sistema Cutzamala debe alinearse a los mandatos generales del Plan Nacional de Desarrollo 2013-2018, al Programa Sectorial de Medio Ambiente y Recursos Naturales, así como al Programa Nacional Hídrico 2014-2018.

24. **El Sistema Cutzamala en los programas hídricos regionales.** La actualización de los Programas Hídricos Regionales IV y XIII constituye una oportunidad para desarrollar una propuesta especial sobre las subcuencas del Sistema Cutzamala.
25. **Múltiples instrumentos de planeación.** En las subcuencas de aportación del Sistema Cutzamala hay casi 40 instrumentos de planeación vigentes: planes de desarrollo estatal o municipal, programas de desarrollo urbano, programas de ordenamiento ecológico territorial regionales y locales, planes rectores, entre otros. Cada uno de estos instrumentos tiene sus propias líneas de acción y sus mecanismos de corresponsabilidad intersectorial en la ejecución y cumplimiento de las metas (Banco Mundial, 2015).
26. **Reserva de la biosfera Mariposa Monarca: área protegida.** La Reserva de la biosfera Mariposa Monarca abarca las cabeceras de cinco de las subcuencas del Sistema Cutzamala (el apartado de *Medio Biofísico* ofrece información más específica sobre las características de esta Reserva). El hecho de que la zona sea considerada un área prioritaria de conservación y protección para la biodiversidad representa una fortaleza para la gestión integrada del agua, ya que los primeros escurrimientos se encuentran en un territorio con instrumentos de planeación dirigidos al manejo sustentable del sistema socioecológico. El Programa de Ordenamiento Ecológico de la Región Mariposa Monarca organiza las acciones de conservación y manejo de los recursos naturales de la región; sin embargo, las acciones de este programa no han sido suficientes para revertir el deterioro ambiental que ha provocado el desmonte en zonas de fuerte pendiente y procesos erosivos avanzados. Tampoco ha contribuido a reducir la pobreza ni a mejorar las oportunidades productivas para las comunidades locales que les permitan crear bases sociales más sólidas y sostenibles para la conservación de los recursos forestales.
27. **Subcuenca Valle de Bravo: una importante experiencia de planeación.** En la última década se han elaborado al menos nueve planes y programas para manejar integralmente

el agua, el suelo y los bosques en la subcuenca Valle de Bravo. Esta región ha logrado avances importantes en la continuidad de los estudios de diagnóstico y en la actualización de los instrumentos de planeación; éste ha sido el caso del Plan Estratégico para la Recuperación Ambiental de la Cuenca Amanalco Valle de Bravo. En gran medida, la elaboración de estos planes y programas ha sido el resultado de una colaboración intensa y continua entre las instancias académicas, políticas, las comunidades locales y el sector económico de la región. En esta participación multisectorial ha sido clave el papel de la Comisión de Cuenca local. Sin embargo, estos planes no han sido suficientes para detener algunos procesos urbanos y sociales que afectan gravemente a la cuenca, por ejemplo: el crecimiento urbano en áreas de conservación y la especulación inmobiliaria que expulsa a sectores de bajos recursos hacia la periferia y acentúa la desigualdad económica.

28. **Subcuenca Ixtapan del Oro: el Plan Rector para el manejo integral.** Creado en 2008, este Plan atiende los problemas de degradación del suelo y el agua en la subcuenca. Se han llevado a cabo diversas prácticas, entre las que destacan la construcción de presas filtrantes en cauces para la retención de azolves y la instalación de módulos unifamiliares de captación de agua de lluvia en casas habitación, que han probado ser una buena alternativa para mejorar la dotación de agua en localidades dispersas y marginadas.
29. **Subcuenca Villa Victoria-San José del Rincón: conservación del uso de suelo forestal.** Para conservar el uso del suelo forestal, el principal instrumento de planeación de la subcuenca es el Programa Rector de Manejo Integral elaborado en 2009. Este programa establece la necesidad de recuperar el uso forestal del suelo para disminuir problemas asociados, como la erosión por actividades agropecuarias y el subsecuente azolve de la presa Villa Victoria. La reforestación en zonas prioritarias y el impulso de la agroecología son las principales acciones para revertir estos problemas.
30. **Subcuenca Tuxpan: el componente social.** El principal instrumento de manejo en esta subcuenca es el Plan Rector de Manejo Integral elaborado en 2010. El Plan actúa en cauces, en laderas, en el servicio de agua potable y saneamiento, y en las zonas agrícolas. Estas acciones están dirigidas a mejorar la calidad de vida de las comunidades locales y a favorecer el

desarrollo de actividades productivas más respetuosas del ambiente.

31. **Subcuenca El Bosque: la necesaria participación de los núcleos agrarios.** De todo el Sistema Cutzamala, la subcuenca El Bosque es la que tiene la mayor superficie de bosques y selvas en propiedad de núcleos agrarios. El Programa de Obras y Acciones para la Preservación de la Cuenca Río Zitácuaro-El Bosque debe garantizar la participación de estos productores en el proceso de instrumentación.
32. **Subcuenca Chilesdo-Colorines: la importancia de la dinámica demográfica.** Un territorio con asentamientos dispersos dificulta la provisión de servicios públicos y tiende a dificultar la conservación del suelo forestal por prácticas de tala hormiga. Por eso es importante que los planes de desarrollo municipal puedan favorecer la presencia de asentamientos más compactos e integrados. De acuerdo con un estudio sobre escenarios de dinámica hídrica, esta subcuenca es la que ha sufrido una mayor disminución en su aporte a la planta potabilizadora Los Berros (Bunge, Martínez y Ruiz-Bedolla, 2012). Esto es resultado de su conexión con las dinámicas de otras subcuencas (Tuxpan, El Bosque e Ixtapan del Oro) y de sus actividades económicas. Los planes y programas que incidan en esta dinámica requieren una visión equilibrada que concilie las necesidades socioeconómicas de las comunidades de esta cuenca con la producción de agua para el Sistema Cutzamala.
33. **Programas de Ordenamiento Ecológico (POE) de distintos niveles.** Como elementos positivos para la sustentabilidad de las subcuencas del Sistema Cutzamala hay que considerar la existencia de POE locales como el de Villa de Allende (2006) y el de San José del Rincón (2012), o el POE Especial para la Restauración de las Zonas Prioritarias del Sistema Cutzamala y La Marquesa (2009-2014). La elaboración (actualmente en proceso) del Programa de Manejo del Área de Protección de Recursos Naturales de las Cuencas de Valle de Bravo, Malacatepec, Tilostoc y Temascaltepec es una oportunidad para alinear objetivos.
34. **Planes Municipales de Desarrollo Urbano (PMDU).** A pesar de los esfuerzos realizados, los PMDU no han sido suficientes para frenar la pérdida de cobertura forestal de las subcuencas del Sistema Cutzamala. En la revisión de estos planes se identificó que la falta de actualización de la información no permite atender

los problemas que afectan a la cuenca: la pérdida de cobertura forestal por el cambio de uso de suelo a actividades agropecuarias y de desarrollo urbano, la contaminación de arroyos y lagos por descarga de aguas residuales, y la tala inmoderada.

35. **Coordinación de los programas regionales de desarrollo.** Los programas regionales IV Oriente en Michoacán y XV Valle de Bravo constituyen una oportunidad para construir un espacio de vinculación intermunicipal que favorezca el desarrollo social, económico, ambiental e institucional del Sistema Cutzamala. Sin embargo, en la actualidad los dos programas carecen de una visión común de objetivos y proyectos compartidos que permita identificar y enfrentar problemas socioecológicos de forma conjunta entre las autoridades federales, estatales y locales.

6. Consejos de cuenca y órganos auxiliares: los desafíos en la gobernanza del agua

36. **Los Consejos de Cuenca como espacios de gobernanza hídrica.** El Consejo de Cuenca del Valle de México (1996) y el Consejo de Cuenca del Río Balsas (1999) son instancias de coordinación y concertación entre los respectivos Organismos de Cuenca, las dependencias y entidades federales, estatales y municipales, así como con los representantes de los usuarios de la cuenca hidrológica. Ambos Consejos de Cuenca cumplen una función importante en las regiones hidrológico-administrativas que gestionan; sin embargo, el Sistema Cutzamala y sus subcuencas de aportación tiene frente a sí un singular desafío que no puede resolverse en el ámbito de los Consejos de Cuenca.
37. **La importancia de Comisiones de Cuenca.** Las Comisiones de Cuenca son órganos auxiliares de los Consejos de Cuenca a nivel de subcuenca, microcuenca y acuífero. Su principal tarea consiste en participar en la planeación y coordinación para la gestión integral del agua y de los recursos asociados (suelo y bosque). En el área del Sistema Cutzamala se encuentran la Comisión de Cuenca Valle de Bravo-Amanalco, creada en 2003, y la Comisión de Cuenca de Villa Victoria-San José del Rincón, instalada en 2008. Su labor se ha dirigido a la planeación y la coordinación intersectorial. Destaca, en este sentido, la

elaboración de los respectivos planes rectores de manejo de cada subcuenca, en los que también han participado instituciones académicas como la Universidad Autónoma del Estado de México (UAEM) y el Colegio de Postgraduados de Chapingo, además de centros de investigación, como el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua.

38. **Avances hacia una interlocución más amplia.** La Comisión de Cuenca Valle Bravo-Amanalco ha impulsado procesos participativos y coordinado la dinámica de diversos actores sociales, más allá de los que están adscritos formalmente al Consejo de Cuenca. Asimismo, ha impulsado la puesta en práctica de nuevos instrumentos que puedan contribuir a la conservación de la subcuenca (CCVBA, 2011).
39. **Procesos de comunicación en las Comisiones de Cuenca.** Las Comisiones han colaborado en el desarrollo de otros instrumentos de planeación relacionados con el ordenamiento ecológico y el desarrollo urbano municipal. Los resultados de las investigaciones y los principales elementos de los instrumentos de planeación se difunden por diversos medios, como boletines, páginas web, redes sociales electrónicas, y a través de cursos y talleres dirigidos principalmente a las comunidades rurales (ejidos y bienes comunales). Estas acciones permiten que la población de las subcuencas esté informada y conozca los distintos planes y programas.
40. **Vinculación de las Comisiones de Cuenca con los Consejos de Cuenca.** Las Comisiones de Cuenca de Valle de Bravo-Amanalco y Villa Victoria-San José del Rincón están adscritas al Consejo de Cuenca del Valle de México. En 2012, en la sesión ordinaria del Consejo de Cuenca del Río Balsas participó, como representante del uso acuícola, un

integrante de la Comisión de Cuenca Valle de Bravo-Amanalco.

7. Conclusiones

41. Al definir el área de estudio y de planeación como el polígono conformado por las subcuencas de aportación al Sistema Cutzamala, se construye un espacio intermedio entre las subcuencas (para las cuales hay dos Comisiones de Cuenca) y las cuencas (para las cuales hay dos Organismos de Cuenca y dos Consejos de Cuenca). Impulsar una gestión integrada del agua en el territorio formado por este polígono implica plantear a una escala intermedia los desafíos relacionados con la administración del agua, la coordinación de acciones intersectoriales y la representación de intereses de usuarios.
42. La gestión integrada del recurso hídrico en las subcuencas del Sistema Cutzamala implica la definición de objetivos comunes, el fortalecimiento de capacidades institucionales, la especificación de funciones y responsabilidades de diversas instituciones, coordinadas en dos grandes ejes: dentro del sector agua, y en otros sectores y niveles de gobierno con atribuciones sobre el manejo del suelo, bosques, medio ambiente y energía.
43. La corresponsabilidad de usuarios internos y externos es fundamental. Una gestión integrada del recurso hídrico en las subcuencas debe considerar la perspectiva, los intereses y el compromiso de los usuarios y actores locales, así como de los usuarios externos (población de la ZMVM y de la ZMT) que se abastecen de esta fuente, teniendo presentes en sus decisiones a las generaciones futuras y a los ecosistemas.



Aspectos legales

En este apartado se analiza el marco legal del Sistema Cutzamala; se incluye el fundamento jurídico y los principales problemas para el ejercicio de los actos de autoridad, así como las materias de regulación de sus subcuencas de aportación aplicables a temas clave: las coberturas de servicios de agua y saneamiento, la calidad del agua, el desarrollo urbano, el ordenamiento territorial, la actividad agrícola y forestal, y la administración de las aguas. Esta regulación compete a los tres niveles de gobierno: federal, estatal y municipal. En estos últimos se incluye la legislación aplicable del Estado de México, de Michoacán y de 14 municipios, siete en cada estado.

1. Antecedentes

1. **Ley Federal de Aguas.** Cuando el Sistema Cutzamala inició su operación en 1982, la Ley Federal de Aguas, entonces vigente, establecía que los sistemas de agua potable y alcantarillado dependían de la Secretaría de Recursos Hidráulicos. En 1983 el artículo 115 constitucional se modificó y otorgó a los municipios la competencia para prestar estos servicios.
2. **Pago de contribuciones y regulación del suministro de agua en bloque.** El Sistema Cutzamala es el precedente más importante de entrega de agua en bloque proveniente de fuentes externas. En 1986 se estableció en la Ley Federal de Derechos, por primera vez, la obligación del pago de derechos por los servicios de suministro de agua en bloque a través de acueductos (que es el caso del Sistema Cutzamala). En el mismo año entró en vigor la Ley de Contribución de Mejoras por Obras Públicas de Infraestructura Hidráulica, que fija el valor recuperable de las obras de entrega de agua en bloque, y se reformó la Ley Federal de Aguas, para definir la facultad de la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos en la ejecución de las obras de captación, conducción y tratamiento de aguas hasta los sitios de entrega.
3. **Ley de Aguas Nacionales.** La Ley de Aguas Nacionales (LAN) se promulgó en 1992. En 2004 esta Ley se reformó sustancialmente y ha experimentado cambios sucesivos en 2011, 2012 y 2014. Entre los cambios más importantes que introdujo la LAN, se estableció la gestión integrada

por cuencas, la descentralización y una mayor participación social. Asimismo, en las reformas de 2004 se redefinió el marco institucional en dos ámbitos: el nacional y el regional hidrológico-administrativo. En este marco se asientan las funciones que regulan al Sistema Cutzamala y las cuencas de aportación de agua atribuidas a la CONAGUA y a sus Organismos de Cuenca Aguas del Valle de México (OCAVM) y Balsas (OCB). El apartado de *Aspectos Institucionales y de Planeación* aborda con detalle las características de esta organización institucional en el Sistema Cutzamala.

4. **Ley Federal de Derechos.** En 2014 se hicieron importantes reformas a la Ley Federal de Derechos aplicables en materia de aguas nacionales. Para fines de este diagnóstico, se destaca entre las reformas la inclusión del cobro de cuotas por trasvase, como una contribución adicional al derecho por uso o aprovechamiento de aguas nacionales.

2. Marco legal del sistema Cutzamala

5. **Aguas propiedad de la Nación.** El artículo 27 de la Constitución define como propiedad de la Nación, entre otras, las aguas de los ríos y sus afluentes directos o indirectos, desde el punto del cauce en el que se inician hasta su desembocadura en el mar. Esto determina la esfera de competencia federal que, en términos de la Ley de Aguas Nacionales, está a cargo de la Comisión Nacional del Agua.
6. **El acceso al agua: un derecho humano.** El derecho humano al agua ha sido reconocido recientemente en el artículo 4 de la Constitución y es uno de los pilares en los que se fundamenta del Sistema Cutzamala. La Constitución establece que el Estado garantizará el derecho al acceso al agua para consumo personal y doméstico en forma suficiente, salubre, aceptable y asequible, con algunas condiciones que

tienen que establecerse en las leyes secundarias. Si el Estado no cumple con este cometido, se le puede exigir jurídicamente el acceso al recurso como un derecho fundamental.

7. **Entrega de agua en bloque.** El acuerdo por el que se decreta la entrega de agua en bloque, expedido en 1982 por el Presidente de la República, es un instrumento fundamental para la gestión del recurso en el Sistema Cutzamala. Este acuerdo establece que la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos, en una primera etapa, entregaría a los gobiernos del Departamento del Distrito Federal y del Estado de México 2 m³/s a cada uno, hasta llegar en las etapas subsecuentes, y de acuerdo con el crecimiento de la población, a un total de 19 m³/s provenientes de las presas del Sistema Cutzamala (Tabla 11.1).
8. En el mismo acuerdo se establecieron tres criterios de ajuste de los volúmenes que les corresponden a la Ciudad de México y al Estado de México:
 - variación de las condiciones hidrológicas del Sistema Cutzamala;
 - evolución del crecimiento poblacional en forma distinta a la prevista para calcular los volúmenes consignados en el acuerdo, y
 - otras causas que modifiquen los caudales producidos.
9. **Determinación de competencias.** De acuerdo con la LAN, la CONAGUA tiene competencia primaria sobre la construcción, la operación, la conservación y el mantenimiento de las obras hidráulicas federales del Sistema Cutzamala. La Comisión cuenta con Organismos de Cuenca que ejercen autoridad en el ámbito territorial de las cuencas y de las regiones hidrológico-administrativas; en el caso del Sistema Cutzamala, por tratarse de obras de infraestructura hidráulica federal que afectan a más de una región hidrológico-administrativa, la CONAGUA, a través de su Director General,

■ **Tabla 11.1. Caudales de las presas del Sistema Cutzamala (l/s)**

	Presas Villa Victoria	Presas Chilesdo	Presas Valle de Bravo	Presas Colorines	Total
Estado de México	2,000	571	3,629	4,658	10,858
Distrito Federal	2,000	429	2,471	3,242	18,142
	4,000	1,000	6,100	7,900	19,000

(Fuente: DOF, 22 de junio de 1982)

ejerce la autoridad de acuerdo con el Reglamento Interior de la institución.

10. **Acuerdo delegatorio.** El Director General de la CONAGUA expidió un acuerdo (DOF, 9 de octubre de 2012) en el que delega al Director General del OCAVM las atribuciones que le corresponden en relación con el Sistema Cutzamala. Las atribuciones del OCAVM incluyen:

- dirigir proyectos, programas, estudios y construcción de obras de infraestructura hidráulica, así como hacerse cargo de la operación, la conservación y el mantenimiento de la infraestructura; y
- emitir los actos de autoridad que prevé la Ley de Aguas Nacionales cuando se trate de proyectos, programas, construcción de obras, servicios y acciones relacionadas con la infraestructura.

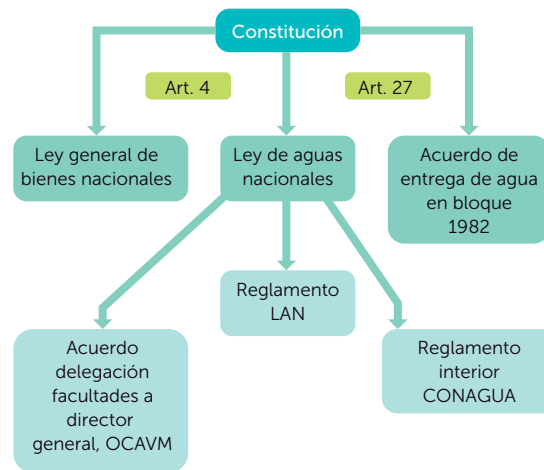
3. Actos de autoridad

11. **Principales dificultades.** Para el ejercicio de actos de autoridad en el Sistema Cutzamala y sus subcuencas de aportación, se han identificado tres dificultades principales en materia legal:

- un marco de competencias que otorga facultades a dos instancias diferentes: al OCAVM, que tiene autoridad sobre la infraestructura del Sistema (DOF, 9 de octubre de 2012), y al OCB, que tiene jurisdicción sobre el territorio de las subcuencas de aportación (DOF, 1 de marzo de 2010); y a pesar que son claras las competencias sobre el territorio de las subcuencas en los tres niveles de gobierno, no existe coordinación entre autoridades;
- control insuficiente y falta de supervisión sobre las acciones y las prácticas que afectan el funcionamiento del Sistema Cutzamala y las subcuencas de aportación, y
- carencia de información y escasez de personal para el ejercicio efectivo de los actos de autoridad.

12. **Competencias.** Aunque las competencias del OCAVM y del OCB están definidas en distintos instrumentos, algunos actos jurídicos (como visitas y procedimientos administrativos)

■ **Figura 11.1. Principales elementos del marco jurídico del Sistema Cutzamala**



(Fuente: elaboración propia con base en las disposiciones jurídicas mencionadas)

los llevan a cabo las Direcciones Locales de la CONAGUA en los estados de México y Michoacán. En el apartado de *Aspectos Institucionales y de Planeación* se explica cuál es la función de estas Direcciones Locales y cómo interactúan con las instancias regionales.

13. **Visión y prioridades.** La diversidad de competencias ha provocado que las autoridades de distintas dependencias y organismos desconozcan lo que se realiza en el terreno; asimismo, son diferentes sus prioridades y su visión de las subcuencas, lo que afecta el ejercicio de los procedimientos legales, pues en ocasiones estas instancias no cuentan con la información necesaria para ejercer los actos de autoridad.

14. **Competencia sobre la infraestructura y las subcuencas de aportación.** Una parte importante de los actos de autoridad que afectan al Sistema Cutzamala debe ejercerse por una entidad distinta de aquella que tiene jurisdicción sobre el territorio de las subcuencas de aportación. Un ejemplo de lo anterior son las descargas de aguas residuales en cuerpos de agua nacionales, que están bajo la jurisdicción del OCB pero afectan la calidad del agua del Sistema Cutzamala, a cargo del OCAVM.

15. **Esfuerzos de coordinación.** En materia legal ha habido esfuerzos de coordinación entre OCAVM y OCB. Entre ellos destacan las visitas en 2012 a las zonas de invasión de zonas federales y descarga de aguas residuales. No obstante, estos esfuerzos han sido temporales y focalizados en algunos de los problemas.

Desde la perspectiva del OCB, los problemas legales requerirían un enfoque que trascienda el ámbito de las subcuencas de aportación del Sistema Cutzamala y que considere la cuenca del Balsas en su conjunto. Por parte del OCAVM se percibe como una limitante el que su jurisdicción se reduzca a la infraestructura del Sistema.

16. **Competencia territorial.** Un importante precedente en materia de competencia territorial es el acuerdo del Director General de la CONAGUA en el que ratifican diversos arreglos entre las entonces Gerencias Regionales Balsas y de Aguas del Valle de México (DOF, 29 noviembre de 1999 y 13 noviembre de 2000), de manera que la Gerencia Regional del Valle de México tuviese competencia en materia de administración de aguas nacionales en los municipios de los estados de Michoacán y de México, a pesar de que están situados en el ámbito de la región hidrológico-administrativa de la Gerencia Regional Balsas.

17. **Dificultades operativas y de control.** La distancia física de la sede de las autoridades del agua (CONAGUA, OCAVM, OCB y Direcciones Locales) con respecto a la infraestructura del Sistema Cutzamala y de las subcuencas de aportación implica dificultades operativas y de control administrativo. En el caso del OCAVM, las dificultades se refieren a la operación, el mantenimiento y el control del Sistema; para el OCB, al control de usuarios y la administración en general de los recursos hídricos en el territorio. Como se indicó en el apartado de *Infraestructura*, es importante ampliar el control supervisorio en los embalses, los subsistemas de captación, las conducciones, las estaciones meteorológicas, los puntos de entrega de agua en bloque y otros segmentos de infraestructura. En este sentido, los actos de autoridad se enfrentan a los siguientes desafíos:

- las órdenes de visita deben ir firmadas por autoridades con sede en la Ciudad de México, Cuernavaca, Toluca o Morelia;
- los tiempos para la emisión de órdenes y su ejecución reducen la efectividad de la autoridad para actuar frente a un incumplimiento flagrante de la Ley;
- en materia de descargas se requiere la conjunción de esfuerzos de personal técnico y personal jurídico, lo que implica mayor coordinación, y

- el costo para efectuar las visitas de inspección en campo dificulta la atención oportuna y constante de la autoridad del agua, además de que el personal técnico y administrativo es insuficiente y trabaja con recursos materiales y de traslado limitados.

18. **Tenencia de la tierra.** En el ámbito del Sistema Cutzamala falta información sobre la tenencia de la tierra por parte del OCAVM; esto ha obstaculizado el ejercicio efectivo de actos de autoridad. Por ejemplo, algunas zonas inundables de los embalses han sido invadidas, y el OCAVM no ha podido emprender actos de autoridad (como ocurrió en 2013), pues los invasores se respaldaron en la ambigua situación de la propiedad de la tierra, exhibiendo incluso certificados parcelarios. La falta de información afecta también a las áreas urbanas frente a la invasión de las zonas de protección del embalse, como sucede, por ejemplo, con la instalación de viviendas en Valle de Bravo.

19. **Bienes propiedad de la Nación.** Los vasos de las presas y los depósitos en cauces de corrientes de propiedad nacional, así como las obras de infraestructura hidráulica financiadas por el Gobierno Federal —como presas, diques, vasos, canales, drenes, bordos, zanjas y acueductos— se consideran bienes de propiedad nacional sujetos a la administración de la autoridad del agua. Existen actas de entrega provisional de presas por parte de la Comisión Federal de Electricidad a la Comisión de Aguas del Valle de México.

20. **Deficiencias en la medición.** En 2010 se contaba con cuatro estaciones hidrométricas en el Sistema Cutzamala; actualmente no existen estaciones hidrométricas funcionando. Ésta es una limitante mayor para fundar y motivar los actos administrativos por parte de la autoridad, y sostener su validez en casos de impugnación.

4. Regulación de las subcuencas de aportación en relación con el sistema Cutzamala

21. **Materias de regulación.** En el cuadro se muestran las principales materias de regulación y su ámbito de competencia, dada la problemática presente en las subcuencas de aportación del Sistema Cutzamala.

22. **Reglamentación municipal.** Del análisis de la reglamentación vigente en los 14 municipios

■ **Tabla 11.2. Regulación y competencias en las subcuencas**

Materia de regulación	Ámbito de competencia	Descargas	Deforestación	Tomas irregulares del Sistema Cutzamala	Invasión de zona federal
Federal		Cuerpos receptores federales	Política Nacional Forestal, pago por servicios ambientales	Aguas nacionales e infraestructura federal	Contiguas a los cauces y vasos de propiedad nacional
Estatal		Obras de suministro, medición, monitoreo	Política forestal en la entidad federativa	X	Convenios de colaboración administrativa y fiscal
Municipal		Drenaje, alcantarillado, tratamiento y disposición de aguas residuales	Política forestal en el municipio	X	Convenios de colaboración administrativa y fiscal

(Fuente: elaboración propia)

de las subcuencas de aportación, se advierte que estas instancias se rigen fundamentalmente por los bandos municipales de Policía y Buen Gobierno, pero son escasos los reglamentos municipales que regulen otros temas de agua, medio ambiente y desarrollo urbano. Por ejemplo, el municipio de Zitácuaro cuenta con un Reglamento para la Conservación, Protección y Restauración del Medio Ambiente; el de Angangueo, con un Reglamento de Protección al Medio Ambiente y Preservación Ecológica, y el de Irimbo, dispone de un Reglamento para la Gestión Integral de los Residuos Sólidos Urbanos. La insuficiencia reglamentaria en la mayoría de los municipios de las subcuencas de aportación es un punto débil; los municipios deberían contar con un marco jurídico que le dé solidez a su gestión de los recursos.

23. **Calidad del agua.** Como se señala con más detalle en el apartado de *Calidad del Agua en las Subcuencas*, los embalses del Sistema Cutzamala padecen un importante deterioro en la calidad del recurso debido al efecto de las descargas de aguas residuales de origen doméstico no tratadas, a la erosión y al arrastre de fertilizantes y agroquímicos utilizados en la agricultura, además de los efectos de otras actividades productivas. Además de las dificultades por falta de reglamentación, los municipios ven limitada su capacidad para resolver estos problemas, pues persiste la falta de coordinación en la aplicación de la Ley y en la instrumentación de los programas de conservación y mejoramiento de los recursos.
24. **Normatividad.** Como se señala en el apartado de *Panorama Socioeconómico y de Comunicación*, en las subcuencas de aportación del Sistema Cutzamala había 1,076 localidades con menos

de 2,500 habitantes en 2010, en tanto que se registraban 29 centros urbanos con mayor población, entre los que destacan como ciudades medias Zitácuaro, Ciudad Hidalgo y Valle de Bravo. Como se indica en el apartado de *Calidad de Agua en las Subcuencas*, tanto las zonas rurales como las urbanas se caracterizan por un cumplimiento bajo o nulo de las normas aplicables en materia de uso eficiente del agua, potabilización y descarga de aguas residuales: en particular, de las Normas Oficiales 127-SSA1-1994, que establece los límites de calidad permisibles para la potabilización del agua; la NOM-001-ECOL-1996, que regula los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales, y la NOM-002-ECOL-1996, que fija los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a los sistemas de alcantarillado urbano o municipal.

25. **Regulación forestal e incumplimiento de la Ley.** A pesar de que existe la legislación que establece las competencias de los tres niveles de gobierno en materia forestal, persiste la pérdida de cobertura vegetal, y la degradación de los suelos de las subcuencas se produce, entre otras razones, por la tala ilegal de bosques en las partes altas y en laderas —con su consecuente erosión—, así como por el avance de la agricultura de temporal con inadecuadas prácticas de cultivo. En el apartado de *Aspectos Hidroagrícolas* se analiza más ampliamente esta problemática.
26. **Desarrollo forestal.** En materia forestal la federación es la responsable de formular y conducir la política nacional de desarrollo forestal sustentable. A los estados y municipios les corresponde poner en práctica esta política en su

respectivo ámbito de competencia. En las subcuencas de aportación del Sistema Cutzamala, el ordenamiento federal proviene de la Ley General de Desarrollo Forestal Sustentable; en el Estado de México, del Código para la Biodiversidad, y en el estado de Michoacán, de la Ley de Desarrollo Forestal Sustentable.

27. **Tomas irregulares.** En el apartado de *Aspectos Hidroagrícolas* se expone el creciente problema de las tomas irregulares en el Sistema Cutzamala. La proliferación de este tipo de tomas es un reflejo del incumplimiento de la Ley de Aguas Nacionales y de las dificultades para la supervisión de la infraestructura en el Sistema. Se estima que existen 1,459 tomas irregulares, principalmente en los canales El Bosque-Colorines y Tuxpan-El Bosque.
28. **Invasión de zonas federales y de zonas de protección de infraestructura hidráulica.** En las subcuencas persiste la invasión de zonas federales. También prevalece la invasión de las zonas de protección que, en términos de la Ley de Aguas Nacionales, se constituyen por la faja de terreno inmediata a las presas, estructuras hidráulicas e instalaciones conexas cuando dichas obras sean de propiedad nacional. La invasión ocurre tanto en áreas rurales como urbanas. En el periodo 2012-2014, las Direcciones Locales sólo realizaron visitas para supervisión de bienes nacionales en los municipios de las subcuencas en una proporción mucho menor (dos de cada 100 visitas para el Estado de México y cinco de 22 en Michoacán) que en otras áreas, como aguas nacionales o descarga de aguas residuales. Es importante prestar mayor atención a este problema e incrementar el número de visitas de supervisión de bienes nacionales.
29. **Ordenamiento ecológico territorial.** La legislación en materia de ordenamiento ecológico es abundante, tanto en el nivel federal como en los estados de México y Michoacán; sin embargo, ha fallado su aplicación y cumplimiento, entre otras causas por una falta de control puntual por parte de las autoridades de los tres niveles de gobierno, así como por la descoordinación entre instituciones (véase el apartado *Aspectos Institucionales y de Planeación*). Salvo algunas diferencias —definiciones de términos, alcances de temas, territorialidad, atribuciones, participación social, obligatoriedad y la forma de considerar este asunto como de utilidad pública o de interés social— los instrumentos básicos aplicables en esos territorios definen el ordenamiento ecológico en

términos similares, y todos tienen como eje común su carácter regulador.

5. Normas aplicables e instrumentos de fomento

30. **Otros instrumentos legales.** Existen normas e instrumentos de fomento que se han aplicado en el Sistema Cutzamala, como los programas federalizados, las Normas Oficiales Mexicanas (NOM) y los fideicomisos como fuentes legales de financiamiento del Sistema.
31. **Programas federales.** Los municipios y localidades de las subcuencas de aportación del Sistema Cutzamala se han visto beneficiados por los distintos programas que el Gobierno Federal promueve y aplica; en general, estos programas han sido útiles para financiar obras y acciones relacionadas con la construcción, rehabilitación, operación y mejoramiento de la eficiencia en el uso y de la calidad del agua en los municipios y localidades de los estados de México y Michoacán. Para aprovechar estos programas, los municipios deben, entre otras, cumplir con ciertas condiciones que se refieren a tamaños, eficiencias, incremento de coberturas, participación en las inversiones y, en algunos casos, deben estar al corriente en el pago de derechos. En los hechos, muchas localidades de los municipios de las subcuencas, dado su tamaño, sus ineficiencias o sus limitaciones administrativas y de recursos no cumplen con esas condiciones y, por lo tanto, se les dificulta el acceso a estos programas.
32. **Las Normas Oficiales Mexicanas.** Las Normas Oficiales establecen especificaciones técnicas y límites permisibles sobre distintos aspectos del uso y manejo del agua, su potabilización, sobre descargas de aguas residuales a cuerpos receptores nacionales, alcantarillados y suelos; asimismo, regulan el reúso, manejo y disposición de lodos provenientes de plantas de tratamiento de agua residual, así como el manejo de residuos sólidos urbanos y peligrosos, y la determinación del caudal ecológico. La aplicación de las normas requiere contar con instrumentos y mecanismos fiables y suficientes de verificación y medición, de manera que la autoridad pueda validar el acto administrativo ante recursos o juicios interpuestos para impugnarla. La insuficiencia de instrumentos y mecanismos fiables y suficientes de medición e inspección en el perímetro del Sistema Cutzamala y en las subcuencas de

aportación dificulta la verificación del cumplimiento de las normas, y también impide que la autoridad afronte con éxito los recursos o juicios interpuestos por particulares. Se trata, por una parte, de fortalecer a la autoridad, y por otra —como se anticipó en el apartado de *Infraestructura*—, de aumentar la vigilancia, lo que implica la modernización de la estructura organizativa y de supervisión, con procesos sistematizados y con líneas claras de responsabilidad y control.

33. **El Fideicomiso 1928.** El Fideicomiso Irrevocable de Administración y Fuente de Pago 1928 (DOF, 24 de noviembre de 2004) otorga un estímulo fiscal a los responsables de la prestación del servicio de agua potable, alcantarillado y tratamiento de aguas residuales, por los pagos realizados por aprovechamientos y sus accesorios derivados del suministro de agua en bloque. Así, las cuotas por aprovechamientos en la región del Valle de México se destinan al Fideicomiso 1928 para cubrir gastos de inversión, y se establece como garantía de pago la afectación de las participaciones federales, mediante compensación, en los términos establecidos en la Ley de Coordinación Fiscal. El personal de OCAVM identificó que, a pesar de que una parte importante de los recursos de ese Fideicomiso proviene del Sistema Cutzamala, los montos otorgados se asignan a obras de drenaje y saneamiento en el Valle de México o a obra nueva de infraestructura hidráulica, y al mantenimiento del Sistema Cutzamala.

34. **El Fondo Metropolitano.** El Fondo Metropolitano es un instrumento financiero que se propone impulsar el desarrollo integral de las zonas metropolitanas. En el caso del Valle de México, los recursos se manejan a través de un fideicomiso denominado Fondo Metropolitano del Valle de México, en el cual participan los gobiernos del Distrito Federal y de los estados de México e Hidalgo. Mediante este fondo —previsto anualmente en el Presupuesto de Egresos de la Federación— se busca disminuir la vulnerabilidad o los riesgos por la ocurrencia de fenómenos naturales o ambientales, y aquellos que se originan por la dinámica demográfica y económica. Los fondos se destinan prioritariamente a apoyar estudios, planes, evaluaciones, programas, proyectos, acciones, obras de infraestructura y su equipamiento, ya sean nuevos o en proceso, o para completar el financiamiento de aquellos que no hubiesen contado con los recursos necesarios para su ejecución. Entre los proyectos se incluyen los de infraestructura hídrica para agua

potable, drenaje, alcantarillado y saneamiento de la ZMVM. Este fondo se ha convertido en una fuente potencial e interesante de financiamiento para el Sistema Cutzamala. Como se indicó en el apartado *Aspectos Económicos y Financieros*, estos fondos deben estructurarse en el ámbito del Sistema Financiero del Agua con el fin de garantizar la sostenibilidad de largo plazo y la eficiente operación del Sistema.

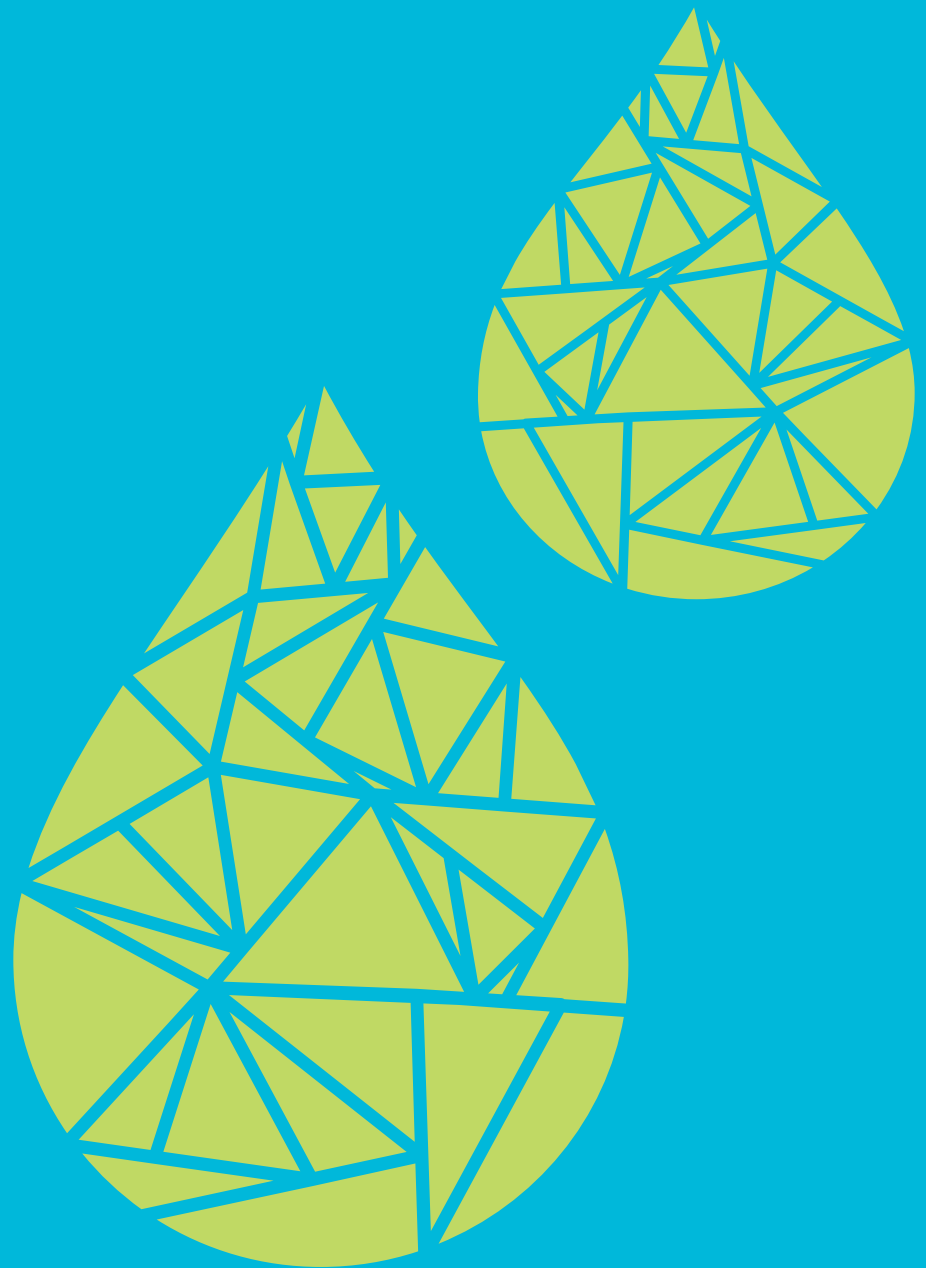
6. Conclusiones

35. Del análisis de los aspectos jurídicos de este diagnóstico, se advierte que el fortalecimiento del acto de autoridad encuentra, entre otros obstáculos, la limitación de la jurisdicción del OCAVM a la infraestructura, así como la ubicación de esta infraestructura en un espacio sujeto a la jurisdicción de un Organismo de Cuenca distinto: el OCB. Ello entraña una importante dificultad, pues los problemas que afectan a la infraestructura están estrechamente vinculados con lo que acontece en el territorio de las subcuencas de aportación.

36. La distancia física de la sede de las distintas autoridades del agua —CONAGUA, OCAVM, OCB y Direcciones Locales— con respecto a la localización de la infraestructura del Sistema Cutzamala y de las subcuencas de aportación implica dificultades operativas y de control administrativo que afecta las órdenes de visita y los procedimientos administrativos. Por eso es importante que se fortalezca la capacidad de las autoridades competentes en algunos aspectos clave, a saber:

- contar con personal suficiente y debidamente capacitado, más cercano a las subcuencas de aportación;
- dotar al personal del equipo y los instrumentos necesarios para llevar a cabo las visitas de verificación e inspección;
- aumentar la vigilancia mediante la modernización de las formas de control y supervisión;
- generar sinergias entre autoridades para fortalecer el acto de autoridad;
- encontrar formas de incrementar las inspecciones, visitas domiciliarias y revisiones fiscales, y

- mejorar los tiempos de respuesta, así como simplificar los trámites y procedimientos.
37. En los municipios de las subcuencas destaca particularmente la insuficiente reglamentación en materia de agua, medio ambiente y desarrollo urbano.
 38. La falta de supervisión y de medios adecuados para vigilar todas las descargas y los cuerpos receptores generan incumplimiento, entre otras, de la norma NOM-001-ECOL-1996, que establece límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales.
 39. La legislación forestal es profusa; sin embargo, la Ley no se cumple y por consiguiente subsisten problemas como la pérdida de la cobertura vegetal, la tala inmoderada y la degradación de los suelos en las subcuencas.
 40. Es importante detectar, cancelar y, en su caso, sancionar las tomas irregulares de agua que se instalan en los canales. Los apartados de *Infraestructura* y de *Aspectos Hidroagrícolas* abundan especialmente en estos puntos críticos. Es necesario aplicar los procedimientos legales correspondientes y acompañarlos de una estrategia y de acciones para que la Ley se cumpla cabalmente.
 41. La legislación en materia de ordenamiento territorial, urbano y ecológico, que vincula el desarrollo urbano con el manejo de los recursos naturales y el control de las actividades que afectan el ambiente, también tiene problemas de implementación e incumplimiento, así como fallas de coordinación e integralidad en las políticas de las distintas instancias —federales, estatales y municipales— en las subcuencas.
 42. La falta de mecanismos suficientes y fiables de verificación y medición, así como la escasez de personal para llevar a cabo inspecciones en las subcuencas de aportación del Sistema Cutzamala, obstaculiza el cumplimiento de las Normas Oficiales Mexicanas aplicables que establecen especificaciones técnicas y límites permisibles para el uso eficiente de la infraestructura, del agua, así como para el control de su calidad. Esto implica dificultades para que la autoridad haga frente a recursos jurídicos o a juicios interpuestos por particulares.





Realidades en las subcuencas

Este apartado presenta un ejercicio de integración de los resultados de todos los apartados anteriores, organizados por subcuenca. Se reflexiona sobre los problemas específicos de cada subcuenca y sobre los problemas comunes que afectan el complejo sistema de afluentes naturales y artificiales de las presas que conforman el Sistema Cutzamala.

1. El conjunto de cauces que conducen las aguas precipitadas hacia la parte más baja de cada una de las seis subcuencas del Sistema Cutzamala forma una red de afluentes naturales. Al mismo tiempo, los canales, los túneles y acueductos forman otra red que va efectuando trasvases entre las subcuencas y que pueden ser considerados como tributarios artificiales de las subcuencas que están aguas abajo en la secuencia y funciones del Sistema Cutzamala.
2. El Sistema Cutzamala es conocido por la infraestructura hidráulica que vertebra el trasvase entre regiones hidrológico-administrativas; sin embargo, en su nacimiento, en la parte alta de las subcuencas, el Sistema Cutzamala es una red híbrida de afluentes naturales y artificiales que tributan a las presas en las que se capta el agua. Por ello, el Sistema Cutzamala en este diagnóstico se ha abordado como la integración de la infraestructura hidráulica y las subcuencas productoras de agua de las cuales depende.
3. En su curso, los afluentes van arrastrando sedimentos en mayor grado en las áreas deforestadas y erosionadas; reciben contaminantes al pasar por las zonas urbanas y por las áreas cultivadas con fertilizantes, así como nutrientes, y los van acumulando en los embalses.
4. La red de afluentes de las seis subcuencas conduciría naturalmente sus aguas hacia el río Balsas en la vertiente del Pacífico; sin embargo, al ser represadas y trasvasadas drenan (mediante bombeo) hacia la cuenca alta del río Lerma (donde se entrega agua en bloque a Toluca) y hacia el Valle de México, cuenca naturalmente endorreica, pero abierta artificialmente y conectada a su vez con la cuenca del río Pánuco en la vertiente del Golfo.
5. Si una cuenca hidrológica es un sistema complejo, una región conformada por varias subcuencas cuya agua es trasvasada hacia la zona metropolitana más importante del país constituye un enorme desafío.

1. Subcuenca Tuxpan

6. La subcuenca Tuxpan es la más extensa del Sistema Cutzamala; abarca los municipios Hidalgo, Irimbo, Tuxpan, Aporo, Anganguero y Ocampo. También es la subcuenca con mayor número de habitantes (195,876), de los cuales el 44% vive en localidades con menos de 2,500 habitantes, es decir, en comunidades rurales; aunque sólo el 34% habita en una localidad con más de 15,000 habitantes, tiene una fuerte concentración en las cabeceras municipales de Ciudad Hidalgo y Tuxpan que se ubican en las márgenes de los afluentes principales de la presa derivadora Tuxpan.
7. Los habitantes de esta subcuenca tienen importantes rezagos: la mitad de la población tiene un nivel medio de marginación, salvo quienes viven en Ciudad Hidalgo y en Ocampo que obtuvieron un nivel alto; más de una tercera parte de la población de la subcuenca presenta rezago educativo; más del 40% de los habitantes de Tuxpan y Anganguero carecen de seguridad alimentaria; más de la mitad de la población de Anganguero son obreros, mientras que Tuxpan tiene el 22% de los jornaleros y uno de los niveles más altos de población económicamente inactiva. Aunque en el conjunto de la subcuenca 8 de cada 10 viviendas tienen agua y drenaje, en el campo sólo 5 de cada 10 tienen agua y poco menos de la mitad tiene cobertura de drenaje. Esto, aunado al incremento de asentamientos irregulares —actualmente hay 10 ubicados en las riberas de los ríos y en zonas inundables—, ha aumentado las descargas de aguas residuales, directas o indirectas, al canal Tuxpan-El Bosque, que provienen de la población asentada en las proximidades de la presa derivadora Tuxpan o en el tramo vecino al poblado Cerrito del Muerto.
8. A pesar del crecimiento urbano y de la dispersión de las localidades, persiste una gran superficie de bosques (56%), de los cuales el 46% están en buen estado y el 10% están alterados. La mayor parte de estos bosques son propiedad privada.
9. Esta subcuenca registra la mayor precipitación media anual con 1,156 mm y la mayor infiltración con 177 hm³, lo cual permite que en ella se extraiga la mayor cantidad de agua, con un total de 148.3 hm³. Del volumen total, se destinan 113.2 hm³/año para uso agrícola; le siguen 18.08 hm³ para uso público, de los cuales 5.47 hm³ son para localidades rurales y 12.60 hm³ para los centros urbanos, y finalmente, para uso acuícola se extraen 17.02 hm³. Las pérdidas por fugas en la conducción de las redes de agua potable de las localidades se estima en 45%.
10. La actividad agrícola es significativa (39%) en esta subcuenca. El 31% de su superficie se usa para agricultura de temporal (que se ha incrementado a costa del uso pecuario) y el 8% para la agricultura de riego, con 9,430 ha. De las seis subcuencas del Sistema, ésta es la que tiene la mayor superficie de riego y la que ocupa una mayor superficie de frutales con riego (2,000 ha), lo que convierte a Tuxpan en un importante núcleo agrario. Por otro lado, los bosques se encuentran muy fragmentados, lo que produce declinación de la fertilidad, procesos de erosión laminar y formación de cárcavas.
11. Otras actividades que agudizan la erosión, con el consecuente azolve y concentración de residuos sólidos en los embalses, son la sobreexplotación forestal (regulada o ilícita), la floricultura comercial, la acuicultura —hay 74 granjas acuícolas con una extracción bruta de 17.02 hm³ (se usa un coeficiente de retorno de 0.85)—, la actividad pecuaria, la industria de los centros urbanos y la minería en Ciudad Hidalgo.
12. Para realizar actividades agrícolas, pecuarias y domésticas (huertos), los usuarios han incrementado las extracciones de agua en el canal Tuxpan-El Bosque. En éste se registran 429 tomas de un total de 1,459 localizadas en las seis subcuencas. En el Distrito de Riego 045, el módulo 7 Canoas Huanguitío (con 682 productores) es el único que se abastece del Sistema Cutzamala. Tiene una superficie oficial de 2,293 ha, pero en realidad se riegan aproximadamente 2,600 ha. La mayoría de los usuarios de este módulo se sirve de tomas reconocidas oficialmente. El Distrito es un núcleo agrario con una importante influencia cultural, técnica, económica y comercial, y está integrado por dos unidades: Maravatío (en la cuenca del Lerma) e Hidalgo (en la cuenca del Balsas) con 5,674 y 471 usuarios, respectivamente. De la superficie total, 18,222 ha son de riego por gravedad y 1,464 ha son de riego por bombeo de pozos.
13. Se han detectado otros problemas en materia de riego: presencia de usuarios irregulares o precaristas en el Distrito de Riego y en unidades de riego, falta de medición y control en las extracciones, baja eficiencia en el servicio

de riego y cuotas insuficientes para lograr una operación y mantenimiento adecuados.

14. A partir de las tomas irregulares, ha surgido un conflicto con la Asociación Civil de usuarios de riego, pues resiente la disminución del caudal, en parte porque la red está en mal estado y por la falta de mantenimiento y operación de la maquinaria concesionada. Otro conflicto se da entre los ejidatarios, que no respetan los acuerdos: debido a la topografía accidentada de la zona, algunos usuarios sólo pueden regar de día y otros tienen que hacerlo de noche. El problema surge cuando los usuarios que riegan de día, ubicados en la parte alta, riegan también de noche y el agua no llega a los agricultores de las partes bajas. Además, la “Junta de Aguas Canoas-Huanguitío”, un grupo sin reconocimiento oficial, confronta los acuerdos propuestos por la Asociación Civil de usuarios; la presencia de esta organización ha generado problemas en la administración, operación y conservación de las obras de infraestructura hidráulica.
15. Así, tanto el problema de las tomas irregulares como la fuerte contaminación ocasionada por las actividades económicas obstaculizan el manejo apropiado de la infraestructura. A esto se añade un deficiente mantenimiento de los canales, una alta sedimentación y azolvamiento de la presa, así como riesgos de inundaciones como las que se produjeron en 2010 por la creciente desbordada de los ríos y por el remanso desde la presa Tuxpan.
16. Los principales afluentes de la presa Tuxpan son los ríos Tajimaroa y Puerco. El primero, que se convierte en río Turundeo, corre del poniente hacia el suroriente de la subcuenca y va atravesando el Distrito de Riego 045 y las localidades urbanas más importantes (Ciudad Hidalgo y Tuxpan). El segundo afluente nace en la parte nororiente de la subcuenca, en la zona de amortiguamiento de la Reserva de la biosfera Mariposa Monarca, pasa por un área irrigada y atraviesa varias localidades rurales dispersas hasta encontrar la confluencia con el río Turundeo; atraviesa la ciudad de Tuxpan y finalmente desemboca en la presa derivadora. El canal a cielo abierto Tuxpan-El Bosque corre por fuera de las subcuencas que conforman el área de estudio, y a lo largo de sus márgenes continúa hacia el sur el Distrito Riego 045.
17. La presa Tuxpan presenta problema de azolvamiento; originalmente construida como presa de almacenamiento, se llenó de sedimentos

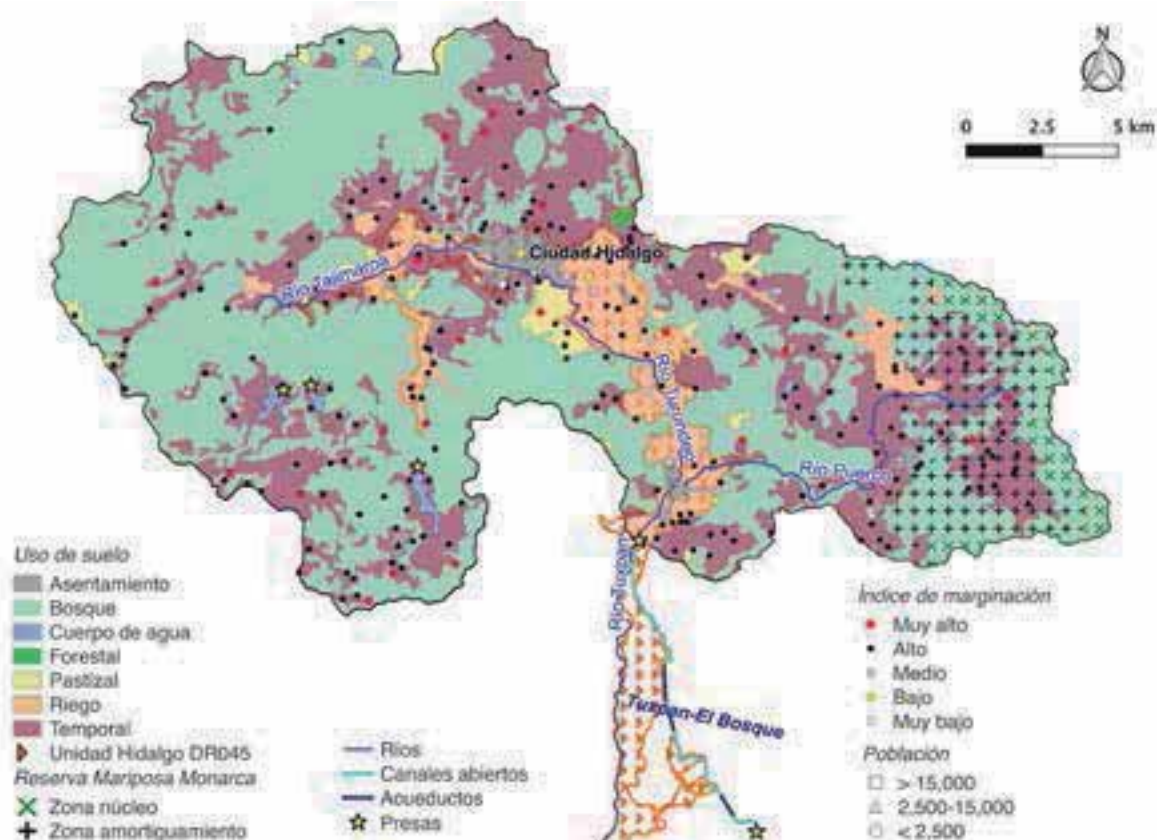
antes de 10 años. Por esta razón, actualmente sólo se utiliza como presa de derivación. En el área de la presa se han emplazado asentamientos humanos irregulares, y para evitar que los niveles de agua rebasen cierta cota, los pobladores han instalado una tubería a manera de vertedor de demasías.

18. Los principales instrumentos de planeación territorial en esta subcuenca son el Plan Rector Integral de la Cuenca de la Presa Derivadora Tuxpan, el Programa de Ordenamiento Ecológico de la Región Mariposa Monarca y los Planes de Desarrollo Municipal de Ciudad Hidalgo, Irimbo, Tuxpan, Aporo, Anganguero y Ocampo.
19. En el periodo 2006-2014, el Gobierno Federal invirtió aproximadamente \$958 millones de pesos en los municipios que forman parte de esta subcuenca. De este monto, el 75% provino de la CONAGUA, mientras que la SEDESOL aportó el 11%, la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT) el 6%, la SAGARPA el 5%, la SEMARNAT el 2% y el FONATUR el 1%. Destaca entre otros proyectos la inversión para la modernización del módulo 7 del Distrito de Riego 045.

2. Subcuenca El Bosque

20. Esta subcuenca se encuentra en el municipio de Zitácuaro, en el estado de Michoacán. Es la segunda subcuenca más poblada del Sistema Cutzamala, con 148,893 habitantes y una tasa anual de crecimiento del 3% (entre 2005 y 2010). Muestra la menor dispersión con el 35% de su población en localidades menores de 2,500 habitantes y una fuerte concentración en una localidad con más de 80,000 habitantes: la cabecera municipal Heroica Zitácuaro, de gran influencia en la región oriente de Michoacán y en todas las subcuencas del Sistema, cuyo crecimiento ha sido desordenado debido a la migración regional.
21. La mayoría de la población habita en la cabecera municipal. La manufactura es la principal actividad económica en Zitácuaro y el nivel de marginación es bajo, ya que la mayor parte de la población es económicamente activa. Casi la mitad de la población es obrera, y el resto se dedica al sector de servicios y comercio minorista, pues esta localidad es el centro regional de abasto de los municipios en la región.

■ **Figura 12.1. Subcuenca Tuxpan**



(Fuente: elaboración propia)

22. El 85% de la población en esta subcuenca cuenta con agua potable. Se estima un 45% de pérdidas por fugas en la conducción de las redes secundarias de las localidades urbanas. Por otra parte, el 15% de la población carece de drenaje, por lo que existen descargas de aguas residuales crudas en los ríos de la subcuenca. Aunque la cabecera municipal tiene una planta de tratamiento de aguas residuales con capacidad de diseño de 267 l/s, sólo procesa 175 l/s.
23. El río Zitácuaro tiene elevadas cantidades de fósforo (83.38 ton/año) y en el canal Tuxpan se registra nitrógeno (947.56 ton/año); éstos son los afluentes más contaminados con altos índices de nutrientes. El incremento en los aportes de fósforo se ha mantenido constante, probablemente debido al vertimiento de aguas residuales. Destaca la alta concentración de aluminio en ambos cauces, que para 2011 fue de 4.40 mg/l para el río Zitácuaro y 8.99 mg/l para el canal Tuxpan. Actualmente presenta los valores más elevados de los últimos 10 años.
24. Ambos cauces aportan sus aguas a la presa El Bosque (en la parte baja de la subcuenca), cuya agua se clasifica como levemente tóxica. La materia orgánica, la DQO, las grasas y aceites, los nutrientes y los coliformes fecales —provenientes de las descargas de aguas residuales de las poblaciones de Zitácuaro, Ciudad Hidalgo, Tuxpan, Angangueo, Ocampo y Chichimequillas— rebasaron los criterios ecológicos en la mayor parte de los años monitoreados. Esta presa se encuentra en proceso de eutrofización, con sedimentos y azolve.
25. El 49% de la superficie de esta subcuenca está cubierta por bosque, el 3% está ocupada por asentamientos y el 2% por cuerpos de agua. Su amplia zona boscosa permite una captación media de lluvia de 428 hm³ al año de los cuales 108 hm³ se destinan al riego, 13 hm³ al uso público urbano y 3 hm³ al público rural (el resto se pierde por evaporación y evapotranspiración). Aunque en la parte alta la superficie agrícola sólo ocupa el 18%, hay cárcavas y erosión laminar, pues de las 44,698 ha de la subcuenca sólo en 4,775 ha de superficie forestal existen prácticas de restauración.

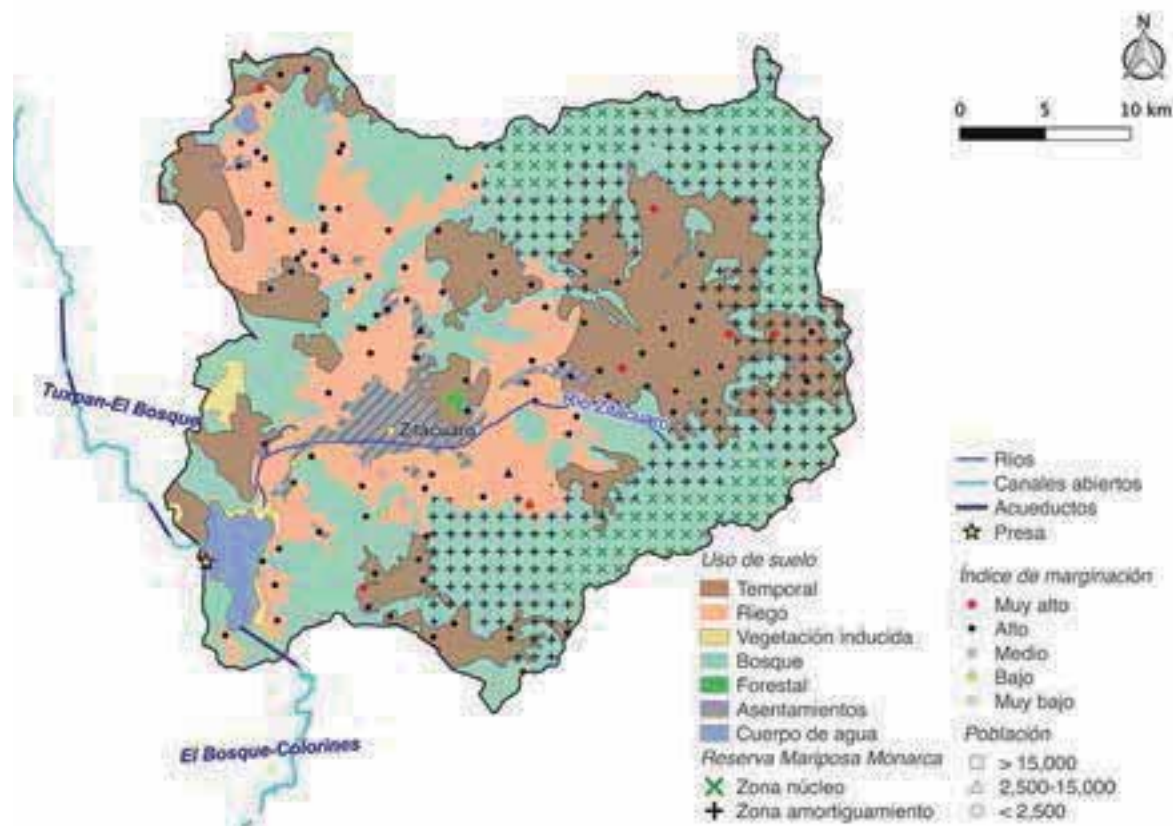
■ **Figura 12.2. Subcuenca y presa Tuxpan**



(Fuente: Adalberto Ríos Szalay/Adalberto Ríos Lanz)

26. La agricultura de temporal ocupa el 24% de la superficie de la subcuenca y la agricultura de riego el 20% —esta actividad es la que más ha crecido en el Sistema—, que se extiende alrededor de la ciudad de Zitácuaro. Esto ha disminuido la cobertura de bosque, por lo que se registra una alta erosión hídrica laminar y formación de cárcavas. En esta subcuenca los núcleos agrarios (propiedad comunal) manejan los bosques; sin embargo, falta certeza jurídica respecto a la tenencia de la tierra. Existen 15 unidades de riego a las cuales se destina el mayor uso del agua (108 hm³), y también se extrae el agua de alcantarillado para el uso en riego agrícola.
27. Los agricultores han incrementado las tomas irregulares con mangueras en el canal El Bosque-Colorines, con las facilidades de instalación del gobierno de Michoacán. Actualmente, la unidad de riego de Susupuato (36 km²) se alimenta por tomas irregulares. La subcuenca tiene el 4% del total de estas tomas en el Sistema Cutzamala.
28. El programa de tecnificación del riego ha sido objeto de serios cuestionamientos, como su costo excesivo sin participación económica de los beneficiarios y los problemas técnicos. Por tanto, es posible que no se cumpla con el objetivo de retirar las mangueras.
29. La presa El Bosque presenta filtraciones con caudales estimados del orden de 1 m³/s a 2 m³/s, con valores extremos que pueden alcanzar los 4 m³/s. En el interior del vaso hay asentamientos humanos irregulares e incluso prácticas de agricultura que provocan problemas de operación en la presa. Hay, asimismo, un mantenimiento deficiente y falta de medición en estructuras del canal.
30. En esta subcuenca se encuentran vigentes el Programa de Obras y Acciones para la Preservación de la Cuenca Río Zitácuaro-El Bosque, el Programa de Ordenamiento Ecológico de la Región Mariposa Monarca (26 de diciembre de 2007) y el Plan de Desarrollo Municipal de Zitácuaro (2012-2015).
31. Esta subcuenca recibió aproximadamente \$132 millones de pesos de inversión federal efectuada de 2006 a 2014, lo que representa el menor monto con respecto a las otras cinco

■ **Figura 12.3. Subcuenca El Bosque**



(Fuente: elaboración propia)

subcuencas del Sistema. De esa cifra, el mayor porcentaje provino de la SCT (37%); por su parte, la SAGARPA aportó el 23%, la SEDESOL el 20% y la Comisión Nacional para el Desarrollo de los Pueblos Indígenas (CDI) el 11%. El resto provino de la SEMARNAT y el FIRCO con 3% cada uno, así como de la CONAGUA (2%) y el FONATUR (1%).

3. Subcuenca Ixtapan del Oro

32. Es la subcuenca con la menor superficie (154 km²) del Sistema Cutzamala. Abarca los municipios Ixtapan del Oro, Donato Guerra y Villa de Allende, en el Estado de México. En ella habitan 8,705 personas, de las cuales el 66% vive en 14 localidades dispersas con menos de 2,500 habitantes y el resto vive en la cabecera municipal.
33. Es la única subcuenca en la que el 100% de los habitantes vive en condiciones de marginación alta y muy alta. Esta marginación se refleja en las condiciones de los servicios públicos, pues aunque el 80% de las viviendas

cuenta con agua potable, sólo el 66% cuenta con drenaje. A pesar de que las cabeceras municipales de San Martín Ocochotepec y San Miguel Ixtapan cuentan con drenaje sanitario, descargan sin tratamiento sus aguas residuales al río Ixtapan. Las comunidades de Ayalita, El Chilar y Tutuapan cuentan con drenaje sanitario; las dos primeras descargan sin tratamiento sus aguas residuales y pluviales al arroyo Los Ajos, mientras que Tutuapan las descarga al arroyo El Aguacate. El resto de la población sin drenaje utiliza fosas sépticas, lo cual agudiza la contaminación, la sedimentación y el azolve de la presa Ixtapan del Oro.

34. Esta subcuenca se ubica en una región montañosa, por lo que el uso del suelo predominante es el forestal con un 73%. Los núcleos agrarios (propiedad comunal) son responsables del manejo del bosque. Actualmente 9,102 ha (de un total de 9,516 ha) están en buen estado. La amplia cobertura de la superficie forestal en buen estado (es la mejor conservada del Sistema Cutzamala) implica que el aporte de sedimentos desde la parte alta de la subcuenca es poco significativo y hay baja erosión laminar.

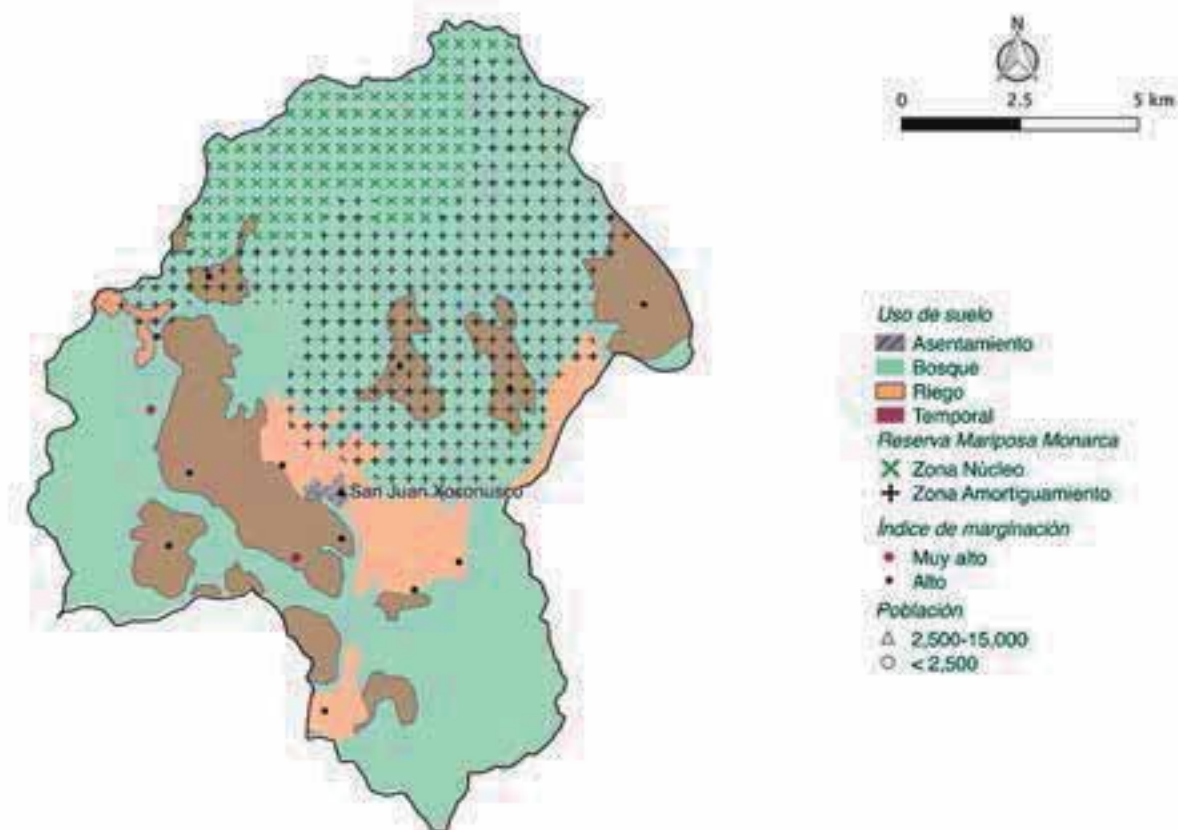
■ **Figura 12.4. Presa El Bosque**



(Fuente: Archivos Fotográficos, CONAGUA)

35. En la subcuenca Ixtapan del Oro hay seis manantiales importantes: La Rastra, Pela Blanca, S/N, El Rosal, Ojo de Agua y El Depósito. De los 13.4 hm³ anuales que se usan en la subcuenca, la mayor parte, 12 hm³, se destina al riego, 0.69 hm³ a uso acuícola, 0.31 hm³ al uso público rural y 0.40 hm³ al uso público urbano.
 36. La agricultura abarca 3,434 ha de la superficie total (26%) de la subcuenca, de las cuales 2,406 ha son de temporal (en decremento) y 1,035 ha de riego (en aumento). En los últimos años han aumentado las áreas de riego, lo que ha provocado la pérdida de fertilidad en los suelos y procesos de erosión laminar que aportan sedimentos a la presa. Asimismo, en esta amplia zona se ha incrementado el número de tomas irregulares para uso agrícola, en particular en el canal Ixtapan del Oro-Colorines.
 37. Los asentamientos humanos irregulares y el azolve han reducido casi totalmente la capacidad de regulación del vaso de la presa Ixtapan del Oro, y esto ha provocado además problemas de operación.
 38. En esta subcuenca se encuentran vigentes el Plan Rector de Manejo Integral de la Cuenca del Río Ixtapan del Oro, los Planes Municipales de Desarrollo Urbano de Ixtapan del Oro y de Donato Guerra, así como los recientes Planes de Desarrollo Municipal de ambos municipios (2013-2015).
 39. Durante el periodo 2006-2014, el Gobierno Federal invirtió en los municipios de esta subcuenca un total aproximado de \$139 millones de pesos, un poco más que en la subcuenca de El Bosque. De esta cantidad, la mayor parte provino de la SCT (54%); la CONAGUA aportó el 28%, la SAGARPA el 12% y la SEMARNAT el 5%.
- #### 4. Subcuenca Valle de Bravo
40. La subcuenca Valle de Bravo tiene una superficie de 531.5 km² y abarca los municipios de Amanalco y de Valle de Bravo del Estado de México. En ella se ubican los cauces perennes de Amanalco, Molino-Los Hoyos, San Diego, Las Flores y El Carrizal. La zona ha

■ **Figura 12.5. Subcuenca Ixtapan del Oro**



(Fuente: elaboración propia)

experimentado un profundo cambio de uso de suelo —de forestal a agrícola y de agrícola a urbano—, lo que ha ocasionado deforestación, erosión, disminución de la fertilidad del suelo, afectaciones a la calidad del agua y reducción de la capacidad de almacenamiento de la presa.

41. En esta subcuenca se registran más de 73,000 habitantes (sin considerar las 30,000 personas de la población flotante, algunas de las cuales tienen casas de descanso y sólo acuden los fines de semana). Valle de Bravo ha registrado uno de los mayores crecimientos absolutos y se ha convertido en uno de los municipios más urbanizados de la región. El 60% de la población de la subcuenca vive en localidades rurales con menos de 2,500 habitantes. Hay asentamientos humanos irregulares en zonas de protección del embalse y de los principales cauces. Algunos de éstos se ubican en la localidad de La Boquilla o Cerro de Cuauhtenco, en la ribera de la presa de Valle de Bravo.
42. Es la subcuenca con mayores contrastes sociales y económicos. Mientras las localidades rurales presentan alta y muy alta marginación,

Valle de Bravo y Amanalco registran niveles de baja y media marginación, respectivamente. La mayoría de sus habitantes son obreros y empleados; cuenta con la mayor participación económica de la mujer en las seis subcuencas y el 12% de su población es indígena.

43. Aunque hay alta cobertura de servicios urbanos, éstos son ineficientes. Gran parte de las viviendas cuentan con agua y drenaje (8 de cada 10 viviendas en Amanalco y 9 de cada 10 en Valle de Bravo), pero hay una eficiencia física del 42%. Sólo 3,524 tomas de 10,458 disponen de medidor.
44. Las localidades que cuentan con servicio de drenaje y saneamiento son la cabecera municipal y Velo de Novia (Avándaro). Diversos elementos intensifican la problemática del drenaje: la dispersión y la condición irregular de algunos asentamientos, las fugas del drenaje urbano de Valle de Bravo y la topografía accidentada del terreno; por eso, una buena parte de los 7,300 habitantes que no tienen cobertura de drenaje han optado por construir fosas sépticas o descargar de manera directa las aguas negras.

45. Ello ha tenido importantes efectos en tres de los cuatro ríos tributarios de la presa Valle de Bravo (el río Los González, el río Amanalco y el río Chiquito o El Molino) que, aunque presentan agua de buena calidad, rebasan algunos parámetros de contaminantes. Las principales fuentes de contaminación provienen de la piscicultura y del uso de agroquímicos (que producen entre 257 y 20,550 toneladas de contaminantes al año), así como de los desechos domésticos, de los residuos sólidos por las descargas domiciliarias de aguas residuales crudas en sus cauces y de las más de 100 descargas directas a las barrancas. La comunidad Peña Pobre descarga directamente al embalse de la presa, y al igual que la comunidad de Avándaro tiene fosas sépticas que implican un riesgo de contaminación para los mantos freáticos.
46. A partir de la construcción de la presa Valle de Bravo, la subcuenca experimentó un crecimiento urbano extensivo y acelerado a su alrededor. Aunque sólo el 35% de la población se concentra en la cabecera municipal de Valle de Bravo (centro urbano con más de 15,000 habitantes), es un polo de desarrollo regional con una fuerte dinámica económica.
47. Al ser un centro urbano tan importante, genera grandes cantidades de desechos sólidos y de aguas residuales sobre los cauces. Esto se refleja en la calidad del agua del río Tizates —también desemboca en la presa Valle de Bravo—, que rebasa los criterios ecológicos en oxígeno disuelto, DQO, grasas y aceites, sulfatos, aluminio, detergentes, nitritos, nitrógeno total, nitrógeno amoniacal, ortofosfatos y coliformes fecales.
48. La expansión urbana ha provocado la disminución de los bosques, una creciente explotación hormiga de la vegetación (para uso doméstico de leña y plantas curativas y comestibles) y la tala clandestina de pino y oyamel.
49. El mayor uso consuntivo del agua se destina al riego (31 hm³), seguido de la acuacultura en 71 granjas (16 hm³), luego para las comunidades rurales (2.4 hm³) y finalmente para uso público urbano (2.8 hm³). En Amanalco el 80% del agua se destina a las áreas agrícolas ubicadas en la parte alta. Se privilegia esta actividad frente a otros usos, como el piscícola. En cambio, en la parte baja de Valle de Bravo la mayor parte del agua se destina a uso doméstico.
50. Esta subcuenca es la que tiene más títulos de concesión o asignaciones de agua superficial, ventas de fuentes de manantiales a dueños de ranchos particulares o fraccionamientos residenciales —por la agricultura de riego y la urbanización— y perforaciones de pozos, lo cual agudiza la pérdida del caudal y reduce el volumen que aporta al Sistema.
51. La prioridad otorgada a la agricultura ha afectado a áreas cuyos bosques están fragmentados debido a la actividad agrícola (temporal), pecuaria y de extracción de productos forestales. Estas prácticas generan erosión hídrica laminar y declinación de la fertilidad; provocan, además, la formación de cárcavas en las que se alojan los sedimentos arrastrados de las partes altas de la subcuenca y propician el azolve de la presa.
52. Las actividades agropecuarias abarcan el 34% de la superficie total de la subcuenca y se concentran en la parte alta, al norte, en Cerrada de la Laguna de San Simón de Amanalco, donde se asienta parte de la población indígena mazahua. En esta área se practica la agricultura de temporal, la acuacultura y la agricultura de riego. El uso inadecuado de terrenos agrícolas, la labranza y el mal manejo del agua de riego en terrenos con pendientes, así como el sobrepastoreo (pisoteo y compactación) intensifican la degradación de los suelos. Gran parte de los afluentes no tienen cubierta vegetal, por lo que no retienen ni los sedimentos ni los nutrientes ni los metales pesados. Ya que el 37% de la superficie de la cuenca presenta tasas de erosión de moderadas (10 a 50 t/ha/año) a muy altas (más de 200 t/ha/año), se deben impulsar de manera prioritaria prácticas de manejo sustentable de los recursos.
53. Todas las fuentes de contaminación generan índices altos de nutrientes que conforman malezas acuáticas y florecimientos explosivos de fitoplancton, particularmente de cianobacterias. Esto representa un peligro por intoxicación aguda y sabor desagradable en el agua de la presa Valle de Bravo, que presentó el mayor Ico con 9.68 en 2012, caracterizando a su agua como levemente tóxica. Las especies presentes en los embalses son potencialmente tóxicas y constituyen un riesgo directo para la salud de los usuarios locales, tanto en sus actividades recreativas, que son fundamentales para la derrama económica local, como en la pesca, que constituye una fuente de alimentación local.
54. El agua de la presa Valle de Bravo registró alta contaminación y condiciones eutróficas durante la mayor parte del año debido a los ríos que

desembocan en ella arrastrando residuos de las granjas acuícolas (sin concesiones), fertilizantes y pesticidas empleados en la agricultura.

55. En el vaso de la presa hay asentamientos humanos irregulares. La insuficiente información sobre las expropiaciones de la CFE limita la capacidad de actuación del OCAVM. Hace falta control para supervisar la operación de la presa.
56. En resumen, a pesar de que esta subcuenca concentra muchas problemáticas, también es la que tiene mayor organización institucional y social, así como planes y programas. Cuenta con la Comisión de Cuenca Valle de Bravo-Amanalco (instalada en 2003), el Fondo Pro-Cuenca Valle de Bravo AC, la Fundación Pedro y Elena AC, el Consejo Civil para la Silvicultura Sostenible AC, Somos Valle AC y el Patronato Provalle de Bravo AC. De todo el Sistema, es la subcuenca con mayor presencia de organización social y civil.
57. Los instrumentos de planeación vigentes en esta subcuenca son el Plan Estratégico para la Recuperación Ambiental de la Cuenca

Amanalco-Valle de Bravo, el Programa de Manejo y de Conservación de los Manantiales de la Subcuenca Valle de Bravo-Amanalco, el Programa de Ordenamiento Ecológico de la Región Mariposa Monarca, el Programa de Ordenamiento Ecológico Regional de la Subcuenca Valle de Bravo-Amanalco, el Programa Especial para la Restauración de las Zonas Prioritarias del Sistema Cutzamala y La Marquesa, el Programa de Manejo Forestal de Monte Alto, así como los Planes de Desarrollo Municipal y los de Desarrollo Urbano de Valle de Bravo y de Amanalco. Actualmente está en proceso de elaboración el Programa de Manejo del Área de Protección de Recursos Naturales de las Cuencas de Valle de Bravo, Malacatepec, Tilostoc y Temascaltepec. Vale la pena señalar que esta subcuenca cuenta con un programa de pago por servicios ambientales que ya ha tenido resultados. Asimismo, el municipio cuenta con apoyos federales y estatales para sanear el agua de la presa.

58. Esta subcuenca recibió \$3,800 millones de pesos de inversión federal entre 2006 y 2014, lo que representa el 50% del total invertido en las seis subcuencas del Sistema Cutzamala. El 95%

■ **Figura 12.6.** Subcuenca y presa Valle de Bravo



(Fuente: Adalberto Ríos Szalay/Adalberto Ríos Lanz)

de estos recursos se destinaron a infraestructura carretera por parte de la SCT. La CONAGUA invirtió el 4% y la SAGARPA el 1%.

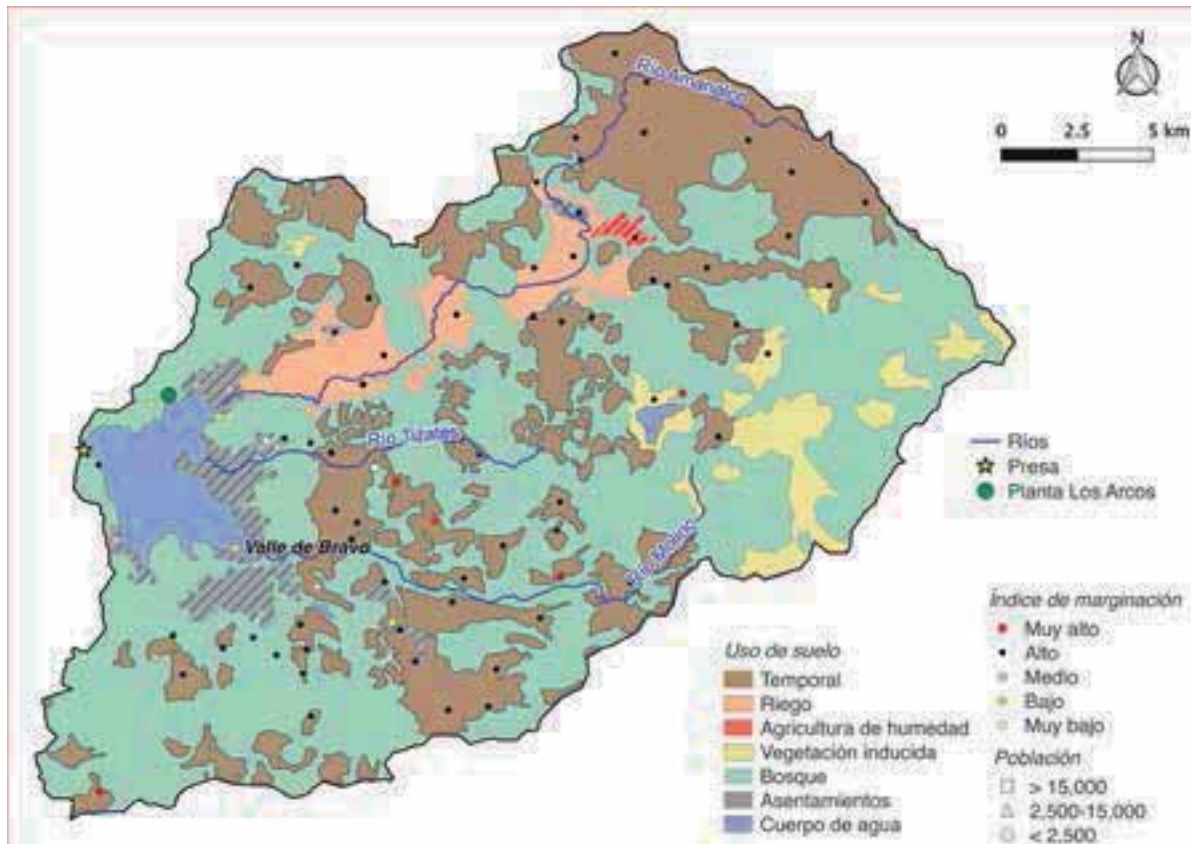
5. Subcuenca Villa Victoria

59. La subcuenca Villa Victoria abarca los municipios Villa Victoria y San José del Rincón, en el Estado de México. En ella habita una población de más de 133,000 habitantes, y durante el periodo 2005-2010 tuvo la mayor tasa de crecimiento poblacional anual con 3.8%. Se registra una importante presencia de población indígena mazahua (más del 40%). El 96% de la población total presenta alta y muy alta marginación, tiene la mayor población analfabeta, casi el 70% tiene rezago educativo y casi la mitad de sus habitantes padece de pobreza alimentaria.
60. La mayor parte de la población (90%) vive en 143 localidades con menos de 2,500 habitantes, es decir, en asentamientos rurales dispersos, lo que implica una mayor dificultad para la provisión de servicios públicos. Menos de la

mitad de la población de esta subcuenca cuenta con agua y drenaje; la mayoría de las viviendas vierten sus aguas residuales al subsuelo y a los cauces y cuerpos de agua, lo que incrementa la contaminación de los dos principales afluentes de la presa: El Salto y La Compañía (este último muy contaminado con aluminio, sedimentos de grasas y aceites, nitritos y coliformes fecales). El agua almacenada en la presa contiene minerales y algas que al morir se pudren y generan malos olores, además de que intensifican el azolve.

61. Las principales actividades en la subcuenca son la agricultura de temporal y la ganadería de traspasío y para autoconsumo. El uso agrícola que se practica alrededor de la presa Villa Victoria abarca más del 70% de las tierras de tipo ejidal. Esta expansión se debe a que no existe control en la tenencia de la tierra, lo cual ha reducido las áreas forestales e intensificado la erosión: ésta supera las 80ton/ha/año en más de la mitad de la superficie de la subcuenca, especialmente en las zonas agrícolas de ladera con pendiente superior al 30%; un porcentaje considerable de estas áreas se sitúa en las cercanías de la presa. Además, al aumentar

■ **Figura 12.7. Subcuenca Valle de Bravo**



(Fuente: elaboración propia)

■ **Figura 12.8.** Obra de toma, presa Valle de Bravo



(Fuente: Archivos Fotográficos, CONAGUA)

■ **Figura 12.9.** Presa Valle de Bravo



(Fuente: Archivos Fotográficos, CONAGUA)

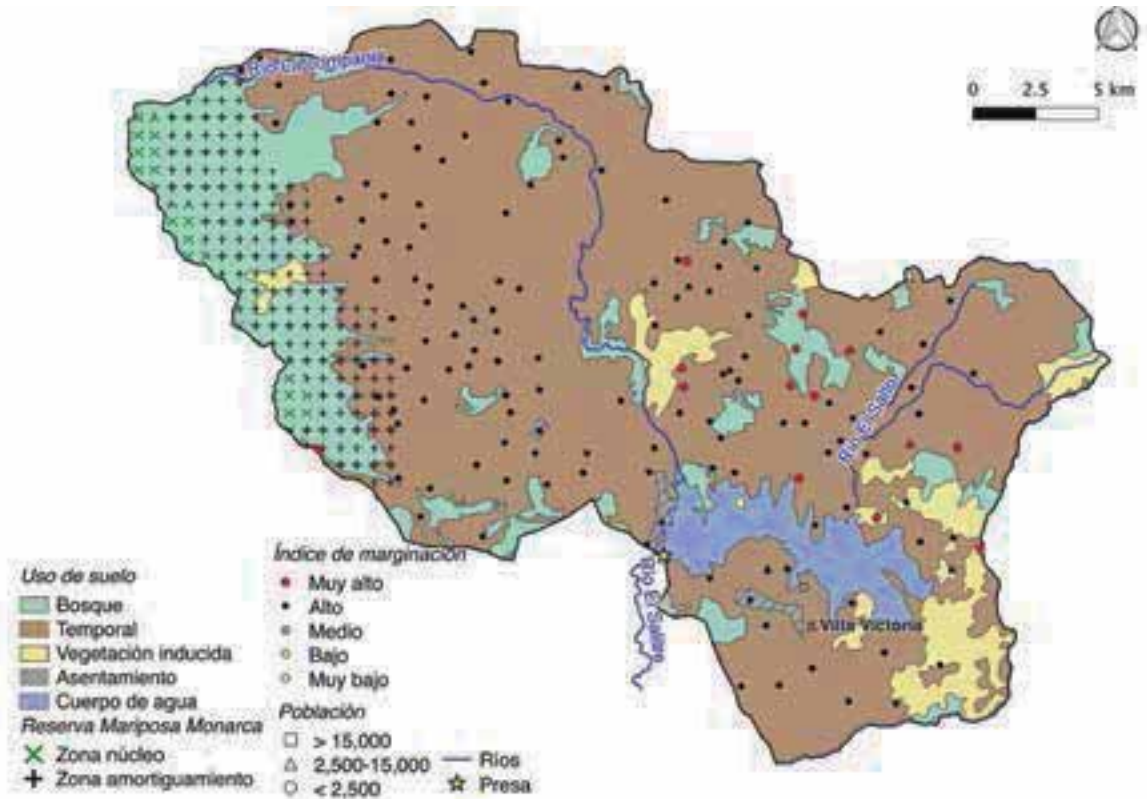
la superficie de tierras para la agricultura, principalmente de temporal, ha cambiado el uso de suelo (formal e informalmente) y se ha incrementado la deforestación.

62. La escasa vegetación natural que existe en la subcuenca es parte de la Reserva de la biosfera Mariposa Monarca, aunque la agricultura se ha expandido y ha degradado paulatinamente los bosques sin respetar la zona de amortiguamiento de esta Área Natural Protegida. Esta subcuenca tiene la menor precipitación media anual (875 mm) de todas las subcuencas del Sistema Cutzamala.
63. Hay dos plantas de tratamiento de aguas residuales en Villa Victoria. La mayor, El Espinal (25 l/s), no se ha puesto en operación ya que no se ha construido el alcantarillado necesario para que le llegue el agua residual. Hay otra planta mucho más pequeña, Las Peñas (1.5 l/s), que recibe agua residual pero que no opera porque el sistema de aireación no funciona. Esta presa ha presentado problemas por los derrames o excedencias, lo que provocó en 2003 un conflicto con la comunidad mazahua de la zona.
64. Desde 2008 destaca la presencia de la Comisión de Cuenca Villa Victoria-San José del Rincón, que ha desarrollado el Programa Rector de Manejo Integral de esta subcuenca. Asimismo, en otra escala están vigentes el Programa Especial para la Restauración de las Zonas Prioritarias del Sistema Cutzamala y La Marquesa (2009-2014) y el Programa de Ordenamiento Ecológico Local del Municipio de San José del Rincón. Con apoyo gubernamental, basado en la iniciativa del Frente Mazahua, se ha instaurado de manera participativa el Programa Ambiental de Desarrollo Sustentable.
65. Esta subcuenca concentró una inversión federal de \$2,300 millones de pesos entre 2006 y 2014, es decir, ocupa el segundo lugar en el monto por subcuenca (31% del total en las seis subcuencas). La mayor parte de esta inversión la realizó la SCT (91%). El monto invertido por la SAGARPA representó el 3%, por la CDI el 2%, la SEDESOL el 2% y la CONAGUA aportó el 1%.

6. Subcuenca Chilesdo-Colorines

66. La subcuenca Chilesdo-Colorines abarca los municipios de Villa de Allende, Valle de Bravo, Donato Guerra y Villa Victoria del Estado de México. Esta subcuenca registra una población de 86,475 habitantes que, entre 2005 y 2010, tuvo un crecimiento anual de 3.5%. El 80% de la población vive en 105 localidades menores a 2,500 habitantes, de las cuales 98 presentan alta y muy alta marginación. Una tercera parte de la población es económicamente activa. El 16% es población indígena.
67. Aproximadamente el 70% de las viviendas tiene agua potable. Sólo las cabeceras municipales (Donato Guerra y Villa de Allende) y otras cuatro localidades cuentan con drenaje. La mayoría de la población de esta subcuenca vierte sus aguas residuales sin tratamiento a los ríos Salitre, La Asunción, San Francisco Mihualtepec y Amanalco.
68. La dispersión y los asentamientos irregulares hacen complejo el manejo y operación de la presa Colorines, y provocan altos niveles de contaminación por el aporte de nutrientes que favorecen la presencia de maleza acuática en el embalse.
69. La principal actividad económica en la subcuenca es la agricultura de riego. De 1980 a 2011, esta actividad aumentó de 5% a 20%, mientras que la agricultura de temporal disminuyó de 35% a 24%. Actualmente, el 60% de la superficie total de la subcuenca (30,545 ha) se destina a la agricultura —de la cual el 9% (4,532.93 ha) es para riego mientras que el 51% es utilizado por la agricultura de temporal—, 2% por pastizales, 1% por cuerpos de agua y 1% por asentamientos humanos. El 37% de la superficie es de bosque.
70. Del total de las hectáreas de la cubierta forestal, 15,805 ha están en buen estado, lo que le permite tener más de 1,000 mm de precipitación media anual (o 245 hm³). La subcuenca recibe una octava parte (442 hm³) de lo que llueve en las seis subcuencas del Sistema Cutzamala (3,500 hm³), una proporción alta.
71. La mayor parte del uso consuntivo del agua (62 hm³) se destina a la agricultura de riego (53 hm³); el resto es para uso público rural (6 hm³) y para uso público urbano (3 hm³).

■ **Figura 12.10. Subcuenca Villa Victoria**



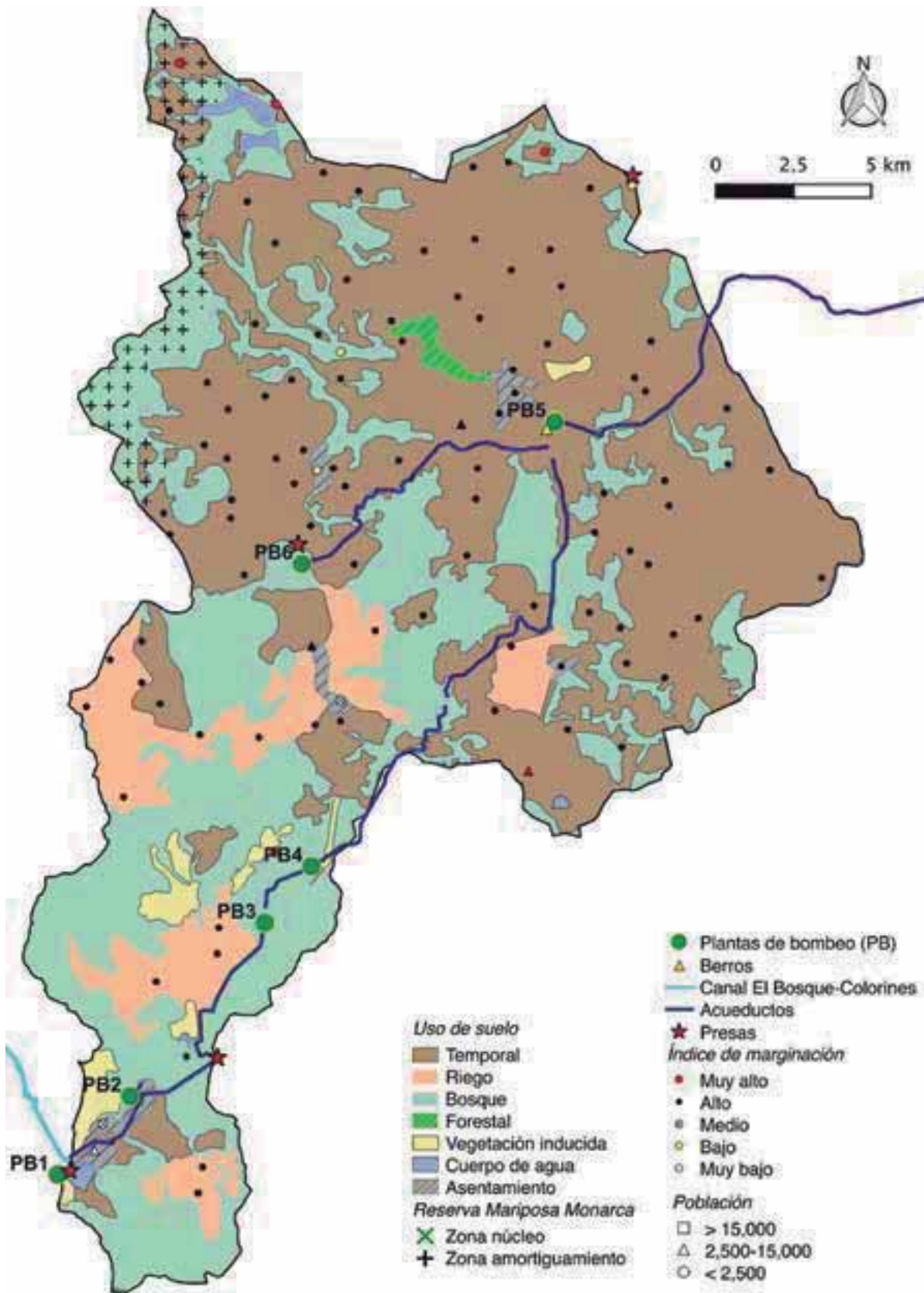
(Fuente: elaboración propia)

■ **Figura 12.11. Presa Villa Victoria**



(Fuente: Adalberto Rios Szalay/Adalberto Rios Lanz)

Figura 12.12. Subcuenca Chilesdo-Colorines



(Fuente: elaboración propia)

■ **Figura 12.13. Presa Chilesdo**



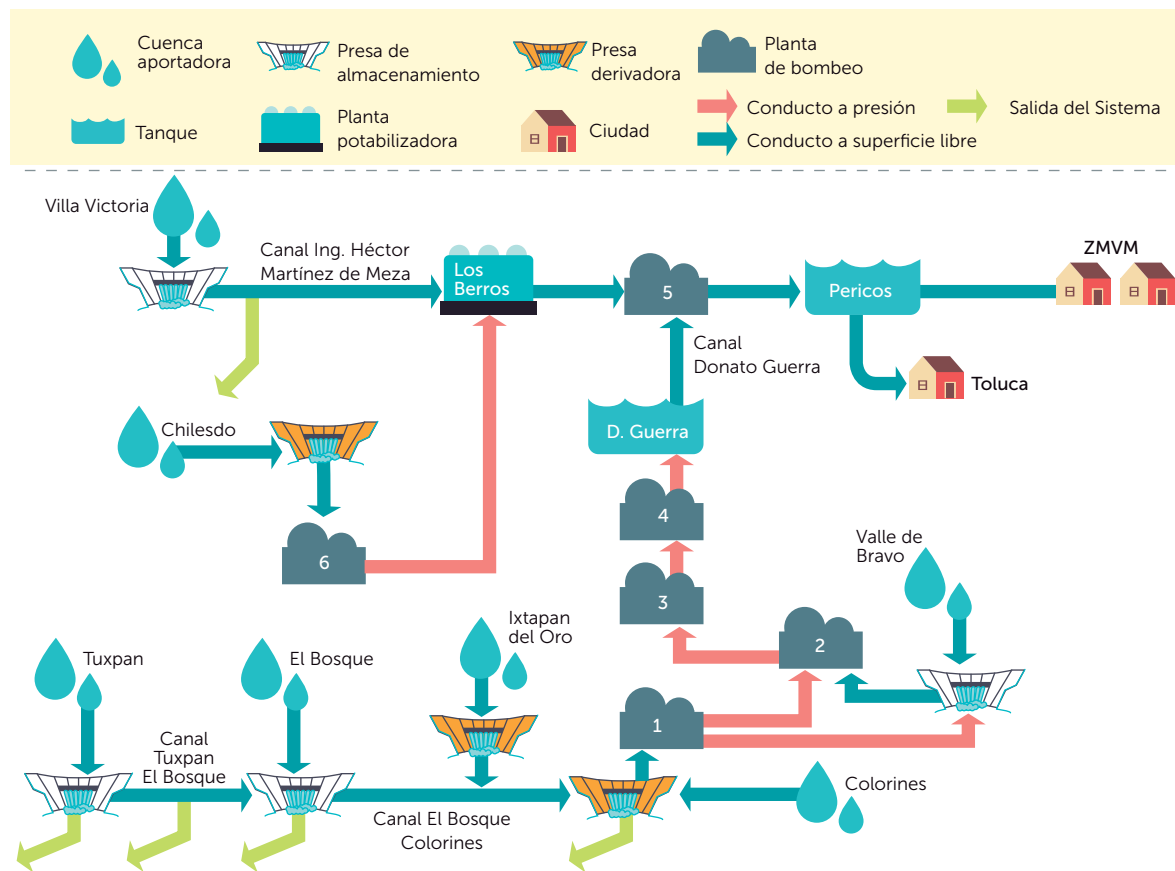
(Fuente: Adalberto Ríos Szalay/Adalberto Ríos Lanz)

72. Al tener una fuerte presencia de la agricultura, los cauces fluviales que atraviesan por superficies agrícolas intensifican el aporte de sedimentos hacia los cuerpos de agua ubicados en la parte baja de la subcuenca.
73. A esta subcuenca llega el canal El Bosque-Colorines hasta la presa del mismo nombre. En ese punto comienza la infraestructura de conducción (acueducto). Cinco de las seis plantas de bombeo de todo el Sistema Cutzamala se localizan en esta subcuenca. En la planta potabilizadora Los Berros se concentra el caudal proveniente de todas las subcuencas; esta planta produce lodos que incrementan el azolve de la presa.
74. Las condiciones generales de la presa Colorines son buenas, aunque presenta una cantidad considerable de lirio. La cortina sirve como puente peatonal y vehicular para comunicar a las poblaciones cercanas. Los asentamientos humanos irregulares han provocado la pérdida de capacidad de regulación de su vaso. Al ser una presa de menor capacidad, el efecto que tienen las invasiones y el azolve es mayor. Asimismo, la contaminación es un problema mayor ocasionado principalmente por las descargas provenientes del canal El Durazno. Esta situación ha dado lugar a reclamos de las comunidades, así como a observaciones de la Comisión de Derechos Humanos del Estado de México.
75. La presa Chilesdo presenta malas condiciones generales: severos problemas de azolve, crecimiento de vegetación acuática y algas, con nata flotante y olores fétidos. Cerca de esta presa se localizan varias fosas de lodos que almacenan los sedimentos dragados del vaso. El embalse también recibe los lodos que desecha la planta potabilizadora Los Berros; la acumulación de lodo ha provocado una reducción importante en la capacidad de regulación del vaso.
76. Destaca la falta de instrumentación de control para supervisar estas presas, así como la existencia de una planta de tratamiento que no opera.
77. Los instrumentos de planeación vigentes son el Programa de Ordenamiento Ecológico Local de Villa de Allende y los Planes de Desarrollo Municipal y los Planes de Desarrollo Urbano tanto de Donato Guerra como de Villa de Allende. Sin embargo, hace falta un programa de conservación de agua y suelo.
78. De 2006 a 2014 la inversión federal fue de aproximadamente \$197 millones de pesos, de los cuales la mayor parte fue ejercida por la CONAGUA (36%), la SCT (27%) y la SAGARPA (22%).

7. Conclusiones

79. El Sistema Cutzamala está integrado por seis subcuencas aportadoras a un sistema de presas con afluentes naturales (ríos) y artificiales (canales, túneles, acueductos). Cada uno de estos afluentes es un vector de contaminación y azolve a las presas, así como un recurso al que acceden de manera diferenciada los diversos usuarios. Las tomas de agua de los ríos y de los canales tienen reglas e implicaciones diferentes. Cada tipo de afluente presenta una problemática específica y, al mismo tiempo, posee una condición legal que corresponde a instituciones con atribuciones distintas. La estrategia integral de rescate de ríos tiene una serie de condicionantes, de desafíos institucionales y de visión de política pública muy específicas. La estrategia de mejoramiento y modernización de los canales, túneles y acueductos tiene otros desafíos técnicos e institucionales. La estructura híbrida (naturales y artificiales) de los afluentes del Sistema Cutzamala requiere políticas, estrategias y acciones que, aunque cualitativamente distintas, deben coordinarse con una visión integral.
80. Varios de los afluentes de las presas de cinco de las seis subcuencas del Sistema nacen en la zona núcleo o en la zona de amortiguamiento de la Reserva de la biosfera Mariposa Monarca. Esta Área Natural Protegida ha sido, sin duda, un factor de preservación de los bosques, los suelos y el agua en las partes altas de las subcuencas, al grado de que, por ejemplo, en la subcuenca más deteriorada y con mayor pérdida de cobertura vegetal, es decir Villa Victoria, el bosque que aún queda es el que se localiza dentro de esta área protegida.
81. En la subcuenca Tuxpan predominan los bosques. A lo largo de los ríos Tajimaroa-Turundeo-Tuxpan y río Puerco, afluentes de la presa derivadora Tuxpan, se extiende el Distrito de Riego 045 donde predominan prácticas poco eficientes de uso de los recursos y en el que han proliferado las tomas irregulares instaladas en el canal Tuxpan-El Bosque; en esta área también se localizan Ciudad Hidalgo y Tuxpan, dos nodos importantes en el sistema regional de pequeñas localidades rurales con alta marginación. Tanto las ciudades como las localidades mencionadas vierten sus aguas residuales sin tratar en los afluentes de la presa derivadora. Estos son los principales vectores de la disminución de la calidad y cantidad del agua que llega a la presa Tuxpan y del azolve que dificulta la operación de la infraestructura.
82. En la subcuenca El Bosque, el canal Tuxpan-El Bosque y el río Zitácuaro son los dos principales afluentes de la presa El Bosque y los dos principales vectores de contaminación. El río Zitácuaro nace en el oriente de la subcuenca, dentro del área de amortiguamiento de la Reserva de la biosfera Mariposa Monarca, y corre hacia el poniente atravesando una zona de riego y la ciudad de Zitácuaro. Se han establecido asentamientos irregulares en el vaso de la presa, lo que impide su operación óptima.
83. Casi la mitad de la subcuenca Ixtapan del Oro se encuentra dentro de la zona núcleo y de amortiguamiento de la Reserva de la biosfera Mariposa Monarca. Destaca la problemática de la alta marginación de las localidades rurales y las descargas sin tratamiento a los cauces principales, así como el incremento de tomas irregulares en el canal Ixtapan del Oro-Colorines para uso agrícola.
84. En la subcuenca Valle de Bravo, la presa se distingue en todo el Sistema por ser un importante polo económico y urbano, con una población flotante significativa. Sus tres principales afluentes están contaminados, uno de los cuales atraviesa un área de riego y un área urbana desordenada. La especulación por el uso del suelo y el mercado de derechos de agua son algunos de los principales problemas que se registran en esta subcuenca.
85. Valle de Bravo es la subcuenca que concentra la mayor inversión federal y de fondos, y la que cuenta con más asociaciones civiles. Concentra también la actividad de organismos no gubernamentales locales, nacionales e internacionales. Cuenta con una experimentada Comisión de Cuenca que ha puesto en marcha un programa de manejo de cuenca, con eficaces instrumentos, como el pago por servicios ambientales. En la última década se ha beneficiado con una fuerte inversión federal destinada a la construcción y modernización de la infraestructura carretera.
86. En la subcuenca Villa Victoria la descarga de aguas residuales sin tratamiento —por parte de comunidades rurales dispersas— en los ríos La Compañía y El Salto, principales afluentes de la presa, es el vector de contaminación. La agricultura de temporal, la erosión y la degradación del suelo, así como la escasa vegetación natural y el azolvamiento de la presa son los principales problemas. Esta subcuenca cuenta con una Comisión de Cuenca; además, en ella destaca la presencia de una población

■ **Figura 12.14. Esquema del Sistema Cutzamala**



(Fuente: elaboración propia)

mazahua con capacidad de organización y de movilización.

87. A la subcuenca Chilesdo-Colorines llega el canal El Bosque-Colorines. En esta subcuenca se encuentra la infraestructura de conducción por acueducto, y cinco de las seis plantas de bombeo de todo el Sistema. El caudal proveniente de todas las subcuencas se concentra en la planta potabilizadora Los Berros, la cual desecha lodos que repercuten en el azolve de la presa. Las localidades rurales dispersas muestran un alto grado de marginación.
88. La subcuenca Tuxpan trasvasa agua a la subcuenca El Bosque, desde la cual se trasvasa agua hacia la subcuenca Ixtapan del Oro y de ahí a la subcuenca Valle de Bravo. Estas cuatro subcuencas están conectadas en serie por la infraestructura hidráulica. La subcuenca Villa Victoria forma un subsistema independiente. Tanto la serie de subcuencas desde Tuxpan hasta Valle de Bravo como la subcuenca Villa Victoria trasvasan, cada una por su parte, a

la subcuenca Chilesdo-Colorines que es donde convergen la infraestructura de bombeo, los acueductos y la planta potabilizadora Los Berros.

89. A partir de la planta Los Berros, el caudal se conduce a través de la región hidrológico-administrativa VIII, Lerma-Santiago-Pacífico, donde el Sistema entrega agua en bloque en los tanques Pericos para la ciudad de Toluca; posteriormente, continúa y entra a la región XIII, Aguas el Valle de México, a través del túnel Analco-San José, para finalmente entregar agua en bloque a los organismos operadores de agua potable del Distrito Federal y de los municipios de la ZMVM.
90. Con este diagnóstico se propone un cambio de visión: dejar de considerar al Sistema Cutzamala únicamente como una infraestructura esencial para la vida de millones de personas en la ZMVM y en Toluca, y comenzar a ver la realidad biofísica y social de las subcuencas, cuyos afluentes alimentan los embalses de este Sistema. El Cutzamala, entendido como

un complejo sistema socioambiental, comprende no sólo las presas, los acueductos, las plantas de bombeo y los túneles, sino también se refiere al estado de los bosques y al grado de erosión de los suelos, a la contaminación de los afluentes y los embalses, así como al desarrollo desordenado de las ciudades y la marginación de las comunidades rurales. Este proyecto plantea partir de una visión integral, que tome en cuenta a los usuarios locales que habitan donde nacen las aguas que son captadas por el Sistema y trasvasadas al Valle de México. Construir la sustentabilidad (ambiental, social y económica) del Sistema Cutzamala empieza por preservar los bosques y los suelos, cuidar los ecosistemas de la región, ordenar el crecimiento de las ciudades, promover el desarrollo humano de las comunidades, al mismo tiempo que se sanean los cauces de los ríos tributarios del sistema de presas. Construir la sustentabilidad del Cutzamala implica la participación y la

corresponsabilidad de todos los usuarios, locales y externos, para preservar y restaurar las seis subcuencas.

91. El Sistema Cutzamala, entendido integralmente como un conjunto de subcuencas e infraestructura hidráulica, es un bien común que vincula a una amplia gama de usuarios localizados en distintos territorios: desde el habitante de la delegación Benito Juárez o de Ciudad Hidalgo, hasta el hotelero de Valle de Bravo, pasando por el agricultor del Distrito de Riego en Tuxpan o el industrial de Tlalnepantla, el comerciante de Zitácuaro y el campesino mazahua de Villa Victoria, entre muchos otros. Vinculados desde hace tres décadas por el uso y aprovechamiento de las aguas que nacen como manantiales y riachuelos en los bosques michoacanos y mexiquenses —territorio de la mariposa monarca— es momento de que todos asuman el compromiso de salvaguardar este bien hídrico común.



Conclusiones y desafíos

El conjunto de apartados que se presentan en este estudio contiene, en cada caso, las conclusiones a las que llegó el grupo de trabajo correspondiente. Posteriormente, y hasta la fecha de esta publicación, se realizaron varias reuniones intergrupales de reflexión y discusión. Esos intercambios y debates han permitido formular el siguiente cuadro de conclusiones y desafíos que emerge en la etapa actual del diagnóstico y que se profundizará en la discusión con la CONAGUA, el IMTA y la UNAM.

1. El Sistema Cutzamala se concibe como un conjunto socioambiental complejo, en una región conformada por varias subcuencas cuya agua es trasvasada en buena medida hacia la zona metropolitana más importante del país. Esa visión abarca también el estado de los bosques y los suelos, la contaminación de los afluentes y los embalses, el desarrollo de las ciudades y de las comunidades rurales con el efecto agregado de la urbanización, así como el conjunto de las actividades económicas y las diferentes visiones y expectativas de la población que en ellas reside.
2. La sustentabilidad de los servicios prestados por la infraestructura hidráulica implica reconocer los cambios que se han registrado en las últimas décadas, así como la necesidad de preservar los bosques y los suelos, cuidar los ecosistemas regionales, ordenar el crecimiento de las ciudades, promover el desarrollo humano de las comunidades en condiciones de ruralidad urbanizada, al tiempo que se sanean los cauces de los ríos tributarios del sistema de presas.
3. El Sistema Cutzamala es un bien común que vincula a una amplia gama de actores y usuarios localizados en distintos territorios. Este diagnóstico constituye un primer paso importante, realizado en el interior del sector del agua, hacia la formulación de estrategias, programas y acciones específicos requeridos por la sustentabilidad. Esa formulación se obtendrá en las fases siguientes de validación, divulgación y planeación, en diálogo en múltiples niveles y con los actores interesados.

1. Los hallazgos que confortan

4. Una de las mayores y más complejas obras de ingeniería hidráulica mundial, el Sistema Cutzamala, sigue sorprendiendo por su confiabilidad a más de 30 años de iniciada su operación. La fortaleza de su diseño original y el cuidado en su mantenimiento han contribuido notablemente a ello. Es viable mantener las buenas condiciones de operación con una serie de medidas y acciones urgentes que están dentro del ámbito de responsabilidad de la Comisión Nacional del Agua.
5. Los balances hídricos muestran que en la actualidad existe un equilibrio, aunque frágil, entre las entregas de agua potable realizadas por el Sistema y los diferentes usos dentro de las subcuencas. Es posible mantenerlo —es decir, atender las necesidades de la población local y seguir entregando los volúmenes trasvasados—, a condición de que se avance rápidamente en acciones para las cuales se han generado experiencias y tecnologías disponibles.
6. El Sistema cumple y puede seguir cumpliendo con las normas oficiales mexicanas aplicables al agua que suministra a las ZMVM y ZMT.
7. En algunas subcuencas los productores han encontrado cultivos y mercados que hacen rentable el desarrollo de la irrigación. La consiguiente expansión de la superficie de riego responde a expectativas locales y a demandas regionales. Algunas experiencias disponibles pueden ampliarse para incrementar la eficiencia y la productividad del agua, así como para asegurar el adecuado marco institucional y de organización para esas explotaciones agrícolas. En cuanto a la persistente agricultura de temporal, se dispone también de las bases de estrategia y tecnología para avanzar en un esfuerzo de sustentabilidad y adecuada protección de los suelos, evitando la invasión de terrenos que no tienen vocación agrícola, con una estrategia de colaboración ampliada a partir de microcuencas y mediante planes de producción y conservación en ese nivel.
8. Se cuenta con experiencias y resultados de prácticas de conservación que es posible expandir para controlar los procesos de erosión de suelos y reducir el aporte de sedimentos y nutrientes a los embalses, mejorando la calidad del influente que recibe la planta potabilizadora Los Berros. Los trabajos realizados en Valle de Bravo, principalmente, ofrecen resultados

importantes y muestran la posibilidad de avanzar hacia la sustentabilidad de la producción de agua en las subcuencas. Esas iniciativas han logrado reducir la erosión de más de 45 ton/ha/año a 11 ton/ha/año.

9. La administración del agua en las subcuencas puede mejorarse; la posibilidad de solucionar los déficits actuales en el corto y mediano plazo reside en utilizar mejor los instrumentos disponibles, a condición de que se mejore sustancialmente el marco de coordinación y colaboración institucional, aprovechando las instancias de los Consejos de Cuenca y la participación de los gobiernos estatales y municipales. Existen asimismo las bases de recaudación que permitirán la sustentabilidad financiera del Sistema y la creación de los incentivos necesarios para mantener la calidad del agua.
10. Las inquietudes de los diversos grupos sociales se han centrado sólo ocasionalmente en la transferencia de agua al Valle de México. Existen bases para emprender un esfuerzo compartido de desarrollo sustentable y equitativo que supere las principales carencias de servicios de agua potable y saneamiento, que en la actualidad perjudican a la población pobre.
11. Se registran importantes avances hacia la gestión integrada del agua en las subcuencas. Es promisorio el proceso iniciado en la CONAGUA entre el OCAVM y el OCB, y entre la autoridad del agua y los gobiernos del Distrito Federal y del Estado de México, mediante un acuerdo para la formulación de un modelo de desarrollo sustentable en la cuenca del Cutzamala. Aun en el corto plazo es viable profundizar el ambiente de coordinación y fortalecer los actos de autoridad necesarios, acciones indispensables para transitar hacia la sustentabilidad.

2. Las circunstancias que preocupan

2.1. Una presión creciente sobre el medio biofísico

12. Los problemas de erosión y deforestación en la cuenca son graves en varias localizaciones y tienden a expandirse a pesar de los esfuerzos realizados. En la subcuenca de Villa Victoria, por ejemplo, el 70% de

la superficie está cubierta por agricultura de temporal; en comparación con la década de 1980, esta superficie ha aumentado en un 20%. La vegetación de bosque natural remanente es muy reducida y se presenta sólo en la parte alta de la subcuenca. Estos hechos explican gran parte del azolvamiento de la presa de Villa Victoria, en donde hay mediciones puntuales de erosión de 180 ton/ha/ año.

13. No se dispone de la información acumulada suficiente para determinar con certeza las tasas de azolvamiento y el volumen útil actual de los embalses, a pesar de que los datos existentes sugieren una alta tasa de sedimentación y aportación de nutrientes en los embalses de Valle de Bravo, Villa Victoria y El Bosque. Esto requerirá la continuación de los estudios limnológicos para analizar los problemas de sedimentos contaminados en los embalses y sus efectos en la calidad del agua. Es indispensable, además, la regulación de la actividad agrícola, acuícola y de la deforestación, así como el control de las extracciones irregulares de agua de los canales y embalses para fines de riego.

2.2. Balances hídricos: un equilibrio no garantizado en el mediano plazo

14. Hay un frágil equilibrio entre la producción de agua, las entregas que se destinan a las ZMVM y ZMT, y los usos del agua en las subcuencas.
15. Del gasto medio total de escurrimiento superficial en las subcuencas (25 m³/s), se usan 14 m³/s para las entregas a las ZMVM y ZMT (58%), 5 m³/s (20%) para los usos dentro de las subcuencas y 6 m³/s (22%) para exportaciones hacia áreas localizadas fuera de las seis subcuencas, como el módulo 7 del Distrito de Riego 045 y las unidades de riego Susupuato y La Mora-La Florida suministradas por el canal Tuxpan-El Bosque-Colorines. Teniendo en cuenta que en la actualidad la capacidad de almacenamiento es sólo de 1.3 veces el volumen requerido para cumplir con las entregas de diseño, existe el riesgo de que el Sistema pierda la capacidad de suministrar volúmenes suficientes a las ZMVM y ZMT, tanto por la ocurrencia de años secos consecutivos como por el crecimiento de la agricultura de riego hacia cultivos perennes y hortalizas de gran consumo de agua, además de la presencia de tomas irregulares.

2.3. Pobreza y marginación que persisten

16. La mayor parte de la población de los municipios se encuentra rezagada en relación con el promedio de los respectivos estados y, en particular, con el de las ZMVM y ZMT. Sobresalen la carencia de servicios de agua y de cobertura de seguridad social, el rezago educativo, la desigual condición de la mujer y de los pueblos de habla indígena, la mala condición de la vivienda y la inseguridad alimentaria. En cifras redondas, la población en las subcuencas pasó de 300,000 habitantes en 1970 a 723,000 habitantes en 2010, y se prevé que en 2030 sean más de 900,000 personas. Aunque ajena a los objetivos de diseño del Sistema, esa situación afecta a la sociedad en las subcuencas.
17. En varias de las subcuencas son notables los efectos de la transformación del paisaje rural hacia la progresiva urbanización. La presencia significativa de agricultura tradicional, la falta de alternativas viables y la pérdida de productividad de los cultivos tradicionales han alterado las estrategias de subsistencia de una mayoría de las familias, que optan por buscar ingresos en empleos urbanos, en el comercio minorista y en trabajos de baja calificación.
18. Faltan oportunidades para quienes ingresan al mercado de trabajo. De 1970 a 2010 ingresaron al mercado de trabajo más de 200,000 personas; un número semejante estará en esas condiciones en 2030. En las subcuencas no existen oportunidades para ellos, no obstante el actual crecimiento del turismo y de la agricultura de riego.
19. La conflictividad es difusa y se refiere centralmente a la pobreza y a la desigualdad. En el nivel local y municipal, persisten relaciones clientelares. Los más de 1,000 poblados dispersos (sólo 29 localidades son urbanas, es decir, que tienen una población superior a los 2,500 habitantes) carecen de espacios apropiados para la información, el debate y la solución oportuna de conflictos.
20. A pesar de los esfuerzos recientes por controlar la presencia de la criminalidad organizada, el escenario no muestra todavía las fortalezas necesarias para eliminarla. Principalmente en el segmento más joven de la población activa, la falta de oportunidades y el débil tejido institucional subsisten como causa social de fondo.

2.4. Servicios insuficientes de agua potable, alcantarillado y tratamiento de aguas residuales

21. Las localidades mayores en las cuencas de aportación —Ciudad Hidalgo, Zitácuaro y Valle de Bravo— tienen coberturas de agua potable y alcantarillado similares a los valores medios a nivel nacional. En ellas, la infraestructura se va ampliando de acuerdo con el incremento de la demanda; además, son las únicas poblaciones que cuentan con Organismos Operadores constituidos. En cambio, la gran mayoría de las localidades rurales señalan que cuentan con una cobertura de agua potable del orden del 30%, aunque los censos de población reportan una cobertura de alcantarillado mayor, lo que parece indicar un error de información.
22. La situación del tratamiento de las aguas residuales muestra grandes carencias que afectan la calidad del agua de los embalses. Valle de Bravo cuenta con una planta de tratamiento de agua residual municipal con capacidad de 150 l/s, recientemente rehabilitada y operada por una empresa particular, pero está cerca de su saturación. También tiene planta de tratamiento Heroica Zitácuaro, con una capacidad instalada de 267 l/s, que opera con muy baja capacidad por la insuficiente infraestructura de conducción del agua residual a la planta y porque se deriva un gasto importante del agua cruda hacia los campos de cultivo. Por otra parte, la planta de Villa Victoria, con una capacidad de 22.5 l/s, está fuera de operación debido a que no ha sido conectada al sistema de alcantarillado —y éste es insuficiente—. La planta de Amanalco tiene una capacidad de 18 l/s. Esta situación indica que el arreglo institucional para el funcionamiento de los sistemas de tratamiento requiere una revisión profunda.

2.5. Calidad del agua en deterioro

23. Se han detectado, entre otros problemas, la presencia de malezas acuáticas, la disminución de la disponibilidad del agua en las cuencas que disminuye la capacidad de dilución de contaminantes, así como florecimientos explosivos de grandes cantidades de algas, especialmente colonias flotantes de algas azul-verde, lo que conlleva problemas crecientes en la calidad del agua (olor y sabor desagradables, altas concentraciones de toxinas) y complicaciones para su tratamiento.

24. En las últimas dos décadas, el agua de las presas del Sistema Cutzamala ha sufrido un deterioro significativo en su cantidad y calidad, como consecuencia de la aportación de nutrientes y otras sustancias, ligada a la deforestación, la expansión de la frontera agrícola y el crecimiento de la población urbana y rural que no cuenta con servicios adecuados de alcantarillado y tratamiento de aguas residuales.

2.6. Aspectos hidroagrícolas: expansión escasamente regulada e ineficiente del riego

25. Es significativo el incremento del uso del agua en la agricultura de riego, tanto dentro de las seis subcuencas como en áreas “externas”, localizadas al suroeste de las subcuencas, pero abastecidas por el canal Tuxpan-El Bosque-Colorines que forma parte del Sistema Cutzamala. En estas áreas externas se sitúa gran parte del módulo 7 del Distrito de Riego 045, así como las unidades de riego Susupuat y La Mora-La Florida. El volumen bruto anual de agua utilizado para la agricultura de riego es similar al que entrega el Sistema a las ZMVM y ZMT. El Distrito de Riego 045 proporciona el servicio de riego mediante una infraestructura deteriorada y no opera con la eficiencia que amerita un recurso tan valioso. El Distrito ya fue transferido a las asociaciones de usuarios y presenta una seria problemática administrativa de autosuficiencia financiera (se recauda sólo el 20% de la cuota de autosuficiencia), deterioro de la infraestructura y baja eficiencia del uso del agua (estimada en 34%). Este Distrito requiere modernización, y el módulo 7 debería ser prioritario por estar directamente ligado a la infraestructura del sistema de abastecimiento al Valle de México.
26. La falta de control en las extracciones de agua en el canal Tuxpan-El Bosque-Colorines es grave y denota un problema de gobernabilidad: hay identificadas 1,403 mangueras con diámetros de 0.5” a 6”. En el canal El Bosque-Colorines es fundamental concluir los trabajos de modernización acordados con la Asociación Civil en el área tecnificada, que cubre aproximadamente 1,500 ha y que requiere un servicio de riego permanente para el correcto funcionamiento (las 24 horas del día), así como para mantener su seguimiento y asistencia técnica. Es indispensable retomar el control del funcionamiento del canal y acordar con los usuarios reglas de operación conjunta que consideren el uso agrícola y las aportaciones al Sistema.

2.7. Otros servicios de agua

27. En el caso de Valle de Bravo, la presa tiene un uso recreativo importante. Asimismo, el uso acuícola tiende a ampliarse por evidentes razones de mercado, así como la pesca artesanal. Todas estas actividades se ven perjudicadas por el deterioro de la calidad del agua y en algunos casos contribuyen a ella, por lo que se requiere un esfuerzo de regulación y adecuación a mejores criterios de administración del recurso.

2.8. Presiones sobre la infraestructura del sistema

2.8.1. Instrumentación hidrológica

28. La instrumentación hidrológica de la cuenca está por debajo de la necesaria, tomando en cuenta la gran importancia del Sistema. Si bien se cuenta con aproximadamente 30 estaciones climatológicas tradicionales en funcionamiento, éstas son insuficientes; en particular, se requieren más Estaciones Meteorológicas Automáticas (EMA). Asimismo, la información hidrométrica es muy escasa, sobre todo en los últimos años; actualmente no hay estaciones hidrométricas en funcionamiento.

2.8.2. Suministro de agua en bloque

29. Está en construcción la tercera línea de conducción, de 76 km de longitud y con tubos de acero de 99" de diámetro, que permitirá un mantenimiento programado de las líneas actuales de abastecimiento y el control de las suspensiones del servicio por fallas. Está asimismo en construcción una segunda conducción desde la planta de bombeo 5 hasta la torre de oscilación 5 para fortalecer la seguridad del Sistema. Es esencial, además, sustituir y modernizar el control supervisorio, y fortalecer la capacidad de almacenamiento del Sistema, que en la actualidad es de sólo 1.3 veces el volumen anual de diseño: esto es, 65% de la cifra recomendable. En ese sentido, se requiere estudiar los sitios de presas ya identificados. Tiene igual importancia la adecuación del túnel Analco-San José, así como el análisis de una posible conexión entre la planta de bombeo 4 y la presa Villa Victoria, ampliando también la capacidad de almacenamiento en ese embalse. Es conveniente mantener la actual relación favorable de redundancia en las plantas de bombeo. Todas estas medidas están dentro del

ámbito de las atribuciones institucionales de la CONAGUA y permitirían asegurar el funcionamiento del Sistema en los próximos años.

2.8.3. Potabilizadora Los Berros

30. De mantenerse las condiciones actuales en el Sistema, será inevitable un incremento de los problemas relacionados con el deterioro de la calidad del agua. Ello pondrá en riesgo la confiabilidad del proceso de potabilización en Los Berros, afectará la continuidad de sus operaciones y generará mayores costos en reactivos y energía eléctrica. Al respecto, están en estudio las alternativas de reingeniería de la planta con el propósito de controlar más eficazmente los problemas originados por toxinas y cianobacterias.

31. La problemática de la contaminación de los embalses y de la calidad del agua es multifactorial y se relaciona con aspectos geológicos, con las actividades productivas, con el uso de los ríos y canales, y con la falta de tratamiento de aguas residuales en todo tipo de localizaciones de la población.

32. La presencia y el florecimiento masivo de algas cianofitas en los cuerpos de agua aún no se comprende cabalmente, por lo que se requiere mayor investigación y evaluación. En la actualidad no existen condiciones para una apropiada predicción de estos fenómenos ni para su control. No obstante, existen a nivel internacional opciones tecnológicas prometedoras para mitigar este tipo de riesgos.

2.9. Complejidad e insuficiencias en el sistema financiero

33. El actual esquema financiero del Sistema Cutzamala se caracteriza por la disociación entre las cuotas cobradas y los costos de prestación del servicio, así como por la disociación entre las entidades que financian el servicio y las que lo operan. Esta falta de coordinación entre entidades y recursos genera distorsiones en el manejo del agua y dificulta la instauración de medidas para mejorar la eficiencia y para optimizar el conjunto del Sistema.

34. El costo anual de suministro del Sistema de Cutzamala es de \$4,580 millones de pesos, de los cuales el 48% se financia con las cuotas cobradas por derechos de agua y del servicio de agua en bloque, y el 52% restante se financia

con recursos de la Federación. Cuando se incluyen el costo de oportunidad y las externalidades económicas y financieras, el costo anual del Sistema Cutzamala se incrementa a \$7,692 millones de pesos, de los cuales el 29% es cubierto por las cuotas pagadas por los operadores que compran agua en bloque, el 31% por la Federación y el 40% restante por la sociedad que asume los costos de la degradación en la calidad del agua y en el medio ambiente.

2.10. Un marco institucional y legal que requiere mejoras sustanciales

35. Una parte importante de los actos de autoridad que afectan al Sistema deben ejercerse por una instancia distinta de aquella que tiene jurisdicción sobre el territorio de las subcuencas. En este sentido, la situación rebasa el principio de determinación competencial basada en el territorio, pues la Ley de Aguas Nacionales circunscribe la actuación de los Organismos de Cuenca al ámbito de la cuenca hidrológica y de la región hidrológico-administrativa correspondiente. Es necesario acordar un nuevo arreglo institucional para realizar la gestión integral de los recursos hídricos de las seis subcuencas de aportación al Sistema Cutzamala.
36. La gestión integrada de las subcuencas de aportación del Sistema Cutzamala requiere un proceso de rediseño y fortalecimiento institucional para que tanto la CONAGUA como el OCAVM y el OCB cuenten con mejores condiciones para cumplir con sus atribuciones y dispongan de más recursos humanos y materiales.
37. La tenencia de la tierra de las zonas inundables de los embalses se encuentra en una situación complicada, ya que se desconoce la condición exacta de las expropiaciones realizadas por la extinta Compañía de Luz y Fuerza del Centro para la construcción del Sistema Eléctrico Miguel Alemán. La imprecisión de la información sobre la tenencia de la tierra ha limitado el ejercicio de actos de autoridad.
38. Para alcanzar una gestión integrada de los recursos hídricos, del suelo, el bosque y la energía de las subcuencas, es necesario generar esquemas de coordinación intergubernamental. Se han identificado programas de ordenamiento ecológico, de desarrollo urbano y otros planes territoriales que deben ser tomados en cuenta para alinear las acciones realizadas en función de objetivos comunes.

3. Los desafíos hacia la sustentabilidad

39. **Los riesgos son múltiples.** De continuar la situación actual, se acentuarán los riesgos derivados de un incremento de la conflictividad social en municipios y subcuencas, y de la presión creciente sobre el medio biofísico originados por la pobreza y la marginación. Ello incluye al Sistema Cutzamala en dos sentidos: a) incrementando la vulnerabilidad real y percibida para un servicio eficiente; b) generando más deterioro de la capacidad de las subcuencas para aportar los volúmenes actuales en cantidad y calidad deseables.
40. **Una cuenca modelo.** Es indispensable que se trabaje para lograr una cuenca modelo con un enfoque de manejo integral del agua, que incluya un proceso de desarrollo integral de la región, en el cual se fomente un desarrollo económico y social adecuado a la vocación de cada subcuenca y se recupere el potencial de la población.
41. **Se requiere un esfuerzo de desarrollo regional.** Desde un punto de vista multisectorial que excede las responsabilidades de la CONAGUA y rebasa el objetivo de este estudio, las condiciones prevalecientes en las subcuencas reclaman el fortalecimiento de un enfoque armónico de carácter territorial, con ordenamiento urbano coherente con la sustentabilidad ambiental y la superación de la pobreza. En ciertos municipios es necesario profundizar en los proyectos de sustentabilidad basados en el desarrollo comunitario. Es preciso, además, analizar y fomentar el desarrollo de sistemas-producto, viables y competitivos (como turismo, agricultura sostenible, bosque eficiente y productivo, servicios ambientales, entre otros), procurando un intercambio más remunerador con los mercados estatales, nacionales e internacionales, y con fuerte presencia y colaboración de los municipios.
42. **Obras e instalaciones del Sistema en condiciones del siglo XXI.** El Sistema Cutzamala está diseñado para bombear 19 m³/s en sus tres etapas, con un esquema hidráulico, conducciones, instalaciones eléctricas y obras singulares, confiables, eficientes y convenientes para las condiciones actuales y futuras. Mantener y actualizar esos atributos implica:
 - Estudiar las posibilidades de ampliar la capacidad de captación de agua, especialmente con la elevación de las presas existentes, y

umentar la de suministro de agua en bloque mediante nuevos proyectos que no limiten la posibilidad de satisfacer las necesidades de agua de la población en las subcuencas. La potabilizadora Los Berros requiere un esfuerzo de modernización y ampliación, hasta alcanzar como mínimo la capacidad actual de entrega de agua de las plantas de bombeo. Es indispensable mantener el proceso de inversión para fortalecer la seguridad del Sistema y la redundancia mínima que reclama esta obra singular.

- Promover, mediante la ejecución prioritaria de los programas federalizados, la imprescindible ampliación de la cobertura de agua potable, drenaje, alcantarillado y saneamiento, y fomentar el reúso de aguas residuales en las subcuencas, cuyas descargas directas e indirectas perjudican a la población, contaminan los cuerpos de agua, deterioran los recursos naturales y afectan el uso eficiente y el buen estado de las obras, instalaciones y equipos del Sistema.
 - Considerar las posibilidades de generación hidroeléctrica asociadas a la infraestructura existente.
 - Asegurar una vigilancia adecuada sobre el complejo y extenso Sistema, previniendo derrames en embalses y canales, actos de vandalismo y otras amenazas técnicas, ambientales y sociales.
 - Dotar al Sistema con una estructura organizativa y operacional moderna y flexible, con procesos sistematizados, líneas claras de responsabilidad y control, conocimientos, información y recursos humanos con la capacidad técnica requerida.
43. **Un sistema financiero apropiado.** Es necesario estructurar el Sistema Financiero del Agua para garantizar la sostenibilidad de largo plazo y la eficiente operación del Sistema Cutzamala. La política de financiamiento debe incluir mecanismos e incentivos que garanticen el equilibrio entre ingresos y costos. Las cuotas y tarifas deben ajustarse de manera que brinden eficiencia y garanticen su sustentabilidad.
44. La ejecución presupuestaria debería también revisarse para dotarla de la flexibilidad que permita un ejercicio ágil de los recursos, de acuerdo con los montos autorizados. Deben identificarse los puntos críticos en este renglón —en los niveles institucional, administrativo

y legal—, para diseñar programas dirigidos a mejorar la implementación.

4. Una visión aglutinante y un pacto social para la sustentabilidad

45. Dos escenarios se delinean a partir del presente diagnóstico: la *continuidad sin cambios* o una *refundación sustentable*.
46. **Continuidad sin cambios.** En este primer escenario, el diagnóstico confirma que, si se terminan oportunamente las obras en proceso, el Sistema Cutzamala puede seguir operando en las condiciones actuales durante los próximos 10 años, con crecientes problemas y costos de mantenimiento y operación. Las dificultades y problemas serán crecientes, así como el desgaste político para contrarrestar las tendencias actuales de disminución de caudales, deterioro de la calidad del agua y riesgos de seguridad en la infraestructura. La conflictividad social y política en las subcuencas continuará, y posiblemente aumentará en intensidad, debido a la pobreza y a la desigualdad persistentes, y alimentada por una percepción acentuada de las implicaciones del trasvase al Valle de México. Es posible que se desarrollen puntos de mayor intensidad concentrados en el Sistema Cutzamala y sus instalaciones clave; esto reforzará a su vez una imagen pública de vulnerabilidad del servicio prestado. Las disputas por el agua tenderán a crecer en localidades, en municipios y en el conjunto de la región —y llegarán quizá a afectar el desarrollo turístico en las subcuencas—.
47. **Refundación sustentable.** En este escenario, la disponibilidad de recursos de agua es suficiente para asegurar, en el mediano plazo y sujeto a ciertas condiciones, el desarrollo equitativo y sustentable de las subcuencas, así como la respuesta del Sistema a los usuarios con crecientes demandas de servicios de agua en la ZMVM, la ZMT y las subcuencas. Las condiciones para lograrlo son múltiples y podrían articularse en un *pacto de desarrollo sustentable y equitativo en el área del Sistema Cutzamala* que sostuviera y auspiciara la concertación de planes de manejo integrado del agua en la región, las subcuencas, los municipios y las localidades.
48. Esta visión podría así desenvolverse en torno a tres ejes principales: institucional, financiero y de inversión, no excluyentes de otras acciones

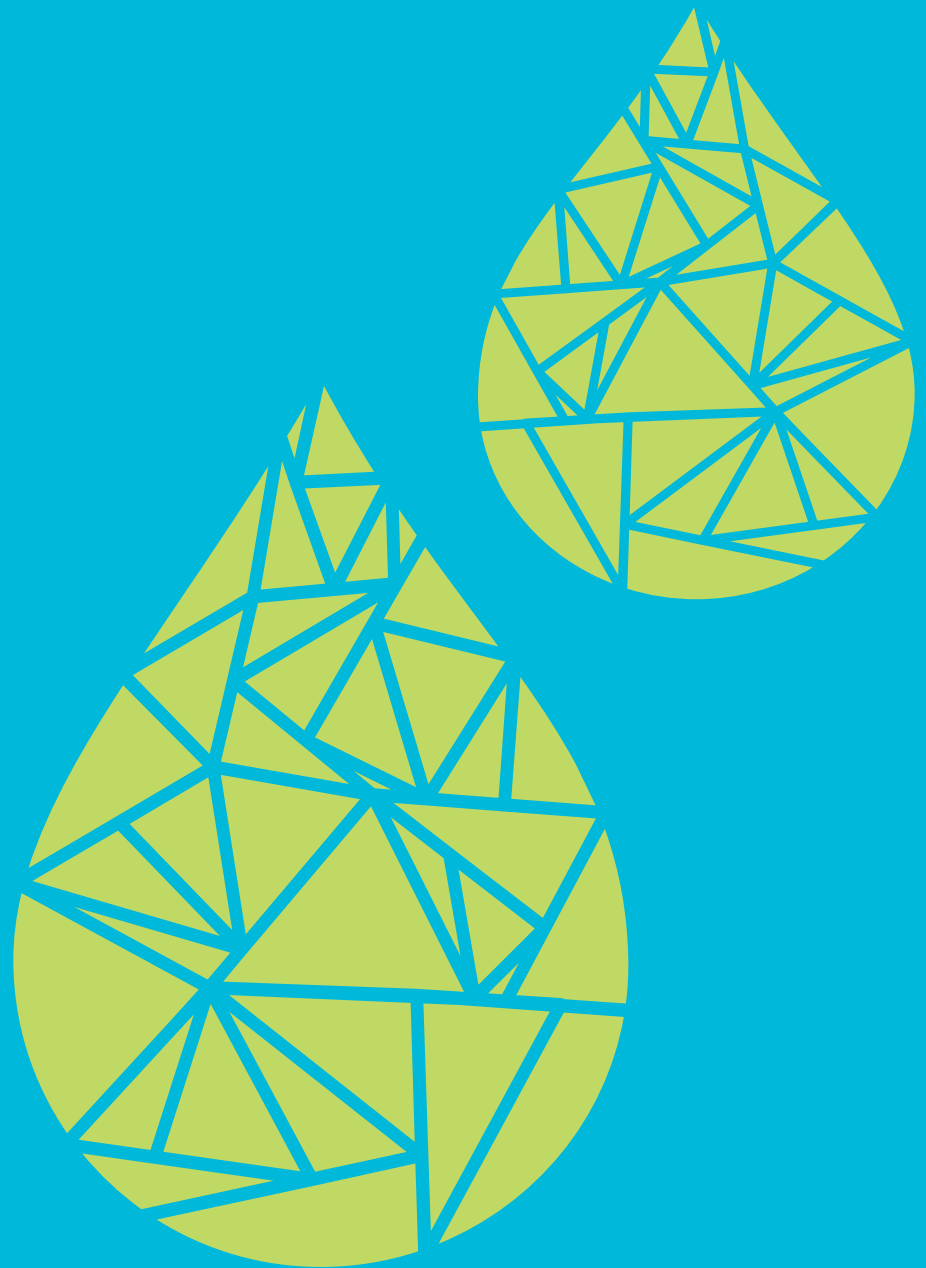
necesarias que se desprenden del contexto analizado por el diagnóstico:

- Alcanzar la excelencia institucional, tecnológica y financiera en infraestructura, instalaciones y operación modernizadas del Sistema Cutzamala.
- Fortalecer el marco institucional para alcanzar una gestión integral de la cuenca del Cutzamala, hasta la entrega de agua en la presa El Gallo. En congruencia con lo anterior, asegurar la participación de los actores involucrados, estableciendo un Consejo de Cuenca específico, y un órgano de coordinación y aprobación de los programas sectoriales correspondientes.
- Aumentar la capacidad de respuesta del sector público y la correlativa capacidad de control y seguimiento de las organizaciones de usuarios, base de una gestión integrada del recurso hídrico.
- Ejecutar prioritariamente programas multianuales de mantenimiento, rehabilitación y modernización de la infraestructura y su operación.
- Concluir con oportunidad las obras en proceso, particularmente la tercera línea, así como la segunda línea desde la planta de bombeo 5 hasta la torre de oscilación 5, además de la reingeniería de la planta Los Berros.
- Utilizar las opciones tecnológicas apropiadas para manejar las algas en los embalses y en la planta de tratamiento Los Berros.
- Mejorar la tecnología y los niveles de competitividad de los sistemas productivos rurales presentes (en particular, la eficiencia del riego).
- Ampliar la cobertura y mejorar los servicios de agua potable y saneamiento, asignando prioridad a los programas federalizados en esos rubros, así como a la ampliación y operación eficiente de la capacidad de tratamiento de aguas residuales.
- Desarrollar programas eficaces de conservación de suelos, reforestación y de pago por servicios ambientales, con retribución y servicios adecuados a los productores y a las comunidades participantes, con un enfoque de desarrollo sustentable acordado con las autoridades estatales y locales.

- Establecer un Sistema Financiero del Agua en la cuenca Cutzamala, para garantizar la sustentabilidad de largo plazo, la gestión integral del recurso y la eficiente operación del Sistema Cutzamala.

5. Próximos pasos

49. Con base en el acuerdo establecido entre la CONAGUA, el OCAVM y el Banco Mundial, se prevén las siguientes actividades con participación del OCB, el IMTA y el Instituto de Ingeniería de la UNAM:
 - Validación del diagnóstico con los Gobiernos de los estados de México y de Michoacán y el Gobierno del Distrito Federal.
 - Diálogo a partir de los resultados del diagnóstico con los Consejos y Comisiones de Cuenca respectivos; con los Organismos Operadores, los representantes del mundo académico, las organizaciones no gubernamentales, las asociaciones y organizaciones de la sociedad civil, y los grupos de ciudadanos interesados. Establecimiento de un proceso de comunicación y de difusión de información confiable con la sociedad, en un marco de colaboración abierta e inclusiva.
 - Culminación de los trabajos para la integración de las herramientas de análisis y modelación. Ello permitirá a todos los actores interesados contar con los instrumentos y la información necesaria para la valoración de las alternativas de solución identificadas y las que surjan de la validación del diagnóstico.
 - Formulación de un programa integral para la Cuenca del Cutzamala. Este programa incluirá, entre otros, aspectos de gestión del agua para los distintos usos; conservación de agua y suelo en las cuencas; suministro de agua, saneamiento y control de la contaminación; eficiencia en la irrigación; tecnificación de la agricultura de temporal; conservación y mantenimiento de la infraestructura existente y las intervenciones para su mejoramiento; aspectos financieros y económicos; lineamientos para los capítulos de acciones de desarrollo ambiental y social, y de desarrollo institucional para la correcta realización del programa, en un ambiente de participación responsable.
 - Presentación y discusión del programa ante las instancias correspondientes.





Bibliografía

- Acuagranjas. (2012). *Seguimiento de la calidad del agua de las presas Valle de Bravo, Villa Victoria y El Bosque del Sistema Cutzamala*. México: Acuagranjas Consultores en Acuacultura.
- Banco Mundial. (2013). *Agua urbana en el Valle de México: ¿un camino verde para mañana?* Washington DC: El Banco Mundial.
- Banco Mundial. (2014). *Fortalecimiento del sistema financiero del agua en México. Del marco conceptual a las iniciativas piloto*. Washington DC: Banco Mundial.
- Banco Mundial-CONAGUA. (2015). “Diagnóstico de aspectos institucionales y de planeación”. En *Producto 2, Contratación de servicios de consultoría y asesoría técnica especializada para el manejo integral de las subcuencas Tuxpan, El Bosque, Ixtapan del Oro, Valle de Bravo, Colorines-Chilesdo*. México: Banco Mundial.
- Banco Mundial-CONAGUA. (2015a). “Reporte exploratorio sobre inversiones federales y de asociaciones civiles en los municipios que abarcan las subcuencas del Sistema Cutzamala (2006-2014)”. Anexo 9: “Diagnóstico de aspectos institucionales y de planeación”. En *Producto 2, Contratación de servicios de consultoría y asesoría técnica especializada para el manejo integral de las subcuencas Tuxpan, El Bosque, Ixtapan del Oro, Valle de Bravo, Colorines-Chilesdo*. México: Banco Mundial.
- Bernal, E. (2011). *Transformación del paisaje natural y cultural de Valle de Bravo*. México: Universidad Autónoma del Estado de México.
- Bonfil, H. (2015). “Acercamiento a la percepción psicosocial y ambiental del Sistema Cutzamala”. México: Documento de trabajo, proyecto CONAGUA-OCAVM-Banco Mundial.
- Bunge, V., Martínez, J., & Ruiz-Bedolla, K. (2012). “Caracterización y escenarios de dinámica hídrica de la región de aporte del Sistema Cutzamala”. México: Documento de trabajo, Dirección General de Ordenamiento Ecológico y Conservación de Ecosistemas, Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático.
- Carlson, R., & Simpson, J. (1996). *A Coordinator's Guide to Volunteer Lake Monitoring Methods*. Madison, WI: North American Lake Management Society.
- CCRB. (2014). “Programa de medidas preventivas”. Consejo de Cuenca Río Balsas. Documento interno.
- CCVBA. (2011). *Ocho años de gestión y sustentabilidad hídrica*. Valle de Bravo-Amanalco: Comisión de Cuenca Valle de Bravo.

- CENAPRED. (s.f.). *Atlas de riesgos: ¿qué sabes del lugar donde habitas?* Obtenido de Atlas de riesgos, Centro Nacional de Prevención de Desastres: <http://www.cenapred.gob.mx/es/Publicaciones/archivos/297-INFOGRAFAATLASDERIESGOS.PDF> (Fecha de consulta: 15/04/2015).
- CENAPRED. (s.f.). *Subsistema de información sobre riesgos, peligro y vulnerabilidad*. Obtenido de <http://www.atlasnacionalderiesgos.gob.mx/images/PHPcenapred/index/fase1/Hidros/> (Fecha de consulta: 14/04/2015)
- CONAGUA. (2003). *Estadísticas del agua en México*. México: Comisión Nacional del Agua.
- CONAGUA. (2012). *Libro blanco CONAGUA-04: sustentabilidad del Sistema Cutzamala*. México: Comisión Nacional del Agua.
- CONAGUA. (2013). “Informe de la visita a las presas del Sistema Cutzamala para dar seguimiento a la evolución del Índice de Contaminación (Ico)”. México: Subgerencia de Ingeniería Sanitaria y Ambiental, Gerencia del Consultivo Técnico, Subdirección General Técnica (Memorando No. B00.05.01-161).
- CONAGUA. (2014). “Plan de riegos 2014-2015 Unidad Hidalgo”. Comisión Nacional del Agua-Dirección Local Michoacán-Distrito de Riego 045 Tuxpan.
- CONAGUA. (2014a). “Manual de integración, estructura, orgánica y funcionamiento”. México: Comisión Nacional del Agua.
- CONAGUA-OCAVM. (2009). *Estadísticas del agua de la región hidrológico-administrativa XIII*. México: Comisión Nacional del Agua-Organismo de Cuenca Aguas del Valle de México.
- CONAGUA-OCAVM. (2010). *Compendio del agua de la región hidrológico-administrativa XIII*. México: Comisión Nacional del Agua-Organismo de Cuenca Aguas del Valle de México.
- CONAGUA-OCAVM. (2010a). *Estadísticas del agua de la región hidrológico-administrativa XIII*. México: Comisión Nacional del Agua-Organismo de Cuenca Aguas del Valle de México.
- CONAGUA-OCAVM. (2013). *Estadísticas del agua de la región hidrológico-administrativa XIII*. México: Comisión Nacional del Agua-Organismo de Cuenca Aguas del Valle de México.
- CONAGUA-OCB. (2010). *Estadísticas del agua en la cuenca del Río Balsas*. México: Comisión Nacional del Agua-Organismo de Cuenca Balsas.
- CONAGUA-OCB. (2015). *Misión, Visión y Objetivos*. Obtenido de Comisión Nacional del Agua-Organismo de Cuenca Balsas: <http://www.conagua.gob.mx/ocb/Contenido.aspx?n1=1&n2=187> (Fecha de consulta: 15/04/2015)
- CYTSA-MAV. (2012). *Modelo de marco institucional para la gestión de los recursos hídricos en el Valle de México. Primer informe*. México: BID.
- Escolero, Ó., Martínez, S., Kralisch, S., & Perevochtchikova, M. (2009). *Vulnerabilidad de las fuentes de abastecimiento de agua potable de la Ciudad de México en el contexto de cambio climático*. México: Centro Virtual de Cambio Climático de la Ciudad de México-UNAM.
- Gobierno del estado de Michoacán de Ocampo. (2005). *Desarrollo regional para la región IV Oriente*. Gobierno del estado de Michoacán de Ocampo.
- González, A. (2012). “La dimensión regional del abastecimiento de agua y drenaje de la zona metropolitana del Valle de México: cuatro cuencas hidrológicas vinculadas artificialmente”. En A. Ziccardi (coord.), *Ciudades del 2010: entre la sociedad del conocimiento y la desigualdad social*. México: Programa Universitario de Estudios sobre la Ciudad-UNAM, pp. 375-401.

- González, D., Garrido, A., Enríquez, C., Gesindheit, P., Cuevas, M., & Cotler, H. (2013). "Identificación de zonas prioritarias con fines de recuperación de vegetación riparia en las subcuencas del Sistema Cutzamala". En *Memorias del III Congreso Nacional de Manejo de Cuencas Hidrográficas*. Morelia: UNAM-Centro de Investigaciones en Geografía Ambiental.
- IMTA. (2012). *Plan estratégico para la recuperación ambiental de la cuenca Amanalco-Valle de Bravo (actualización)*. Jiutepec, Mor.: Instituto Mexicano de Tecnología del Agua.
- IMTA. (2013). *Análisis de riesgo sanitario y ambiental asociado con la presencia de contaminantes emergentes y no regulados presentes en fuentes de abastecimiento expuestas a aguas residuales*. Jiutepec, Mor.: Instituto Mexicano de Tecnología del Agua.
- IMTA. (2013a). *Control biológico de lirio acuático de la presa Colorines del Sistema Cutzamala, Estado de México*. Jiutepec, Mor.: Instituto Mexicano de Tecnología del Agua.
- INEGI. (1980). *Conjunto Nacional de Información de Uso del Suelo y Vegetación escala 1:250,000, Serie I*. México: Instituto Nacional de Estadística y Geografía.
- INEGI. (2005). *Conjunto Nacional de Información de Uso del Suelo y Vegetación escala 1:250,000, Serie III*. México: Instituto Nacional de Estadística y Geografía.
- INEGI. (2010). *Conjunto Nacional de Información de Uso del Suelo y Vegetación escala 1:250,000, Serie IV*. México: Instituto Nacional de Estadística y Geografía.
- INEGI. (2011). *Conjunto Nacional de Información de Uso del Suelo y Vegetación escala 1:250,000, Serie V*. México: Instituto Nacional de Estadística y Geografía.
- Kloezen, W. (2002). *Accounting for Water: Institutional Viability and Impacts of Market-oriented Irrigation Interventions in Central Mexico*. IWMI, tesis doctoral.
- Mann, R. (2013). "Project for the Integrated Management of the Cutzamala Watersheds". México: Documento de trabajo.
- OCAVM-DAPDS. (2014). "Programa de conservación y mantenimiento de la infraestructura para la prestación del servicio de abastecimiento de agua potable para la Zona Metropolitana del Valle de México (2014-2018)". México: Organismo de Cuenca Aguas del Valle de México, Dirección de Agua Potable, Drenaje y Saneamiento. Documento interno.
- OCAVM-DAPDS. (2014a). "Tabla de personal de la Dirección de Agua Potable, Drenaje y Saneamiento". México: OCAVM. Documento interno.
- OCDE. (2013). *Hacer posible la reforma de la gestión del agua en México*. París: OECD Publishing.
- OECD. (2010). *Sustainable Management of Water Resources in Agriculture*. París: OECD Publishing.
- Perló, M., & González, A. (2009). *¿Guerra por el agua en el Valle de México? Estudio sobre las relaciones hidráulicas entre el Distrito Federal y el Estado de México*. México: Programa Universitario de Estudios sobre la Ciudad, UNAM.
- Pizzolon, L. (1996). "Importancia de las cianobacterias como factor de toxicidad en las aguas continentales". *INTERCIENCIA*, 6 (21), 239-245. <http://www.interciencia.org.ve>.
- PROINFRA. (2013). "Coordinación, supervisión y control de la obra relativa a mantenimiento y rehabilitación del canal El Bosque-Colorines, incluyendo reparación de fugas y la rehabilitación de algunos tramos del camino de operación. Sistema Cutzamala". México: OCAVM, Documento interno.

- PUEC-UNAM. (2010). *Evaluación de la política de acceso al agua potable en el Distrito Federal*. México: Academia Mexicana de Ciencias- Consejo de Evaluación del Desarrollo Social del Distrito Federal-Programa Universitario de Estudios sobre la Ciudad, UNAM.
- Ramírez, Z. J. (2010). *Dinámica biogeoquímica de N y P de un embalse tropical eutrofizado (Valle de Bravo, Estado de México)*. Posgrado en Ciencias del Mar y Limnología-UNAM, tesis de doctorado.
- SACMEX. (2012). *El gran reto del agua de la Ciudad de México: pasado, presente y perspectivas de solución para una de las ciudades más complejas del mundo*. México: Sistema de Aguas de la Ciudad de México.
- SAGARPA. (2015). *Anuario estadístico de acuacultura y pesca*. México: Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación.
- Salgado, J. A. (2015). "Diagnóstico sociodemográfico de los municipios aledaños y de la zona de interacción con el Sistema Cutzamala". México: Documento de trabajo, proyecto CONAGUA-OCA-VM-Banco Mundial.
- SEDESOL. (2014). *Informe anual sobre la situación de pobreza y rezago social*. México: Secretaría de Desarrollo Social.
- SEMARNAT-Gobierno de la República. (2014). *Programa Nacional Hídrico 2014-2018*. México: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales-Gobierno de la República.
- Silva, R. (s.f.). *Agua y subordinación en la cuenca del río Lerma*. Obtenido de <http://www.uaemex.mx/plin/psus/rev5/e02.html> (Fecha de consulta: 9/02/2015)
- Sistema Nacional de Información del Agua. (2012). "Distritos de Riego". En *Atlas digital del agua México 2012*. México: <http://www.conagua.gob.mx/atlas/usosdelagua32.html> (Fecha de consulta: 15/04/2015).
- Sistema Nacional de Información Municipal. (2015). *Municipios en cifras*. Sistema Nacional de Información Municipal.
- Torres-Mazuera, G. (2012). *La ruralidad urbanizada en el Centro de México*. México: Universidad Nacional Autónoma de México.
- World Bank. (2014). *Turn Down the Heat Confronting the New Climate Normal*. Washington DC: The World Bank.

Índice de Figuras

Figura 1.1. Ubicación de la región XIII, Aguas del Valle de México	20
Figura 1.2. Subcuencas en la región XIII, Aguas del Valle de México	20
Figura 1.3. Balance hídrico en la cuenca del Valle de México (promedio anual, m ³ /s)	21
Figura 1.4. Municipios del Estado de México y delegaciones abastecidas por el Sistema Cutzamala	23
Figura 1.5. Infraestructura del Sistema Cutzamala entre las subcuencas y las dos zonas metropolitanas	24
Figura 1.6. El Sistema Cutzamala en la región IV, Balsas, y en las regiones circundantes	25
Figura 1.7. Ubicación de la cuenca del río Cutzamala en la cuenca del río Balsas	26
Figura 1.8. Subcuencas del Sistema Cutzamala	27
Figura 1.9. Infraestructura básica del Sistema Cutzamala	27
Figura 2.1. Elevación en las subcuencas	32
Figura 2.2. Pendiente (%) en las subcuencas	32
Figura 2.3. Clases de rocas en el Sistema Cutzamala	33
Figura 2.4. Tipos de suelos en las subcuencas del Sistema Cutzamala	33
Figura 2.5. Climas presentes en las subcuencas del Sistema Cutzamala	34
Figura 2.6. Isoyetas en las subcuencas	35
Figura 2.7. Distribución mensual de la lluvia por subcuencas (mm)	36
Figura 2.8. Riesgo por inundación	37
Figura 2.9. Índice de vulnerabilidad de inundación	37
Figura 2.10. Riesgo por sequía	38
Figura 2.11. Promedio de duración de la sequía	38
Figura 2.12. Esquema del Sistema Cutzamala	39
Figura 2.13. Usos del suelo y actividad agropecuaria en las subcuencas	41
Figura 2.14. Coberturas en las subcuencas, 1980-2011	41
Figura 2.15. Coberturas en Villa Victoria, 1980-2011	42
Figura 2.16. Coberturas en Valle de Bravo, 1980-2011	42

Figura 2.17. Coberturas en El Bosque, 1980-2011	42
Figura 2.18. Coberturas en Tuxpan, 1980-2011	43
Figura 2.19. Coberturas en Ixtapan del Oro, 1980-2011.....	43
Figura 2.20. Coberturas en Chilesdo-Colorines, 1980-2011	43
Figura 2.21. Cambios de uso de suelo en las subcuencas, 1980-2011.....	44
Figura 2.22. Reserva de la biosfera Mariposa Monarca	45
Figura 2.23. Zonificación y actividad agrícola en la Reserva de la biosfera Mariposa Monarca	46
Figura 2.24. Coberturas primarias y secundarias en la Reserva de la biosfera Mariposa Monarca	46
Figura 2.25. Crecimiento urbano en el Valle de Bravo 1930, 1920, 2010	47
Figura 2.26. Erosión del suelo en las subcuencas	48
Figura 2.27. Cambio en el escurrimiento en el planeta para los escenarios Mundo 2 °C y Mundo 4 °C en los años 2080 en relación con el periodo 1986-2005	51
Figura 2.28. Anomalía de temperatura en los escenarios(a) Mundo 2 °C y (b) Mundo 4 °C en el periodo 2071-2099 respecto a 1951-1980	52
Figura 3.1. Municipios y subcuencas	56
Figura 3.2. Dispersión de la población en los municipios de las subcuencas	57
Figura 3.3. Viviendas y servicios en los municipios de las subcuencas	58
Figura 3.4. Población ocupada según ingresos, municipios de Michoacán (2000)	59
Figura 3.5. Población ocupada según ingresos, municipios de Estado de México (2000)	59
Figura 3.6. Índice de marginación en las subcuencas	60
Figura 3.7. Localización de actores relacionados con el Sistema Cutzamala	63
Figura 4.1. Cargas que deben vencer las plantas de bombeo	71
Figura 6.1. Superficies de riego en las subcuencas del Sistema Cutzamala.....	90
Figura 6.2. Uso agrícola en las subcuencas del Sistema Cutzamala y sus alrededores: riego y temporal	91
Figura 6.3. Ubicación de los módulos de riego de la unidad Hidalgo del Distrito de Riego 045	92
Figura 6.4. Ubicación de la unidad Hidalgo del Distrito de Riego 045 y las unidades de riego	92
Figura 6.5. Cambios de las áreas irrigadas en las subcuencas del Sistema Cutzamala y sus alrededores	93
Figura 6.6. Cambios en las áreas irrigadas dentro de las subcuencas del Sistema	93
Figura 6.7. Cambios en las áreas irrigadas "externas" servidas por los canales Tuxpan-El Bosque y El Bosque-Colorines	93
Figura 6.8. Estructuras de control, módulo 7	95
Figura 6.9. Volúmenes brutos de riego en el distrito 045 (2007-2013).....	95
Figura 6.10. Áreas de riego en Susupuato, a lo largo del canal principal	97

Figura 7.1. Balance global (m ³ /s)	105
Figura 7.2. Diagrama de transferencia de volúmenes medios anuales entre los componentes del Sistema Cutzamala (usos netos, m ³ /s)	106
Figura 7.3. Producción y consumo de agua y transferencias de agua en la región del Sistema Cutzamala (m ³ /s)	107
Figura 7.4 Variabilidad de la precipitación en estaciones seleccionadas	108
Figura 8.1. Categoría de eutrofización (transparencia del disco de Secchi)	116
Figura 8.2. Concentraciones de fósforo total (mg/m ³) en los tres embalses	116
Figura 8.3. Concentraciones de clorofila "a" en los tres embalses	116
Figura 8.4. Datos de volumen en las presas y proyecciones del volumen futuro debido a la sedimentación (sin considerar los datos de estudios recientes en Valle de Bravo y El Bosque)	117
Figura 8.5. Predicción de la calidad del agua de la presa Valle de Bravo	118
Figura 8.6. Predicción de la calidad del agua de la presa Villa Victoria	119
Figura 8.7. Predicción de la calidad del agua de la presa El Bosque	119
Figura 8.8. Corte transversal esquemático del cono Speece Situado en el fondo del embalse	121
Figura 8.9. Los tres componentes de un sistema de tratamiento "cero energía"	122
Figura 9.1 Componentes del costo	128
Figura 9.2. Costos de suministro e ingresos del SACMEX , 2014 (millones de pesos)	137
Figura 9.3. Flujos financieros en el Sistema Cutzamala	138
Figura 10.1. Diagrama de agentes institucionales y asociaciones civiles en el Sistema Cutzamala	144
Figura 11.1. Principales elementos del marco jurídico del Sistema Cutzamala	153
Figura 12.1. Subcuenca Tuxpan	164
Figura 12.2. Subcuenca y presa Tuxpan	165
Figura 12.3. Subcuenca El Bosque	166
Figura 12.4. Presa El Bosque	167
Figura 12.5. Subcuenca Ixtapan del Oro	168
Figura 12.6. Subcuenca y presa Valle de Bravo	170
Figura 12.7. Subcuenca Valle de Bravo	171
Figura 12.8. Obra de toma, presa Valle de Bravo	172
Figura 12.9. Presa Valle de Bravo	172
Figura 12.10. Subcuenca Villa Victoria	174
Figura 12.11. Presa Villa Victoria	174
Figura 12.12. Subcuenca Chilesdo-Colorines	175
Figura 12.13. Presa Chilesdo	176
Figura 12.14. Esquema del Sistema Cutzamala	178

Índice de tablas

Tabla 1.1. Superficie total por subcuenca (km ²)	26
Tabla 1.2. Entregas del Sistema Cutzamala (l/s)	28
Tabla 1.3. Delegaciones y municipios que reciben agua procedente del Sistema Cutzamala	28
Tabla 2.1. Precipitación media anual	35
Tabla 2.2. Coberturas de uso del suelo en las subcuencas	40
Tabla 2.3. Cambios de uso de suelo en las subcuencas (% superficie total)	44
Tabla 2.4. Áreas de la Reserva de la biosfera Mariposa Monarca en las subcuencas del Sistema Cutzamala (km ²)	45
Tabla 2.5. Grados de erosión (% de terrenos en uso agricultura de temporal) en 4 municipios de Michoacán, 2007	50
Tabla 2.6. Grados de erosión (% de terrenos en uso agricultura de temporal) en 6 municipios del Estado de México, 2007	50
Tabla 4.1. Caudales aportados en m ³ /s	68
Tabla 4.2. Características de las presas que componen el Sistema Cutzamala	69
Tabla 4.3. Longitud de conducción en las estructuras del Sistema Cutzamala	69
Tabla 4.4. Características generales de las plantas de bombeo	70
Tabla 4.5. Precio del kW/h según tarifa en pesos	77
Tabla 4.6. Programa de Inversiones 2014-2018, costos estimados preliminares de acciones de mantenimiento y conservación, y modernización y mejoramiento (millones de pesos 2014)	79
Tabla 6.1. Características principales de las unidades de riego y del Distrito de Riego 045 (unidad Hidalgo)	91
Tabla 6.2. Riego (ha) en la zona del Sistema Cutzamala (1981-2011)	92
Tabla 6.3. Fuentes de abastecimiento del Distrito de Riego 045	94

Tabla 6.4. Consumo medio anual y retornos de riego (m ³ /s).....	98
Tabla 7.1. Producción y entrega de las presas del sistema.....	105
Tabla 7.2. Balance global (m ³ /s).....	108
Tabla 8.1. Índice de contaminación de las presas El Bosque, Villa Victoria y Valle de Bravo	114
Tabla 9.1. Costos de suministro, 2014-2018 (millones de pesos).....	128
Tabla 9.2. Valor residual por m ³ en los principales cultivos del Distrito 045.....	129
Tabla 9.3. Costo de oportunidad en el punto de captación (\$/m ³).....	130
Tabla 9.4. Cuota de trasvase.....	131
Tabla 9.5. Costo de tecnificación de Distrito 045 y Unidades de Riego.....	132
Tabla 9.6. Costo de protección de las áreas de bosque.....	133
Tabla 9.7. Costo de algunas medidas para evitar el daño ambiental (millones de pesos).....	133
Tabla 9.8. Costos del Sistema Cutzamala: anuales y por m ³	134
Tabla 9.9. Derechos de agua (área de estudio).....	135
Tabla 9.10. Cuotas recaudadas por el OCAVM correspondientes al Sistema Cutzamala, 2013 (millones de pesos).....	135
Tabla 9.11. Financiamiento del costo de suministro.....	135
Tabla 9.12. Costo total del Sistema y sector que lo cubre.....	135
Tabla 9.13. Costos anuales de suministro SACMEX, 2014 (millones de pesos).....	136
Tabla 9.14. Subsidios totales de agua en bloque del Sistema Cutzamala más suministro del SACMEX.....	137
Tabla 11.1. Caudales de las presas del Sistema Cutzamala (l/s).....	152
Tabla 11.2. Regulación y competencias en las subcuencas.....	155



WORLD BANK GROUP

CONAGUA
COMISIÓN NACIONAL DEL AGUA

