

SEMARNAT
SECRETARÍA DE MEDIO AMBIENTE Y
RECURSOS NATURALES



Impacto del cambio climático para la gestión integral de la cuenca hidrológica del *Río Apatlaco*



IMTA
INSTITUTO MEXICANO
DE TECNOLOGÍA
DEL AGUA



Denise Soares y Alejandra Peña
Coordinadoras



SEMARNAT
SECRETARÍA DE MEDIO AMBIENTE Y
RECURSOS NATURALES



IMTA
INSTITUTO MEXICANO
DE TECNOLOGÍA DEL AGUA

Impacto del cambio climático para la gestión integral de la cuenca hidrológica del río Apatlaco

Denise Soares y Alejandra Peña
Coordinadoras

Noviembre 2018

551.55 Soares Moraes, Denise (coord.)
R63 *Impacto del cambio climático para la gestión integral de la cuenca hidrológica del río Apatlaco* /Denise Soares Moraes... *et al.*, coordinadoras. -- Jiutepec, Mor. : Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, 2018.
535 p.

ISBN 978-607-8629-12-1 (Obra digital)

1. Cambio climático 2. Riesgos ambientales 3. Morelos

COORDINADORAS

Denise Soares y Alejandra Peña

EDICIÓN, DISEÑO EDITORIAL Y PORTADA

Gema Alín Martínez Ocampo
Instituto Mexicano de Tecnología del Agua

MAQUETACIÓN

Jorge A. López.

Primera edición: 2018

Instituto Mexicano de Tecnología del Agua
Paseo Cuauhnáhuac 8532
62550 Progreso, Jiutepec, Morelos
México
www.imta.gob.mx

ISBN 978-607-8629-12-1 (Obra digital)

Fotografías:

Gema Alín Martínez Ocampo
www.pixabay.com (página 516)

Las opiniones, datos y citas presentados en esta obra son responsabilidad exclusiva de los autores y no reflejan, necesariamente, los puntos de vista de la institución que edita esta publicación.

Prohibida su reproducción parcial o total, por cualquier medio, mecánico, electrónico, de fotocopias, térmico u otros, sin permiso de las coordinadoras.

Hecho en México

AUTORES Y AUTORAS

<i>Aguilar Garduño, Ernesto</i>	<i>Meade Ocaranza, Lydia</i>
<i>Arreguín Cortés, Felipe Ignacio</i>	<i>Montero Martínez, Martín José</i>
<i>Astudillo Enríquez, Citlalli</i>	<i>Nava Assad, Yusif Salib</i>
<i>Bahena Ayala, Rabindranath</i>	<i>Peña García, Alejandra</i>
<i>Bravo Jácome, José Avidan</i>	<i>Pita Díaz, Óscar</i>
<i>Cervantes Jaimes, Claudia Elizabeth</i>	<i>Rodríguez Torres, Sergio</i>
<i>García Maldonado, Edgar</i>	<i>Romero Pérez, Roberto</i>
<i>Gómez Balandra, María Antonieta</i>	<i>Saldaña Fabela, María del Pilar</i>
<i>González Gurría, Nora Patricia</i>	<i>Soares, Denise</i>
<i>González Terrazas, Daniel Iura</i>	<i>Suárez Medina, María de los Ángeles</i>
<i>Hernández Arce, Cipriana</i>	<i>Vargas Velázquez, Sergio</i>
<i>Hernández Cruz, Norma</i>	<i>Vega Nevárez, Ramiro</i>
<i>Hernández López, Rubén Darío</i>	<i>Vermonden Thibodeau, Anaís</i>
<i>Mantilla Morales, Gabriela</i>	

ÍNDICE



INTRODUCCIÓN	11
<i>Denise Soares y Alejandra Peña</i>	
1. UNA APROXIMACIÓN AL MARCO CONCEPTUAL, INSTITUCIONAL Y NORMATIVO RELATIVO AL CAMBIO CLIMÁTICO	27
<i>Denise Soares, Alejandra Peña y Edgar García Maldonado</i>	
1.1. Resumen	27
1.2. Marco conceptual del cambio climático	28
1.3. Marco institucional y normativo del cambio climático	40
1.4. Política Nacional de Cambio Climático	42
1.5. Instrumentos de política	43
1.6. Política pública	45
1.7. La agenda morelense de cambio climático	47
1.8. Conclusiones	51
1.9. Bibliografía	52
2. CARACTERIZACIÓN DE LA CUENCA DEL RÍO APATLACO	57
<i>Citlalli Astudillo, Alejandra Peña, María de los Ángeles Suárez, Ernesto Aguilar, y José Avidán Bravo</i>	
2.1. Resumen	57
2.2. Ubicación	58
2.3. Marco demográfico y socioeconómico	60
2.4. Marco ambiental	76
2.5. Conclusiones	102
2.6. Bibliografía	103
2.7. Anexos	105

3.	HOMOGENEIZACIÓN DE DATOS Y CÁLCULO DE ÍNDICES DE CAMBIO CLIMÁTICO PARA LA CUENCA DEL RÍO APATLACO	109
	<i>Martín José Montero y Óscar Pita</i>	
3.1.	Resumen	109
3.2.	Introducción	110
3.3.	Dominio geográfico y bases de datos	113
3.4.	Metodología	114
3.5.	Resultados	118
3.6.	Sumario y conclusiones	139
3.7.	Recomendaciones y trabajo a futuro	143
3.8.	Referencias	143
4.	CAUDAL ECOLÓGICO Y RESERVA DE AGUA PARA EL RÍO APATLACO: HACIA UN ENFOQUE ADAPTATIVO AL CAMBIO CLIMÁTICO	147
	<i>María Antonieta Gómez, Sergio Rodríguez, Rubén Darío y María del Pilar Saldaña</i>	
4.1.	Resumen	147
4.2.	Introducción	148
4.3.	Estimación del caudal ecológico en el río Apatlaco	156
4.4.	Régimen de caudal del río Apatlaco	159
4.5.	Alteraciones hidrológicas	166
4.6.	Caudal ecológico	168
4.7.	Reserva de agua para el ambiente	170
4.8.	Conclusiones	181
4.9.	Referencias	184
5.	INUNDACIONES EN LA CUENCA DEL RÍO APATLACO ¿EFECTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO?	189
	<i>José Avidan Bravo, Citlalli Astudillo, Ernesto Aguilar y María de los Ángeles Suárez</i>	
5.1.	Resumen	189
5.2.	Introducción	190
5.3.	Inundaciones históricas en la cuenca	191
5.4.	Características fisiográficas para el análisis de avenidas	199
5.5.	Comportamiento de las avenidas	202
5.6.	Avenidas máximas en la estación hidrométrica Temixco (18271)	202
5.7.	Proceso de urbanización y deforestación	206
5.8.	Caracterización de tormentas	207
5.9.	Conclusiones	210
5.10.	Bibliografía	211

6. TENDENCIAS DE LA FRECUENCIA, DURACIÓN E INTENSIDAD DEL PERIODO HÚMEDO Y LA CANÍCULA AGRONÓMICA EN LOS CULTIVOS DE TEMPORAL EN LA CUENCA DEL RÍO APATLACO	213
<i>Ramiro Vega y Nora Patricia González</i>	
6.1. Resumen	213
6.2. Introducción	214
6.3. Materiales y métodos	222
6.4. Resultados y discusión	225
6.5. Conclusiones	239
6.6. Referencias bibliográficas	242
7. CALIDAD DEL AGUA EN LA CUENCA DEL RÍO APATLACO ANTE LOS EFECTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO	245
<i>María del Pilar Saldaña, María Antonieta Gómez y Rubén Darío Hernández</i>	
7.1. Resumen	245
7.2. Introducción	247
7.3. Antecedentes	248
7.4. Resultados	253
7.5. Discusión	265
7.6. Conclusiones	266
7.7. Bibliografía	268
8. EMISIONES DE GASES DE EFECTO INVERNADERO DE AGUAS RESIDUALES MUNICIPALES EN LA CUENCA DEL RÍO APATLACO	271
<i>Gabriela Mantilla y Norma Hernández</i>	
8.1. Resumen	271
8.2. Introducción	272
8.3. Generación de aguas residuales municipales en la cuenca del río Apatlaco	275
8.4. Permisos de descarga en la cuenca del río Apatlaco	281
8.5. Tratamiento de aguas residuales municipales	286
8.6. Estimación de GEI generados por las descargas de aguas residuales	293
8.7. Estimación de la carga orgánica	296
8.8. Estimación de las emisiones de metano a partir de la carga orgánica	297
8.9. Estimación de las emisiones de óxido nitroso	300
8.10. Estimación de las emisiones totales anuales en la cuenca del río Apatlaco	303
8.11. Conclusiones	304
8.12. Bibliografía	307

9. GESTIÓN LOCAL DEL AGUA PARA RIEGO EN LA ZONA PERIURBANA DE CUERNAVACA: APUNTES PARA EL DISEÑO DE POLÍTICAS DE CAMBIO CLIMÁTICO	311
<i>Cipriana Hernández y Nora González</i>	
9.1. Resumen	311
9.2. Introducción	312
9.3. Metodología	314
9.4. Zonas de estudio	315
9.5. Módulo Alto Apatlaco	316
9.6. Módulo Las Fuentes	320
9.7. Resultados	329
9.8. Vulnerabilidad organizativa	330
9.9. Vulnerabilidad por los problemas con el agua	334
9.10. Vulnerabilidad productiva	336
9.11. Conclusiones y recomendaciones	338
9.12. Bibliografía	340
10. EL ARREGLO INSTITUCIONAL PARA LA GESTIÓN DEL AGUA EN LA CUENCA DEL RÍO APATLACO, ANTE EL CAMBIO CLIMÁTICO	343
<i>Alejandra Peña, Sergio Vargas Velázquez, Denise Soares y Lydia Meade Ocaranza</i>	
10.1. Resumen	343
10.2. Introducción	344
10.3. La GIRH y el arreglo institucional del agua en la cuenca del río Apatlaco	350
10.4. Orígenes de la Comisión de Cuenca del río Apatlaco	353
10.5. Conformación de la Comisión de Cuenca del río Apatlaco	355
10.6. Arreglo institucional para impulsar la mitigación y la adaptación al cambio climático	366
10.7. Reflexiones finales	372
10.8. Referencias	373
11. URBANIZACIÓN Y GESTIÓN DEL AGUA ANTE EL CAMBIO CLIMÁTICO, EN EL ÁREA METROPOLITANA DE CUERNAVACA	377
<i>Sergio Vargas, Alejandra Peña y Denise Soares</i>	
11.1. Resumen	377
11.2. Introducción	378
11.3. Los problemas públicos del agua	382
11.4. "Metropolización" de Cuernavaca: urbanización de la cuenca	387
11.5. Consecuencias sociohídricas de la expansión urbana	399
11.6. Gestión de agua potable en el municipio de Cuernavaca	407
11.7. La gestión del agua urbana: problemas	413

11.8. Conclusiones	419
11.9. Referencias	422
12. RESILIENCIA URBANA AL CAMBIO CLIMÁTICO. CASO DE ESTUDIO: CIUDAD DE CUERNAVACA	429
<i>Rabindranath Bahena-Ayala, Felipe I. Arreguín Cortés y Elizabeth Cervantes-Jaimes</i>	
12.1. Resumen	429
12.2. Introducción	430
12.3. ¿Resiliencia al cambio climático o capacidad adaptativa?	432
12.4. Medidas e infraestructura resilientes al cambio climático	437
12.5. Resiliencia urbana al cambio climático: Cuernavaca	447
12.6. Metodología para evaluar la resiliencia urbana ante fenómenos hidrometeorológicos y climáticos: Cuernavaca	454
12.7. Perfil técnico de resiliencia de Cuernavaca	462
12.8. Conclusiones	468
12.9. Bibliografía	470
13. ÍNDICE DE VULNERABILIDAD FRENTE A INUNDACIONES EN LA CUENCA DEL APATLACO: ACERCAMIENTO DESDE LAS BRECHAS DE GÉNERO	475
<i>Denise Soares, Roberto Romero, Anaís Vermonden Thibodeau, Yusif Salib Nava Assad y Daniel Iura González Terrazas</i>	
13.1. Resumen	475
13.2. Introducción	476
13.3. Acercándonos a la comprensión de la vulnerabilidad	479
13.4. Acercándonos a la medición de la vulnerabilidad frente a inundaciones	484
13.5. Metodología para construcción del índice	490
13.6. Índice de exposición	492
13.7. Índice de sensibilidad	495
13.8. Índice de resiliencia	502
13.9. Elaboración del Índice de Vulnerabilidad Frente a Inundaciones	505
13.10. Conclusiones	511
13.11. Bibliografía	513
14. SEMBLANZA CURRICULAR DE AUTORES Y AUTORAS	517
ÍNDICE DE FIGURAS	527
ÍNDICE DE TABLAS	533



INTRODUCCIÓN

Denise Soares y Alejandra Peña



La humanidad, en la actualidad, enfrenta un desafío sin precedentes: el cambio climático, concebido como un cambio en el clima asociado con el incremento de la temperatura en la atmósfera y los océanos (de ahí la relación cambio climático-calentamiento global): modificación en la precipitación, nubosidad, patrones de vientos y cambio en la ocurrencia e intensidad de fenómenos hidrometeorológicos extremos.

Aunque las manifestaciones del cambio climático sean físicas, no se puede menospreciar su carácter social, dado que sus orígenes se asocian con el aumento de la concentración de los gases de efecto invernadero (GEI) en la atmósfera, como consecuencia del uso de combustibles fósiles, los cambios en el uso de suelo y la deforestación, todos ellos derivados de las actividades humanas. En este contexto, los seres humanos no sólo reciben los impactos del cambio climático, sino son responsables por sus orígenes, convirtiendo el fenómeno en un gran reto social y político (Sosa-Rodríguez, 2015).

Desde el punto de vista político, a partir del establecimiento de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC) se ha venido avanzando para revertir esta situación. Dicha Convención entró en vigor en 1994 como el organismo responsable, a escala internacional, de establecer objetivos, normas y acciones para hacer frente al cambio climático y, en particular, dirigida a reducir la emisión de GEI y definir medidas de adaptación y mitigación.

Hoy en día, 197 países la han ratificado y se consideran “Partes de la Convención”, por ello la denominación “Conferencias de las Partes” (COP), donde los delegados gubernamentales de los países miembros se reúnen cada año para discutir y tomar acuerdos en la materia (Transparencia Mexicana A. C. , 2017; Salazar *et al.*, 2010).

A la fecha, se han llevado a cabo 23 COP. En la COP3, celebrada en Kioto, Japón, se adoptó el Protocolo de Kioto, contemplado como el primer paso para establecer compromisos en el ámbito mundial orientados a afrontar la problemática de las emisiones de GEI. Asimismo, los mecanismos aprobados en el Protocolo de Kioto brindan una estructura para los acuerdos internacionales y constituyen el fundamento de las políticas públicas sobre el cambio climático. En la COP21, realizada en París en 2015, se estableció un nuevo acuerdo mundial para hacer frente al cambio climático, conocido como “Acuerdo de París”, cuyos principales logros se asocian con la transparencia y rendición de cuentas, y la adaptación al cambio climático (Salazar *et al.*, 2010; Transparencia Mexicana A .C., 2017).

En términos de transparencia y rendición de cuentas, no es menor el logro alcanzado en la COP de París, en especial si partimos de la premisa de que en nuestro país no existe suficiente confianza en los diferentes niveles de gobierno con relación al ejercicio de los recursos públicos. Los acuerdos en la materia están orientados a promover la



gobernanza en el manejo de los recursos destinados al cambio climático, mediante el establecimiento de mecanismos que permitan “conocer y rastrear con claridad qué recursos se reciben y destinan para acciones de mitigación y adaptación ante este fenómeno climático”. Con respecto a la adaptación, invita a los países miembros a fortalecer sus habilidades y capacidades para hacer frente a los impactos climáticos, protegiendo a las personas, sus medios de vida y los ecosistemas, en el corto y largo plazos. Nuestro país se comprometió a fortalecer la capacidad adaptativa de, al menos, el 50% de los municipios más vulnerables (Transparencia Mexicana A. C., 2017: 9).

México, como signatario de la CMNUCC, ha creado un complejo andamiaje institucional para hacer frente al cambio climático y cumplir con los compromisos asumidos en las diferentes COP. Con la aprobación de la Ley General de Cambio Climático en 2012, se estableció el contenido y alcances de la Política Nacional de Cambio Climático, la cual está formulada bajo los principios de precaución, prevención, corresponsabilidad Estado-sociedad, adopción de enfoques de integralidad y transversalidad, participación ciudadana, responsabilidad ambiental, transparencia y acceso a la información, justicia, conservación de ecosistemas, compromiso con la economía y el desarrollo nacional (Transparencia Mexicana A. C., 2017).

Este andamiaje institucional tiene sus bases en los estados. Así, el estado de Morelos, lugar en que se ubica el territorio de la cuenca del río Apatlaco, no es una excepción y cuenta con instrumentos normativos que impulsan el desarrollo de acciones en aras de diagnosticar y plantear acciones para reducir la vulnerabilidad frente al cambio climático.

De igual forma, la academia y la sociedad civil también aportan en la materia. El presente libro es una prueba de ello, al ser resultado del trabajo de un grupo de investigadoras



e investigadores que comparten la preocupación por abordar distintas facetas la problemática del cambio climático en la cuenca del río Apatlaco.

La amplitud de temáticas que abarca su contenido nos permite enriquecer el debate actual sobre los impactos del cambio climático en los territorios de las cuencas, en este caso particular referida a la del Apatlaco, desde diferentes perspectivas de investigación. Estamos convencidas de que la complejidad de las causas y efectos del cambio climático a escala regional no debe abordarse desde una sola línea temática; por tal motivo, las investigaciones están enfocadas desde diferentes ópticas, ya sea la hidrológica, ecológica, agrícola, ambiental o social, así como planteadas desde diversos campos metodológicos.

El material se organiza de tal suerte que, inicialmente, brinda un marco conceptual e institucional en materia de cambio climático, así como la caracterización general de la cuenca. Ambos artículos se constituyen un paraguas desde donde parten los demás, tanto en términos teóricos como territoriales. En seguida, se brindan contribuciones diversas, abordando las distintas aristas de los impactos del cambio climático en la cuenca del río Apatlaco.

En la primera contribución del libro, titulada “Una aproximación al marco conceptual, institucional y normativo relativo al cambio climático”, Denise Soares, Alejandra Peña y Edgar García reflexionan sobre los conceptos básicos asociados con el cambio climático y, a la par, realizan un breve recorrido por los marcos institucional y normativo que los sustentan, aportando una revisión sobre los arreglos legales e institucionales en la materia, prevalecientes en el país y en la cuenca del Apatlaco. En el capítulo reconocen el carácter polisémico de los conceptos y la complejidad que implica operacionalizarlos en políticas públicas que realmente apoyen a reducir los impactos



del cambio climático a escala local. Asimismo, plantean que el andamiaje institucional creado para atender al cambio climático por sí sólo no transforma las estructuras sociales que retroalimentan la vulnerabilidad de las poblaciones, en sentido integral, sino que hace falta generar una estrategia relacionada con el cambio climático mucho más amplia, que contemple atacar de fondo las causas que originan la vulnerabilidad, las cuales están enraizadas en las estrategias de desarrollo depredadoras de la base de recursos naturales e inequitativas.

En el capítulo intitulado “La cuenca del río Apatlaco”, Citlalli Astudillo Enríquez, Alejandra Peña García, María de los Ángeles Suárez Medina, Ernesto Aguilar Garduño y José Avidan Bravo Jácome presentan lo que constituye las bases geográfica, física y socioeconómica de la cuenca de estudio, para que a través de la identificación de sus características se visualicen sus condiciones, limitaciones y problemáticas, tanto en aspectos físicos como sociales. Con la descripción de las características particulares de la cuenca del río Apatlaco, como es su ubicación, clima, tipo de suelo predominante, asentamientos humanos y su dinámica, usos de agua y cobertura de servicios básicos, entre otras, es posible identificar espacios vulnerables a los efectos del cambio climático, así como distinguir capacidades, potencialidades y áreas de oportunidad para la mitigación y adaptación a la variabilidad climática en la cuenca, como podrían ser la implementación de tecnologías limpias, reúso de aguas tratadas, captación de agua de lluvia y otras que tendrían que empezar a ser visualizadas y consideradas por planeadores y tomadores de decisiones en los diferentes ámbitos de gobierno. Por tal razón, este capítulo es indispensable tenerlo en cuenta para los análisis más específicos que se desarrollan en los siguientes apartados del libro.

Desde la perspectiva hidrológica, Martín José Montero Martínez y Óscar Pita Díaz presentan la contribución “Homogeneización de datos y cálculo de índices de cambio



climático para la cuenca del río Apatlaco”. En dicho estudio exponen y discuten la perspectiva de los cambios en el clima de la cuenca del río Apatlaco, en el periodo 1949 a 2013. Sus resultados apuntan que las temperaturas máximas y mínimas extremas han tenido un reciente incremento en las últimas décadas. Sin embargo, los autores aseveran que no necesariamente dicho cambio es atribuible al calentamiento global, sino podría ser influencia de oscilaciones climáticas de baja frecuencia. Otro hallazgo relevante del capítulo es el indicio del incremento en temperatura en la zona urbana, cuyas explicaciones las ubican en dos rutas analíticas: fenómeno de isla de calor o diferencias en el tipo de terreno entre la zona rural y la zona urbana de la cuenca. Finalmente, en cuanto a precipitación, los autores plantean que las tendencias observadas relativas a su incremento no concuerdan, en absoluto, con las proyecciones estimadas por los modelos climáticos globales (GCM) para esta región del país, y concluyen que aún hay mucho que aprender y mejorar en las proyecciones generadas por estos GCM en variables complejas, como la precipitación, a fin de aumentar nuestro grado de confianza en sus estimaciones a escala regional.

Otra de las contribuciones que conforman esta obra es la de María Antonieta Gómez Balandra, Sergio Rodríguez Torres, Rubén Darío Hernández y María del Pilar Saldaña Fabela, con el trabajo que lleva por título “Caudal ecológico y reserva de agua para el río Apatlaco: hacia un enfoque adaptativo al cambio climático”. El análisis de variabilidad y tendencias de indicadores hidrológicos del régimen de caudal y de variables de cambio climático local que el trabajo aborda, aporta elementos de gran interés para el aprovechamiento estacional del agua y de conservación de los recursos naturales y ecosistemas. La escala de subcuenca y microcuenca resultó una aproximación analítica de gran valía, toda vez que, a pesar de ser el Apatlaco una cuenca altamente impactada por la urbanización, es posible encontrar secciones con baja alteración ecológica en las que podría ser viable una modificación a la clasificación del objetivo



ambiental actual, lo que resultaría en una mayor reserva anual de agua y mensuales de caudal ecológico. Los hallazgos del estudio invitan a la reflexión sobre el impacto de las urbanizaciones en los ríos: extracción, descargas, contaminación y cambios en el clima regional, que pongan en entredicho la viabilidad de los asentamientos humanos por el incremento de los riesgos asociados a la escasez o abundancia de agua.

También desde un enfoque hidrológico, el capítulo “Inundaciones en la cuenca del río Apatlaco: ¿efectos del cambio climático?”, autoría de José Avidan Bravo Jácome, Citlalli Astudillo Enríquez, Ernesto Aguilar Garduño y María de los Ángeles Suárez Medina aborda la identificación de las inundaciones en la cuenca, considerando componentes como el cambio en el régimen de los escurrimientos medios, de las precipitaciones y de cambio de uso de suelo. Se trata de una cuenca cuyos fenómenos hidrometeorológicos que entran al país por el Atlántico o por el Pacífico influyen indirectamente en la generación de precipitaciones intensas que favorecen el desbordamiento de las corrientes superficiales. Los resultados del análisis histórico ubican, en su justa dimensión, el peso de la urbanización y prácticas asociadas a ésta como la deforestación, cambio de uso de suelo y disposición de basura en los cauces, entre otras, para explicar el carácter e intensidad de los episodios de inundaciones de las últimas décadas en la cuenca que, de acuerdo con información de tormentas registradas por las estaciones meteorológicas automatizadas consideradas en el estudio, no se reportan incrementos en el número de inundaciones en un periodo de 15 años. El tema de la cultura del agua termina siendo crucial para entender las inundaciones en el Apatlaco, lo cual podría ser atendido de manera conjunta entre autoridades y sociedad civil, en lo que podría constituir una medida de adaptación planificada a corto plazo.

El aporte de Ramiro Vega Nevárez y Nora González Gurría a este libro es desde una perspectiva agrícola. “Tendencias de la frecuencia, duración e intensidad del periodo



húmedo y la canícula agronómica en los cultivos de temporal en la cuenca del río Apatlaco” es un estudio que parte del reconocimiento de que tres cuartas partes de la superficie agrícola de la entidad es de temporal, lo que de entrada hace altamente vulnerable a la actividad cualquier modificación de los regímenes de precipitación. Por eso la relevancia de estudiar el comportamiento de los periodos húmedos y la sequía intraestival, mejor conocida como “canícula”, en un lugar donde el principal cultivo es el maíz. Sin duda, el aporte más importante de Vega y González radica en detectar un ligero calentamiento y desecación de la cuenca, dado por el retraso tanto en los periodos húmedos como en los secos, que apunta a que los primeros tienden a ser más secos y los segundos más intensos y severos. Esta situación de alguna manera confirma y agudiza la ya de por sí vulnerabilidad existente en la actividad agrícola de temporal. Estos resultados, sin duda, constituyen un insumo de gran valor para aquellos tomadores de decisiones que están a cargo del diseño de políticas públicas de cambio climático para el campo, en la cuenca.

Desde la perspectiva ambiental, María del Pilar Saldaña Fabela, María Antonieta Gómez Balandra y Rubén Darío Hernández López nos ofrecen la contribución “Calidad del agua en la cuenca del río Apatlaco ante los efectos del cambio climático”. Las autoras y el autor analizaron la base de datos, proporcionada por la Comisión Nacional del Agua, de 26 estaciones de monitoreo de calidad del agua pertenecientes a Red Nacional de Monitoreo ubicadas en la cuenca del río Apatlaco, eligiendo variables susceptibles de cambio a partir del incremento en la temperatura del aire. A partir de los análisis realizados, concluyen con una aseveración de doble ruta: por un lado, que el efecto de la precipitación en la cuenca presenta una ligera tendencia en cuanto al aumento en el volumen de agua desde la cuenca alta hasta la baja, lo que podría estar generando un efecto de dilución, por lo cual se requiere dar continuidad al monitoreo del río Apatlaco para contar con una base de datos más robusta que permita identificar, en la



época de sequías, las alteraciones en la calidad del agua. Por el otro lado, plantean la necesidad de dar seguimiento al cumplimiento de la normatividad vigente en términos de efluentes, dado que un número elevado de estaciones de monitoreo tiene influencia del aporte de aguas residuales de plantas de tratamiento municipales, las cuales, por problemas de operación y mantenimiento, no llegan a cumplir con la normatividad.

Por otro lado, Gabriela Mantilla Morales y Norma Hernández Cruz nos presentan su experiencia titulada “Emisiones de gases de efecto invernadero de aguas residuales municipales en la cuenca del río Apatlaco”, donde comparten la estimación de las emisiones de los GEI generadas por las descargas de aguas residuales municipales en dicha cuenca, con el propósito de conocer el aporte generado debido al contenido de materia orgánica y a la forma de disposición de las aguas residuales. Las autoras concluyen señalando la necesidad de contar con diagnósticos de las condiciones de cada sitio, a fin de contar con información fidedigna del problema generado por no contar con una disposición adecuada. Añaden otra necesidad, la de analizar las condiciones reales de operación de la infraestructura de tratamiento para determinar y evaluar las estrategias de saneamiento de las localidades, no solamente en función de la mejora de la calidad del agua de los cuerpos receptores, sino también para determinar en qué medida se coadyuva con la disminución de las emisiones de los gases de efecto invernadero.

“Gestión local del agua para riego en la zona periurbana de Cuernavaca: apuntes para el diseño de políticas de cambio climático” es el título del trabajo de Cipriana Hernández Arce y Nora González Gurría, en el que ponen de manifiesto la vulnerabilidad social en dos zonas agrícolas de la cuenca fuertemente impactadas por la urbanización, así como las repercusiones de posibles cambios en el clima local en las zonas productivas próximas a la ciudad de Cuernavaca. Con técnicas de las ciencias sociales, se recaba



evidencia empírica de la que deriva información que permite discutir el rol de la actual situación organizativa, de gestión y hasta de percepción de los usuarios ante los problemas que han padecido con el agua, y cómo estos conforman una situación de vulnerabilidad ante los posibles impactos del cambio climático. De igual forma, el trabajo aporta evidencia sobre la manera en que se construyen los problemas públicos del agua, generando con ello desencuentros entre las visiones, estrategias y acciones gubernamentales y las sociales. Las autoras concluyen aseverando que la existencia de cambios importantes no esperados en el régimen de lluvias podría ser un detonante para generar conflictos en la zona. El reto es, en consecuencia, establecer estrategias de adaptación consensuadas y organizadas ante nuevos fenómenos, como el cambio climático.

Bajo el título “El arreglo institucional para la gestión del agua en la cuenca del río Apatlaco ante el cambio climático” Alejandra Peña García, Sergio Vargas Velázquez, Denise Soares y Lydia Meade Ocaranza se plantean, a partir de las experiencias de la Comisión Interinstitucional e Intersectorial para la Recuperación Ambiental de la Cuenca del río Apatlaco y el Plan Estratégico para la Recuperación Ambiental de la Cuenca del río Apatlaco, cómo generar un arreglo institucional exitoso para abordar el reto del cambio climático y sus impactos en la cuenca. Se reconoce que desde el enfoque de la Gestión Integrada de los Recursos Hídricos (GIRH) se han registrado avances en la manera de plantear la gestión integral de la cuenca considerando la participación social. No obstante, los avances son todavía insuficientes debido a la dificultad de conciliar visiones, intereses y prioridades. El mal funcionamiento de la comisión del Apatlaco, que ha dejado sin cumplir muchas de las acciones del plan estratégico, llevan a los autores a cuestionar cómo el entramado institucional y las políticas públicas relacionadas con el tema de cambio climático podría fortalecer la GIRH, así como plantear nuevos rumbos para la gestión del agua bajo nuevas realidades



derivadas de la variabilidad climática y de escenarios de cambio climático que exigen actuar, incorporando de manera efectiva la integración del territorio y la inclusión de formas locales de gestión del bien común, entre otros aspectos.

La contribución de Sergio Vargas Velázquez, Alejandra Peña García y Denise Soares, titulada “Urbanización y gestión del agua ante el cambio climático en el área metropolitana de Cuernavaca”, plantea que la aparente abundancia respecto a la disponibilidad de agua para la ciudad de Cuernavaca necesariamente tiene que ponerse bajo la perspectiva de cuenca, en lo territorialmente inmediato, donde la contaminación del agua es un problema apremiante y que puede mermar, a mediano plazo, su disponibilidad. Por ello no se debería desestimar que, de no atenderse los problemas de gestión hídrica desde una perspectiva integral, se podrían comprometer los hoy relativamente abundantes recursos hídricos del municipio de Cuernavaca. En este marco, argumentan que el concepto “justicia hídrica” se abre como una alternativa a la actual estrategia de gestión del agua en las ciudades, arguyendo sobre la necesidad de desarrollar políticas hídricas democráticas y estrategias de desarrollo sostenibles, orientadas a promover una distribución equitativa del agua, en vista de que el cambio climático obligará a las instituciones a estar preparadas para afrontar los cambios que se den en los sistemas hidrológicos regionales y locales.

Otra línea analítica del libro se refiere a la resiliencia de los sistemas urbanos frente al cambio climático. De hecho, Rabindranath Bahena Ayala, Felipe Ignacio Arreguín Cortés y Claudia Elizabeth Cervantes Jaimes nos brindan la contribución titulada “Resiliencia urbana al cambio climático. Caso de estudio: ciudad de Cuernavaca”, donde aseveran que, frente a las severas afectaciones del cambio climático en las ciudades, la construcción de la resiliencia es una alternativa para reinventar espacios urbanos que resistan los embates de fenómenos extremos, se adapten, recuperen



ante desastres y se preparen a fin de afrontar nuevos fenómenos. Para los autores, el incremento de la resiliencia urbana reduce las pérdidas humanas y económicas, permite que el desarrollo alcanzado no se vea interrumpido e, incluso, fomenta nuevas inversiones. Concluyen aseverando que “resiliencia” es la clave para cerrar la brecha entre la reducción del riesgo de desastre y la adaptación al cambio climático, por ser un concepto integral que busca la resistencia ante embates de agentes perturbadores, adaptación a cambios constantes y recuperación ante desastres naturales y antrópicos, manteniendo un nivel de funcionamiento aceptable, con una mejor preparación para el futuro y aprendiendo de eventos pasados.

Finalmente, en el artículo titulado “Índice de vulnerabilidad frente a inundaciones en la cuenca del Apatlaco. Un acercamiento desde las brechas de género”, Denise Soares, Roberto Romero, Anais Vermonden Thibodeau, Yusif Salib Nava Assad y Daniel Iura González Terrazas aportan una metodología para el análisis de la vulnerabilidad frente a inundaciones, la cual se compone por dos ámbitos complementarios: el hidroclimático, asociado a factores físicos y meteorológicos de la cuenca, y el de índole sociopolítico e institucional, donde se evidencian los factores que intervienen en la construcción de la vulnerabilidad frente a inundaciones; entre ellos, condiciones de desigualdad de género. Como resultado de la aplicación de la metodología en la cuenca del Apatlaco, los autores plantean dos cuestiones fundamentales: por un lado, las condiciones de vulnerabilidad de los municipios de la cuenca, las cuales deben ser tomadas en cuenta a la hora de diseñar programas para la atención a inundaciones y, por otro, la urgente necesidad de generar una mayor cantidad de información desagregada por sexo en los censos, dado que la escasa cantidad de variables relacionadas con las desigualdades de género no permite tener una evaluación concreta acerca del impacto diferenciado de las inundaciones entre mujeres y hombres. Concluyen argumentando que las brechas de género generan una mayor vulnerabilidad de las mujeres frente a inundaciones;



sin embargo, la carencia de indicadores de género, frente al elevado porcentaje de indicadores hidroclimáticos, no permite visibilizar cabalmente dicha situación. Por ello plantean que el gran desafío para las políticas públicas de cambio climático es generar información desagregada por sexo, a fin de que se pueda evaluar, a escala micro, las brechas de género y su impacto en la construcción de las distintas expresiones de vulnerabilidad.

La variedad de contribuciones que componen la presente obra ofrece al lector una amplia gama de aproximaciones disciplinarias, teóricas y metodológicas al estudio de la cuenca del río Apatlaco ante escenarios de cambio climático. Esto, a su vez, muestra la complejidad de las dimensiones existentes en el estudio de una cuenca vista como una producción social, en la que interviene el medio físico con sus dinámicas y procesos, así como una multiplicidad de actores sociales, instituciones, regulaciones y hasta discursos sobre la cuenca.

Si bien, en términos científicos el contenido de este libro puede servir para la discusión académica con la intención de ahondar los estudios y motivar nuevos enfoques, desde otro punto de vista puede constituir un insumo básico para los tomadores de decisiones, quienes están obligados a diseñar e implementar programas, estrategias y acciones a escalas locales, espacios donde radican los verdaderos retos a enfrentar en materia de cambio climático. En lo local urgen políticas de mitigación y adaptación encaminadas a reducir la vulnerabilidad social ya existente, que se magnifica ante cualquier estímulo externo, como lo es el cambio climático.

Como sociedad estamos frente al gran reto del cambio climático, pero también ante la gran oportunidad de hacer las cosas de manera diferente, desafiando las viejas maneras de hacer las cosas (*business as usual*). El mismo Panel Intergubernamental



del Cambio Climático (IPCC), en su *Quinto Reporte de Evaluación sobre la mitigación del cambio climático*, por lo menos en el discurso, ha anticipado una transformación profunda del *business as usual* (Alianza Clima y Desarrollo [Overseas Development Institute], 2014: 16). Esa declaración tiene que hacerse extensiva, por supuesto, a la adaptación, pero sobre todo a la vulnerabilidad, donde una verdadera transformación implique la manera de entender nuestra relación con el clima.

Por último quisiéramos, por una parte, agradecer a las/los autoras/es por sus contribuciones y, por otra, manifestar nuestra sincera gratitud al equipo dictaminador, proveniente de una serie de centros de investigación, el cual aportó significativamente al enriquecimiento de los trabajos recibidos. Nuestro reconocimiento a: Rodolfo García Fuentes (Cinvestav-Instituto Politécnico Nacional); Germán Santacruz de León, Edgar Talledos Sánchez, Briseida López Álvarez y Juan Alberto Velázquez Zapata (El Colegio de San Luis); María Verónica Ibarra García, Edgar García Maldonado y David M. Zermeño Díaz (Universidad Nacional Autónoma de México); Mónica Olvera Molina (Oxfam México); Antonio Rodríguez Sánchez (Instituto Mora), y Julia Elena Prince Flores y Mario Óscar Buenfil Rodríguez (IMTA). Asimismo, nuestro agradecimiento a Antonio Requejo (IMTA), por la corrección de estilo a las contribuciones.

Bibliografía

Alianza Clima y Desarrollo (Overseas Development Institute) (2014). *El Quinto Reporte de Evaluación del IPCC: ¿qué implica para Latinoamérica?* Resumen ejecutivo. Disponible en: <https://cdkn.org/wp-content/uploads/2014/12/INFORME-del-IPCC-Que-implica-para-Latinoamerica-CDKN.pdf>. Consulta: 28 de septiembre, 2018.



- García Maldonado, Edgar (2017). *Crítica a la idea de "crisis" del cambio climático. Una lectura política*. Tesis de maestría. Posgrado en Geografía. México: UNAM.
- Klepp, Silja y Chávez-Rodríguez, Libertad (2018). *A critical approach to climate change adaptation: discourses, policies and practices*. Londres, Nueva York: Routledge.
- Salazar, R.; Munguía Gil, M. T.; Fuertes Jara, A.; Fontecilla Carbonell, A. I.; Soares, D. y Méndez Cárdenas, G. (2010). *Aportes de las experiencias comunitarias a las estrategias de adaptación al cambio climático en México desde una perspectiva de género*. México: RGEMA, GWA.
- Sosa-Rodríguez, Fabiola S. (2015). Política del cambio climático en México: avances, obstáculos y retos. Realidad, datos y espacio. *Revista Internacional de Estadística y Geografía*. 6(2), pp. 4-23. Disponible en: http://www.inegi.org.mx/rde/rde_15/doctos/rde_15_art1.pdf. Consulta: 19 de junio, 2018.
- Transparencia Mexicana A. C. (2017). *Medición multidimensional de capacidad institucional a nivel municipal que fomente la adaptación al cambio climático*. Informe final. México: Semarnat-Inecc-PNUD.





UNA APROXIMACIÓN AL MARCO CONCEPTUAL, INSTITUCIONAL Y NORMATIVO RELATIVO AL CAMBIO CLIMÁTICO

Denise Soares, Alejandra Peña y Edgar García Maldonado



1.1. Resumen

Con base en una revisión bibliográfica sobre los temas sustanciales relacionados con el cambio climático, en este capítulo se proporcionan los conceptos básicos asociados con la materia, así como un breve recorrido por el marco institucional y normativo que lo sustenta, con su respectiva revisión sobre los arreglos legales e institucionales en la materia, prevalecientes en el país y en la cuenca del Apatlaco. De esta manera, abordaremos definiciones clave sobre clima, cambio climático, gases de efecto invernadero, calentamiento global, vulnerabilidad, adaptación, mitigación, amenaza y desastre. “Vulnerabilidad” se considera concepto eje en el debate, entendiendo que la reducción de las distintas expresiones de vulnerabilidad, a escala local, permitirá la implementación de estrategias exitosas de adaptación y reducción de riesgos de desastres derivados del cambio climático.

Palabras clave: cambio climático, marco legal, marco institucional, cuenca del Apatlaco.



1.2. Marco conceptual del cambio climático

Si queremos entender el cambio climático, el primer concepto a dilucidar es “clima”, dado que no raras veces ocurren confusiones al manejarlo como sinónimo de tiempo. Cuando nos referimos al estado de la atmósfera en un determinado día, semana o mes estamos haciendo mención al tiempo meteorológico, el cual se compone de las siguientes variables: humedad, temperatura, presión, precipitaciones y nubosidad en un momento y lugar establecidos. Por otro lado, al referirnos a “clima”, retomamos un conjunto de fenómenos meteorológicos, tales como temperaturas medias, precipitaciones medias y vientos dominantes que caracterizan el estado medio de la atmósfera durante un periodo de tiempo largo (alrededor de treinta años) en una región determinada. De tal suerte que el tiempo meteorológico caracteriza a la atmósfera de manera coyuntural y efímera, mientras que el clima refleja las tendencias resultantes de condiciones habituales durante un largo periodo. Para evaluar el clima y definir si nos encontramos o no frente al cambio climático, solemos utilizar dos variables principales: temperatura y precipitación. Mientras la temperatura es una variable que define a los climas cálidos y fríos, la precipitación es la que distingue a los climas húmedos de los secos (Sayds, 2011) (Benavides y León, 2007).

El cambio climático es un cambio del clima atribuido directa o indirectamente a la actividad humana, que altera la composición de la atmósfera mundial, como resultado del uso intensivo de la atmósfera como receptora de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI). La definición de cambio climático nos lleva a dos conceptos: calentamiento global y efecto invernadero. El calentamiento global se define como el aumento de la temperatura media global de la atmósfera terrestre y los océanos. La principal alteración que provoca este calentamiento es el efecto invernadero, el cual es un fenómeno natural que posibilita la vida en la Tierra, dado que una serie



de gases, conocidos como GEI, atrapan el calor del sol en los niveles inferiores de la atmósfera, lo que mantiene una temperatura media global que posibilita la vida (+15°C) y no la que prevalecería sin la acción de los gases (-18 °C), que impedirían la vida en general en el planeta. Sin embargo, el cambio en las concentraciones de los GEI afectan la absorción, dispersión y emisión de la radiación dentro de la atmósfera y en la superficie de la Tierra, provocando un sobrecalentamiento de la atmósfera al evitar que la energía solar recibida en la Tierra vuelva inmediatamente al espacio, produciendo a escala planetaria un efecto similar al observado en un invernadero, donde se puede condensar calor de manera artificial (IPCC¹, 2007) (Sayds, 2011).

Los GEI son componentes de la atmósfera, de origen natural o antrópico, que absorben y emiten radiación en determinadas longitudes de onda del espectro de radiación infrarroja emitido por la superficie de la Tierra, la atmósfera y las nubes. Los principales GEI son el vapor de agua (H₂O), el bióxido de carbono (CO₂), el óxido nitroso (N₂O), el metano (CH₄) y el ozono (O₃). Además de estos gases, el ser humano ha creado otros GEI, entre ellos los halocarbonos (compuestos que contienen cloro, bromo o flúor y carbono, los cuales actúan como potentes GEI en la atmósfera), el hexafluoruro de azufre (SF₆), los hidrofluorocarbonos (HFC) y

¹ La sigla IPCC se refiere al "Panel Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático", la cual está planteada desde el idioma inglés.



los perfluorocarbonos (PFC) (Benavides y León, 2007). El problema consiste en que los volúmenes de GEI, especialmente bióxido de carbono, emitidos durante los últimos 150 años de industrialización superan la capacidad de captura de la biosfera y el resultado neto es el aumento constante de las concentraciones de estos gases, que obstaculizan la emisión de energía hacia el espacio exterior y acrecientan el proceso natural del efecto invernadero (IPCC, 2007).

El cambio climático tiene un impacto negativo decisivo en las poblaciones humanas, al modificar los ciclos hidrológicos, los regímenes de lluvias y la temperatura media global; provocar el alza en el nivel del mar y los cambios en la ocurrencia e intensidad de los eventos hidrometeorológicos extremos, incrementando de esta manera el riesgo y la vulnerabilidad. Con ello, aumentan las amenazas sobre sus medios de sustento, salud y seguridad. Así, se afecta al cumplimiento de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS),² además de revertir los avances conseguidos en términos de reducción de la pobreza, derechos humanos, educación, salud e infraestructura, entre otros ámbitos. Es decir, las transformaciones en el clima están dando como resultado impactos económicos, sociales y ambientales importantes. Igualmente, existen evidencias de que los fenómenos climáticos y sus impactos asociados se intensificarán en el futuro (PNUD, 2008; IPCC, 2014; Cepal, 2017).

El cambio climático pone de manifiesto la vulnerabilidad social, dado que los desastres están asociados en gran medida a los niveles de vulnerabilidad. Por paradójico que pueda resultar, serán los países que producen menor cantidad de emisiones de GEI, aquellos que

² Los ODS son compromisos asumidos por los 193 Estados miembros de las Naciones Unidas, en la Cumbre de las Naciones Unidas para el Desarrollo Sostenible, los cuales constituyen la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible y deberán orientar las políticas nacionales y actividades de cooperación internacional en el periodo 2016-2030. Son 17 objetivos y 169 metas. El objetivo 13 es relativo a la "Acción por el Clima" (FAO, 2017).



tendrán sus sistemas naturales y humanos más severamente afectados, debido a sus medios de sustento menos seguros, dependencia de recursos naturales, marginación y mayor vulnerabilidad ante el hambre y la pobreza, entre otros (PNUD, 2008).

El concepto “vulnerabilidad” tiene un valor político relevante, por constituirse en una base operativa para el diseño de políticas sociales y de cambio climático. Por esta razón su análisis debe ser tomado en cuenta como factor clave que actúa en la conformación del riesgo ante posibles desastres y, como tal, ser incorporado en las estrategias de cambio climático.

Blaikie, Cannon, Davis y Wisner (1996) aportan al concepto “vulnerabilidad” un planteamiento donde se le compara con la pobreza y establece sus diferencias. Los autores afirman que la vulnerabilidad, al contrario de la pobreza, se construye y manifiesta en el contexto de una amenaza real, de tal suerte que el concepto siempre debe estar acompañado con la pregunta: ¿vulnerable a qué? Este planteamiento lleva a una conclusión importante, relativa a que las personas serán vulnerables en diferentes grados a diferenciadas amenazas, de tal suerte que una persona puede ser vulnerable a la pérdida de propiedad o de la vida por causa de inundaciones, pero no manifiesta vulnerabilidad ante fenómenos de sequía.

CARE Internacional (2010) asevera que la vulnerabilidad de las personas al cambio climático depende del carácter, magnitud e índice de la variación climática a que estén expuestas, así como de su capacidad para enfrentar los riesgos. En ese sentido, los conceptos “vulnerabilidad” y “capacidad adaptativa” deben abordarse de manera conjunta, como un binomio, pues el desarrollo de capacidades se considera la medida más eficiente para la reducción de las vulnerabilidades.



El concepto “adaptación” se ha ido afinando tanto en el ámbito académico como en sus acepciones más operativas. Para Buenfil Friedman (2009):

La capacidad de adaptación se define como la habilidad de un sistema para ajustarse al cambio climático (incluida la variabilidad del clima y sus extremos) y moderar daños posibles, aprovechar las oportunidades emergentes o enfrentarse a las consecuencias; por lo tanto, es el mecanismo fundamental para reducir la vulnerabilidad (p. 109).

Por su parte, el Panel Intergubernamental del Cambio Climático (IPCC) la define como:

Ajuste de los sistemas humanos o naturales frente a entornos nuevos o cambiantes. La adaptación al cambio climático se refiere a los ajustes en sistemas humanos o naturales como respuesta a estímulos climáticos proyectados o reales, o sus efectos, que pueden moderar el daño o aprovechar sus aspectos beneficiosos. Se pueden distinguir varios tipos de adaptación, entre ellas la preventiva y la reactiva, la pública y privada, o la autónoma y la planificada (IPCC, 2001, p. 77).

Por otro lado, la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (Semarnat) define el concepto “adaptación basada en comunidad” como “un proceso guiado por las comunidades y basado en sus prioridades, necesidades, conocimiento y capacidad que debe empoderar a las personas para planear y hacer frente a los impactos del cambio climático” (Semarnat, 2012, p. 33). Otros autores hablan de distintos tipos de adaptación, tales como anticipadora, reactiva, autónoma y planificada, en las que se resaltan los momentos y formas de planificar, en tanto que la adaptación privada, pública o la basada en comunidad aluden a los actores involucrados.

La adaptación anticipadora se produce antes de que se observen impactos del cambio climático y también se denomina “adaptación proactiva”, mientras que la adaptación planificada es resultado de una decisión política deliberada, basada en la comprensión de que las condiciones han cambiado o están por cambiar y de que se



requieren medidas para restaurar, mantener o lograr un estado deseado. En cuanto a la adaptación reactiva, ésta se produce después de haberse observado los impactos del cambio climático.

La adaptación reactiva o espontánea no debe desdeñarse, pues recupera prácticas y conocimientos tradicionales que, aunque no necesariamente responden a fenómenos directamente asociados al cambio climático, contribuyen a generar capacidades, a fortalecer el tejido social y la acción colectiva de las comunidades. Asimismo, la adaptación planificada y anticipadora hace uso de los avances en el conocimiento técnico y científico relativo al clima y sus cambios, haciendo posible prever algunos escenarios y tomar medidas para reducir los daños y, en su caso, aprovechar condiciones favorables, si las hubiere. De esta forma, la adaptación espontánea y la planificada son complementarias.

La adaptación y mitigación son estrategias complementarias para hacer frente al cambio climático. La mitigación se concibe como una intervención antrópica para reducir la alteración humana del sistema climático, la cual incluye estrategias para reducir las fuentes y las emisiones de GEI, y mejorar la remoción o la captura de dichos gases de la atmósfera (IPCC, 2007).

En lo que se refiere a las amenazas, las concebimos como fenómenos extremos, de origen natural o no, que actúan en un determinado espacio geográfico en un tiempo definido, con el potencial de causar daño a una población. Dado que estamos trabajando desde el eje del cambio climático, en este capítulo priorizamos las amenazas derivadas de dicho fenómeno, como pueden ser las inundaciones, sequías y deslizamientos de tierra, entre otras, las cuales por su ubicación, intensidad y frecuencia tienen elevada probabilidad de afectar adversamente a grupos sociales determinados, sus actividades



e infraestructura. Si bien solemos poner el apellido “natural” a algunas de las amenazas, es importante resaltar que el término “amenaza” contiene elementos sociales, dado que en regiones deshabitadas los fenómenos naturales no constituyen amenazas y tampoco conducen a desastres. De esa manera, es justamente el componente humano que convierte un fenómeno natural, como pudiera ser un huracán, en una amenaza natural (OEA, 1991).

Para acercarnos a la definición de desastres, retomamos a Wilches-Chaux (1993), quien lo concibe como:

... un evento identificable en el tiempo y en el espacio, en el cual una comunidad ve afectado su funcionamiento normal con pérdidas de vidas y daños de magnitud en sus propiedades y servicios, que impiden el cumplimiento de las actividades esenciales y normales de la sociedad (p. 12).

El autor añade que un desastre es una combinación de riesgo y vulnerabilidad, y que el riesgo se puede definir como “cualquier fenómeno de origen natural o humano que signifique un cambio en el medio ambiente que ocupa una comunidad determinada, que sea vulnerable a ese fenómeno” (Wilches-Chaux, 1993, p. 17).

De esta manera, hay un reconocido camino de doble vía donde los desastres impactan negativamente las opciones de desarrollo, y las modalidades de desarrollo explican el incremento de la vulnerabilidad y, consecuentemente, de los desastres. Como lo plantea Lavell (2005), existe una relación intrínseca entre desarrollo-desastre, en que el desastre es la antítesis del desarrollo; es decir, el riesgo es sinónimo de inseguridad y el desastre un reflejo de la insostenibilidad, y un avance en la solución del problema de los riesgos de desastres necesariamente tiene que pasar por consideraciones en los esquemas de planificación del desarrollo sectorial, territorial y ambiental, incluyendo la variable del cambio climático como fundamental en el incremento de los riesgos.



Para entender y resolver el problema de los riesgos, hay que conceptualizarlos como un círculo vicioso en donde hay que atender todos sus eslabones, a fin de romperlo. El círculo vicioso se concreta de la siguiente manera: los desastres son el resultado de riesgos, los riesgos son resultantes de estrategias de desarrollo que tienen repercusiones en la conformación de vulnerabilidades y amenazas, las amenazas a su vez constituyen factores de riesgo, los cuales pueden derivarse en desastres. En ese sentido el nexo desarrollo-degradación ambiental-vulnerabilidad-construcción de riesgo, nos remite a la noción de que la construcción de procesos sostenibles sólo tendrá cabida si se incorpora la gestión de riesgos como un componente de la planificación del desarrollo, en donde, desde luego, la prevención es la clave (Lavell, 2005).

Aspectos importante a considerar cuando hablamos de los conceptos relacionados con el tema de cambio climático, particularmente como materia de estudio académico y sus implicaciones en los aspectos prácticos como lo son el diseño e implementación de las políticas públicas, son el carácter político y económico del tema y su inevitable carga ideológica, ya que los conceptos están lejos de ser términos neutrales, así como tampoco lo son las instituciones y sus posturas con relación a los conceptos que utilizan. Al respecto, resulta ilustrativo recurrir a lo que ha sucedido con el concepto “adaptación al cambio climático”, en cuanto a la política.

El IPCC, integrado por un grupo de expertos, en su *Quinto Informe de Evaluación 2014* determinó el fin de las especulaciones sobre el cambio climático, señalando que el calentamiento del planeta es inequívoco, a decir por sus manifestaciones físicas: calentamiento de la atmósfera y el océano, disminución de volúmenes de hielo y nieve, concentraciones de GEI (IPCC, 2014). Pero no sólo eso, sino que por lo mismo, como



lo declaró el secretario general de las Naciones Unidas, António Guterres,³ el cambio climático significa una amenaza sin precedentes para la paz y la prosperidad.

Este diagnóstico validado por la ciencia, como garante de objetividad, ha dado pie a posturas políticas que se decantan por decisiones que dan mayor o menor relevancia a lo que se consideran los pilares de la política mundial de cambio climático: la mitigación y la adaptación.

La adaptación ha venido ganando terreno frente a la mitigación en las últimas décadas, a tal grado que se puede aseverar que ha devenido en un imperativo ante un clima en transformación (Schipper, 2006, pp. 83 y 91; Orlove, 2009, pp. 133-135). La Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC), creada en 1992, colocó el tema sobre la mesa ante el panorama que se vislumbraba con relación a la inminencia de que el planeta experimente cambios meteorológicos profundos, aun y cuando se consiguieran reducir las emisiones de GEI a escala mundial, en una proporción considerable (Parry, Arnell, Hulme, Nicholls y Livermore, 1998, p. 741). A la par, la ciencia ha planteado que la alteración de los patrones climáticos no es sólo un pronóstico de largo plazo, sino un conjunto de procesos en curso, lo cual sugiere que las acciones de mitigación no serán suficientes por sí mismas para evitar, o al menos moderar, los efectos adversos del cambio climático.

3 Palabras de António Guterres en una reunión sobre cambio climático y la agenda de desarrollo sustentable, sesión núm. 71 de la Asamblea General del 23 de marzo de 2017. Consulta: 23 de febrero de 2017, en: <https://www.un.org/sg/en/content/sg/statement/2017-03-23/secretary-generals-remarks-high-level-meeting-climate-change-and>

Los probablemente miles de documentos e investigaciones que existen en torno al tema de la adaptación al cambio climático, provenientes de distintas instancias y sectores, hablan de adaptación desde diferentes acepciones. Schipper (2006, p. 91), al analizar la trayectoria de las negociaciones en el seno de la CMNUCC, encuentra que la adaptación empieza a ser entendida como una estrategia política fundamental para promover el desarrollo, abandonándose la idea de adaptación como ajuste espontáneo que determinaría los límites sobre cuánto cambio climático podría ser tolerado, como inicialmente la CMNUCC la concebía.

Esto nos lleva a interesarnos en identificar de qué tipos de adaptación se está hablando en el tema cambio climático y qué tipo suscribe cada quien. Smit, Burton, Klein y Wandel (2000, p. 229) proponen que para entender la construcción del concepto se debe preguntarse: ¿quién es el sujeto o cuál es el objeto de la adaptación?, con el propósito de establecer qué actores, lugares o sistemas están involucrados en el proceso adaptativo; ¿adaptación a qué?, para definir específicamente qué estímulo climático detona la adaptación y, finalmente, ¿cómo se realiza la adaptación?, para precisar la vía mediante la cual se ejecuta dicha adaptación. Complementariamente, cabría la pregunta: ¿por qué debemos adaptarnos al cambio climático?, aludiendo al principio de causalidad y objetivo de la adaptación.

De acuerdo con una investigación llevada a cabo por Basset y Fogelman (2013, pp. 49-50), con base en una revisión exhaustiva de trabajos académicos publicados en revistas científicas sobre la adaptación, logran identificar tres tipos de ésta, cuyas características se muestran en el Cuadro 1.1.



Cuadro 1.1. Característica de cada tipo de adaptación, de acuerdo con Basset y Fogelman (2013).

Adaptación como ajuste	Adaptación como reforma	Adaptación como transformación
El clima es la fuente principal de la vulnerabilidad.	Concede una mayor importancia a las dimensiones política y social de la vulnerabilidad.	Parte del supuesto de que las causas estructurales de la vulnerabilidad son la base de todo plan de adaptación.
Privilegia las respuestas al cambio climático, al tiempo que margina las causas de la vulnerabilidad.	Coloca el riesgo en la sociedad y en los peligros biofísicos.	Se entiende que la sociedad está dividida en clases, géneros y razas, y es geográficamente diversa, por lo que unos grupos sociales y lugares son más vulnerables que otros.
Es políticamente conservadora, busca la preservación del status quo.	Trata de reducir la vulnerabilidad ocupándose de incrementar la capacidad de respuesta a través del desarrollo.	La vulnerabilidad es resultado de procesos que operan a múltiples escalas y, en cada una, deben superarse las barreras que impiden su reducción.
Su objetivo consiste en ajustarse a las condiciones que ha desestabilizado el clima, mediante un esquema de gestión de riesgos y retornar a un estado deseable de equilibrio.	Es reformadora porque trata de modificar los patrones que producen la vulnerabilidad, pero trabajando con las reglas del orden existente.	Es sinónimo de “cambio de régimen político”, porque plantea una transformación de las relaciones de poder para modificar la inercia de los acontecimientos.

Fuente: elaboración propia con base en Basset y Fogelman (2013).

Considerando la definición oficial de adaptación por parte del IPCC, contenida en el *Tercer Informe de Evaluación*:

4 En un ejercicio parecido, Pelling (2011) establece tres categorías similares, aunque con nombres distintos: resiliencia, transición y transformación.



Ajuste en los sistemas naturales o humanos en respuesta a estímulos climáticos previstos o a sus efectos, que mitiga los daños o explota oportunidades beneficiosas. Pueden distinguirse diversos tipos de adaptación: anticipadora y reactiva, privada y pública, autónoma y planificada... (IPCC, 2001, p. 77),

Resulta claro que la forma de entender adaptación al cambio climático queda encuadrada dentro del tipo de adaptación como ajuste. Ello implicaría, al transformar medidas asociadas a este tipo de adaptación en políticas públicas, subordinar la vulnerabilidad a la ocurrencia e intensidad de los elementos hidrometeorológicos, más que dirigirla a corregir los factores estructurales que la producen. Así, las medidas de adaptación tendrían primordialmente un carácter reactivo y recargarían en los individuos –actuando independientemente unos de otros– la responsabilidad final del proceso adaptativo.

Reducir la adaptación al cambio climático a una visión voluntarista de la sociedad, en donde los procesos sociales son reducidos a las decisiones de los individuos, así como poner el énfasis en las causas inmediatas de los desastres que descansan en los factores biofísicos del cambio climático, en lugar de hacerlo en los elementos estructurales de la sociedad que generan los riesgos al mismo, sin duda tiene implicaciones políticas conservadoras, como en su momento las tuvo la postura de la escuela de los desastres naturales hace más de treinta años (Basset y Fogelman, 2013, p. 45). Así, nuevamente estaríamos perdiendo la oportunidad de un replanteo profundo y de apostar a transformar, en todas las escalas, el modelo dominante de desarrollo.



1.3. Marco institucional y normativo del cambio climático

A escala mundial, el IPCC se ha posicionado como un órgano de referencia en materia de cambio climático, desde donde se evalúan y difunden los conocimientos científicos de avanzada relativos a este tipo de cambio, mismos que se tienen en cuenta por los países para diseñar e implementar instituciones, leyes y políticas públicas dirigidos a atender la problemática. De igual forma, en sus evaluaciones e informes se difunden metodologías, plantean líneas de políticas, posicionamientos y prioridades dado el carácter global del cambio climático, y bajo el entendido de que el éxito de las políticas públicas nacionales dependerá de la movilización global y de nuevas alternativas en los ámbitos de planeación, económico, tecnológico, desarrollo social, salud y educación, entre los más relevantes.

No hay que perder de vista que si bien el aumento de las temperaturas promedio en el ámbito mundial no es más que el parámetro más evidente de la veracidad del cambio climático, existe una infinidad de efectos biofísicos y socioeconómicos cuya ocurrencia y procesos requieren observación y estudio a escalas local y regional. Las políticas públicas, entonces, deben conocer y atender todo esto.

Por su parte la CMNUCC, adoptada en mayo de 1992 y ratificada un año después, tiene por objetivo de largo aliento estabilizar las concentraciones atmosféricas de GEI a un nivel que impida las peligrosas interferencias antrópicas con el sistema climático. Los países que la suscribieron hicieron compromisos bajo el principio de responsabilidades comunes, pero diferenciadas.

El cambio climático como verdad científica requiere la intervención de la esfera política para, primero, convertirla en un asunto de interés público y, segundo, en



políticas públicas de intervención. Ello implica la creación de marcos institucionales y normativos particulares que, en términos ideales, sean integrales y transversales; o bien, que se coordinen con los sectores relacionados, directa e indirectamente.

México es suscriptor de la CMNUCC, manteniendo con ello un posicionamiento político de apoyo a los argumentos científicos a favor de la existencia del cambio climático y sus causas antrópicas y de compromiso para reducir cuantitativamente sus emisiones de GEI, entre los más cruciales. La elaboración de documentos de planeación a escalas nacional y estatal, así como la elaboración de las comunicaciones de México con sus respectivos inventarios de emisiones, son otros de los compromisos contraídos.

Derivado de los acuerdos de la CMNUCC, se estableció celebrar anualmente la Conferencia de las Partes (COP, por sus siglas en inglés), reunión en la cual se llevan a cabo negociaciones para avanzar hacia el cumplimiento de los objetivos de la CMNUCC. De ellas, igualmente surgen lineamientos a ser implementados por los países miembros. Desde 1995, año en que se celebró la primera COP en Berlín, Alemania, México ha participado de manera activa y regular. Entre los resultados más significativos de estos episodios, en la COP 3 de 1997 se firma el Protocolo de Kyoto, pero entra en vigor hasta 2005, en la COP 11, celebrada en Montreal, Canadá. En la COP 12, celebrada en Nairobi, Kenya, se crea el fondo de adaptación al cambio climático, y en la COP 15 de Copenhague, Dinamarca, se define los montos de aportación de cada país. En la



COP efectuada en Cancún, México, se firma un acuerdo para establecer un programa de reducción de emisiones de GEI, legalmente vinculante. En Doha, Qatar, en la COP 18 del año 2012, se reconoce el fracaso internacional en la reducción de contaminación por carbono. En la COP 21 de París, Francia, se firma un acuerdo que establece el compromiso de las partes para limitar el calentamiento global en 2 °C, con respecto a la era preindustrial, reduciendo las emisiones de GEI a través de la mitigación, adaptación y resiliencia. Es importante recordar que los mecanismos aprobados en el Protocolo de Kyoto son el fundamento de las políticas públicas hacia el cambio climático en México, así como del resto de los países participantes en las COP (Salazar y Masera, 2010).

1.4. Política Nacional de Cambio Climático

En el contexto mundial, México se integra a la CMNUCC en 1992 y ratifica en 1993, adquiriendo compromisos vinculantes, entre los que se encuentran: realizar acciones de mitigación del cambio climático, crear programas que atiendan este problema, integrar inventarios nacionales de las emisiones de GEI y presentar información periódica sobre las medidas que se están adoptando y avances logrados en el país, mediante el informe *Comunicaciones Nacionales sobre Cambio Climático*.

Su participación activa en las COP motiva a la preparación de la Ley General de Cambio Climático (LGCC), una de las primeras existentes en el mundo. Dicha ley entra en vigor en 2012 y, entre lo más sobresaliente, contempla la creación del Fondo para el Cambio Climático con la intención de financiar acciones que ayudan a enfrentar el fenómeno.

La LGCC es desde entonces la principal herramienta de política nacional y su objetivo radica en regular, fomentar y posibilitar la instrumentación de la política nacional de cambio



climático. Asimismo, incorpora acciones de adaptación y mitigación con un enfoque de largo plazo, sistemático, descentralizado, participativo e integral (Semarnat, *DOF*, 2013).

Al tener un carácter general, la ley define particularmente las obligaciones de cada orden de gobierno: federal, estatal y municipal, otorgando a la Federación la responsabilidad de formular y conducir la política nacional de cambio climático. La LGCC también establece los instrumentos y mecanismos institucionales requeridos para implementar la política.

1.5. Instrumentos de política

En la LGCC se contemplan instrumentos de diversa índole: planeación, institucionales, financieros, regulatorios, técnicos, evaluación y vigilancia de la política de cambio climático. De los de planeación se desprende la Estrategia Nacional del Cambio Climático (ENCC) y el Programa Especial del Cambio Climático (PECC), de orden federal, así como los programas estatales de Cambio Climático y los planes de acción climática municipales (Pacmun), en el orden local.

Como arreglos institucionales se crean el Sistema Nacional de Cambio Climático y el Instituto de Ecología y Cambio Climático (Inecc), de los cuales se desprenden la Comisión Intersecretarial de Cambio Climático (CICC) y el Consejo de Cambio Climático (C3), que operan en lo federal. En la escala estatal están las comisiones estatales intersecretariales de Cambio Climático y no hay alguna institución del tipo para el orden municipal.

El Inecc, además de realizar y coordinar estudios de investigación científica, integra las Comunicaciones Nacionales que deben presentarse ante la CMNUCC. Esta dependencia también da seguimiento a las actividades del IPCC y difunde información



al respecto. La CICC coordina el trabajo entre dependencias y entidades del gobierno federal sobre el tema, y es a través del C3 que la Comisión recibe asesoría para la llevar a cabo estudios y proyectos.

Con respecto al Sistema Nacional de Cambio Climático, éste se integra por el Congreso de la Unión, las entidades federativas, el Inecc, la CICC, el C3 y las asociaciones de autoridades municipales con la intención de lograr la coordinación efectiva de los distintos órdenes de gobierno y la concertación entre los sectores público, privado y social. Su objetivo consiste en propiciar las sinergias necesarias para enfrentar, de manera conjunta, la vulnerabilidad y riesgos del país ante el cambio climático, así como establecer y priorizar acciones de mitigación y adaptación; los dos pilares de la política mundial de cambio climático.

Como instrumentos técnicos, la ley contempla el Registro Nacional de Emisiones, el Inventario Nacional de Emisiones, el Atlas Nacional de Riesgos y el Sistema de Información. En el ámbito federal, estos instrumentos se traducen en normas oficiales mexicanas; para las entidades federativas, en los inventarios estatales de emisiones y atlas estatales de riesgo y, para la escala local, el único instrumento con el que se cuenta son los atlas municipales de riesgos.

En el rubro de la evaluación, el instrumento que contempla la LGCC es la Coordinación de Evaluación del Inecc, y para los otros dos órdenes existen los procedimientos de evaluación del Programa Estatal y Municipal, respectivamente.

Finalmente, como instrumentos financieros, la ley establece el Fondo para el Cambio Climático en los tres órdenes gubernamentales, más los fondos estatales y la gestión de otros recursos para los municipios.



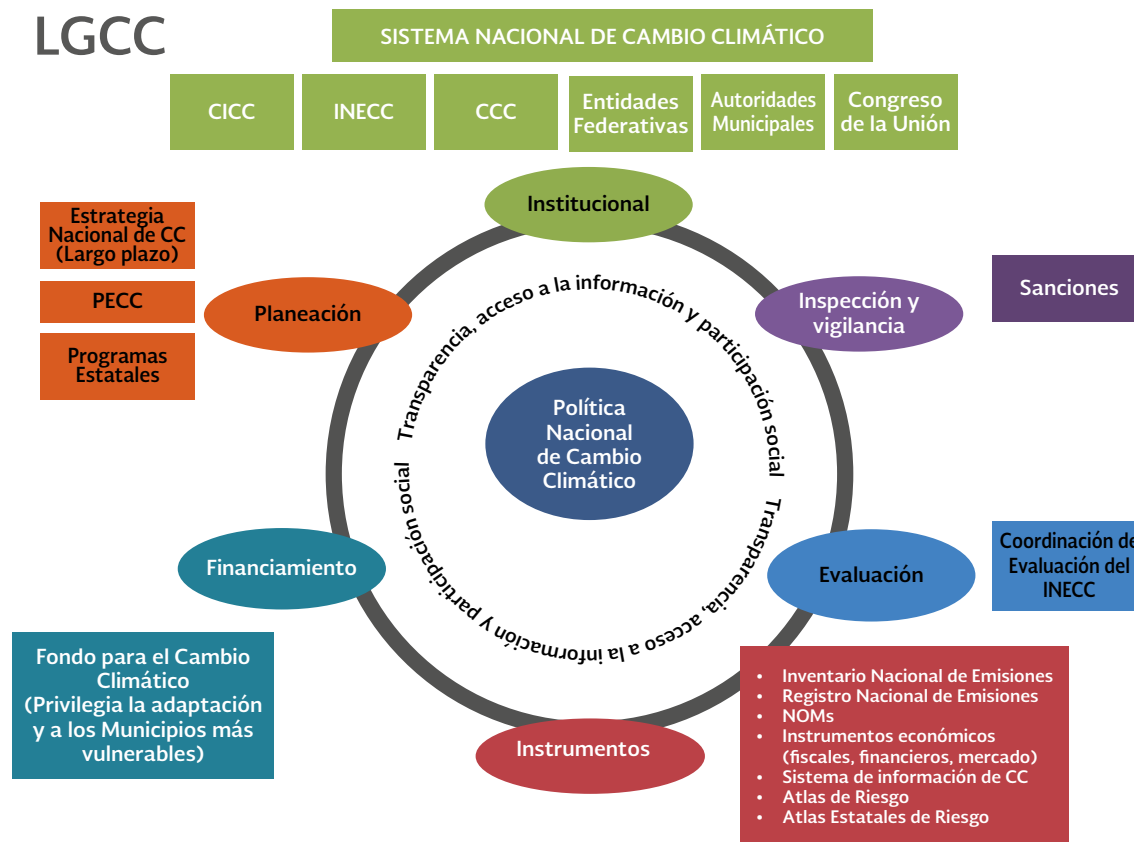


Figura 1.1. Instrumentos de política de cambio climático.

Fuente: Tomado del Programa Institucional del Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático 2014-2018 (Semarnat, 2014, p. 25).

1.6. Política pública

El Programa Especial de Cambio Climático 2014-2018 emana de la obligación emitida por la LGCC en su artículo 66, que además dispone que su elaboración estará a cargo de la Semarnat, con la participación y aprobación de la CICC y donde se establecerán los



objetivos, estrategias, acciones y metas para enfrentar el cambio climático mediante la definición de prioridades en materia de adaptación, mitigación e investigación; así como la asignación de responsabilidades, tiempos de ejecución, coordinación de acciones y de resultados, y estimación de costos, de acuerdo con la Estrategia Nacional de Cambio Climático.

El PECC 2014-2018 estuvo alineado con el Plan Nacional de Desarrollo 2013-2018, en su objetivo 4.4, que se refiere al “fortalecimiento de la política nacional de cambio climático y cuidado al medio ambiente para transitar hacia una economía competitiva, sustentable, resiliente y baja en carbono” (PECC, 2014, p. 44). El PECC ha identificado como factores prioritarios para México las tormentas y el clima severo, a los que calificó de impacto alto; mientras que los recursos hídricos, ecosistemas y biodiversidad los situó en impacto medio, y a la agricultura y regiones costeras como de impacto bajo.

Como respuesta lógica a los cambios en la política mundial de cambio climático, la versión del PECC vigente otorga a la adaptación una mayor relevancia y, en consecuencia, se refuerza la consideración a las dimensiones sociales y el estudio de la vulnerabilidad social, y hay una clara intención de hacer transversal el enfoque de género.

Esto último es muy importante si consideramos cuestiones estructurales de la desigualdad de género, como muestran los datos del informe *Proigualdad 2015-2018* (Inmujeres, 2016:

De los 4.2 millones de ejidatarios y comuneros en México, 19.8% son mujeres.



- Las mujeres ganan un 30.5% menos que los varones en ocupaciones industriales, 16.7% menos como comerciantes y 15.3% menos como profesionales
- De los poco más de 18 millones de personas ocupadas en el país que cuentan con trabajo formal, 62.3% son hombres y 37.7% mujeres.

Así, al no ser propietarias de la tierra, las mujeres no pueden acceder a programas de equipamiento, infraestructura, créditos y apoyos económicos por pago de servicios ambientales, entre otras cosas que reproducen y ahondan en las desigualdades existentes.

En cuanto a mitigación, el compromiso consiste en reducir 22% de emisiones de GEI y 51% de carbono negro para 2030; y con respecto a las acciones comprometidas en adaptación figuran: disminuir la vulnerabilidad en 160 municipios del país, fortalecer capacidades en comunidades locales, incrementar las acciones de protección y restauración de ecosistemas, lograr la tasa cero en deforestación y generar e implementar sistemas de prevención y alerta temprana ante eventos hidrometeorológicos extremos (IICA, 2017).

1.7. La agenda morelense de cambio climático

Como lo mandata el máximo instrumento de la política de cambio climático en México, las entidades federativas tienen la atribución de elaborar programas en materia de cambio climático, promoviendo la participación social. En ellos deben considerarse las acciones de mitigación y adaptación en congruencia con lo dispuesto en la ENCC: estrategias, políticas, directrices, objetivos, acciones, metas e indicadores a



implementarse, y que también que deberán ser afines con el Plan Nacional de Desarrollo y los programas de desarrollo estatales.

El estado de Morelos expidió, en marzo de 2015, el Programa Estatal de Acción ante el Cambio Climático de Morelos (Peaccmor), cuya integración y elaboración se llevó a cabo con consulta pública, de convocatoria abierta, y en la que participaron los sectores académico, privado, social, industrial y gubernamental, entre otros, contando, además, con la asesoría del Instituto de Ecología y Cambio Climático.

A la letra, el Peaccmor declara:

El Programa Estatal de Acción ante el Cambio Climático de Morelos es un instrumento de planeación que tiene por objeto coordinar e impulsar acciones públicas en el Estado de Morelos, para contribuir a las metas nacionales de mitigación y prevenir los riesgos e impactos previsibles del cambio climático, mediante el establecimiento de estrategias de adaptación; establece además, las bases conceptuales y científicas, así como el marco de acción que permitirá integrar y fomentar la participación de los sectores público y privado, además de la sociedad civil, en el diseño de estrategias de mitigación de emisiones de gases de efecto invernadero y adaptación frente a los impactos del cambio climático (Peaccmor, 2015, p. 5).

El programa estatal tiene, entre sus objetivos: brindar información técnico-científica para la planeación de políticas y acciones ante el cambio climático en sectores clave para el desarrollo de la entidad, establecer políticas públicas para la mitigación de emisiones de GEI, proponer orientaciones para la construcción de capacidades y estrategias de adaptación, y sentar las bases de información para prevenir y disminuir los posibles riesgos hacia la población ante los impactos esperados, entre otros. (Peaccmor, 2015, p. 135).

Como avance de los compromisos de México ante la CMNUCC, en su *Cuarta Comunicación Nacional*, y como parte del Programa de Acciones frente al Cambio



Climático, Morelos elaboró su primer *Inventario Estatal de Gases de Efecto Invernadero del Estado de Morelos*, realizado por un grupo de investigadores de la Universidad Autónoma del Estado de Morelos (UAEM) en 2013. En éste se consideran acciones por categoría, entre las que se hallan: energía, procesos industriales, uso de suelo, cambio de uso de suelo, silvicultura, agricultura y residuos. De igual forma, se ofrecen comparaciones respecto a la generación de GEI en el ámbito nacional y per cápita, se revelan fuentes clave de emisión para priorizarlas en atención a la estrategia de mitigación y se da información sobre la estimación de incertidumbres.

La metodología utilizada se basó en el cálculo acorde con las directrices del IPCC de 1996, y las buenas prácticas de 1997. Se tomó el 2005 como año base y el análisis además comprende los años 2007 y 2009 (IPCC, 1996a, 1996b, 1996c). En este esfuerzo, llevado a cabo por un grupo de trabajo integrado por académicos de la UAEM, se involucraron capacitadores expertos del Inecc, de la Embajada Británica en México y del Instituto Tecnológico de Estudios Superiores de Monterrey. Como asesores externos, se contó con expertos de asociaciones de la sociedad civil (Pronatura) y de la Universidad Nacional Autónoma de México.

Otras acciones emprendidas en la entidad son el Plan de Gestión de Carbono y la actualización del Peaccmor en lo referente a la mitigación de GEI. El primero, elaborado por la organización Carbon Trust, contribuye al objetivo de mitigar los efectos del cambio climático, a la reducción de la huella de carbono y a disminuir los costos energéticos que sus actividades actuales conllevan. El plan forma parte del Programa Estados Bajos en Carbono, en el que ahora participan sólo tres entidades federativas del país, iniciativa de Carbon Trust y el Fondo de Prosperidad de la Embajada Británica en México. El programa permite conocer los posibles ahorros de emisiones de carbono, así como los costos relacionados, y establece una estrategia y un plan de acción para



la reducción de las emisiones de carbono hasta el año 2020 en un 25%, con respecto al año base 2015. También identifica los beneficios tangibles e intangibles de gestión de carbono y describe los mecanismos de gobernanza para mantener el programa en marcha.

El estudio de actualización del Peaccmor, elaborado con apoyo de la Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional (USAID), actualiza el inventario de emisiones en sus diferentes categorías y genera escenarios base y de mitigación de GEI hacia el año 2030. Para cada medida se calculan costos de mitigación y se proponen estrategias para su implementación, medición y verificación.

A escala municipal, de acuerdo con la Secretaría de Desarrollo Sustentable del estado, los 33 municipios que conforman la entidad están inscritos en el programa para desarrollar los Pacmun, contando con el apoyo de esta secretaría, asistencia técnica e institucional del Inecc y el ICLEI-Gobiernos Locales por la Sustentabilidad, y financiado por la Embajada Británica en México en el periodo del 2011-2015. Sin embargo, aunque pareciera que Morelos está a la vanguardia en materia de planes de acción climática municipal, su implementación plantea retos y es algo aún en proceso.

No obstante todo el esfuerzo emprendido para generar un entramado institucional y legal robusto que responda a los retos que implica el cambio climático en México, a escala local es muy poco el conocimiento que se tiene en la materia, y la población poco sabe acerca de la existencia de políticas y programas orientados a atender el cambio climático. Sin duda, este esfuerzo tiene que materializarse en acciones donde la participación de la sociedad esté presente, considerando las problemáticas reales que las poblaciones rurales y urbanas sortean como impactos del cambio climático.



1.8. Conclusiones

En el presente trabajo se abordó la terminología asociada con el cambio climático, clima, GEI, vulnerabilidad, adaptación, mitigación y riesgos, reconociendo que son conceptos polisémicos; es decir, que tienen un significado diferente, de acuerdo con quien los use y que tienen una carga política al convertirse en política pública.

Para contrarrestar la problemática relacionada con el cambio climático, no basta con crear un robusto andamiaje institucional e incentivar el desarrollo de políticas públicas orientadas a promover medidas de adaptación, dado que ellas, por sí solas, no transforman las estructuras sociales que limitan el acceso a recursos de la población y definen su vulnerabilidad en un sentido integral, sino que hace falta incorporar estas medidas en una estrategia mucho más amplia relacionada con la prevención y preparación ante desastres, la planificación del uso de la tierra, la conservación del medio ambiente, el desarrollo social y los planes de desarrollo.

Además, dichas estrategias tienen que ser planeadas desde la racionalidad propia de las poblaciones que habitan los distintos municipios, desde su sistema de valores y cosmovisión. Ello obliga, necesariamente, a la revisión de las políticas en curso y al establecimiento de estrategias claras que ataquen de fondo las causas de los problemas, y que se basen, asimismo, en la capacidad de construir sociedades más justas, equitativas, con sentido de solidaridad y activando la participación y la corresponsabilidad social.

La política nacional de cambio climático tendría que partir del reconocimiento de la vulnerabilidad social existente en un país diverso, complejo y desigual, como México, para que mediante su robusto andamiaje legal e institucional, creado para atender



la problemática que representa el cambio climático a escalas nacional, regional y local, las estrategias para adaptarse y mitigar los impactos del cambio climático sean las adecuadas y realmente se aboquen a incidir en las estructuras que producen esa vulnerabilidad social. Estamos frente a una nueva oportunidad que, ojalá, no se desaproveche.

1.9. Bibliografía

- Basset, T. J. y Fogelman, C. (2013). Déjà vu or something new? The adaptation concept in the climate change literature. *Geoforum*, 48, pp. 42-53.
- Benavides, H. O. y León, G. E. (2007). *Información técnica sobre gases de efecto invernadero y el cambio climático*. Ideam–Meteo/008-2007 Nota Técnica. Colombia: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (Ideam). Subdirección de Meteorología. Consulta 7 de junio, 2018. <http://www.ideam.gov.co/documents/21021/21138/Gases+de+Efecto+Invernadero+y+el+Cambio+Climatico.pdf/7fabbbd2-9300-4280-befe-c11cf15f06dd>
- Blaikie, P., Cannon, T., Davis, I. y Wisner, B. (1996). *Vulnerabilidad: el entorno social, político y económico de los desastres*. La Red. Recuperado de http://www.desenredando.org/public/libros/1996/vesped/vesped-todo_sep-09-2002.pdf
- Buenfil Friedman, J. J. (2009). *Adaptación a los impactos del cambio climático en los humedales costeros del Golfo de México*. México: Semarnat/INE.
- CARE International (2010). *Manual para el análisis de aapacidad y vulnerabilidad climática*. Recuperado el 23 de julio de 2012 de: <http://www.care.org.pe/wp-content/uploads/2015/06/MANUAL-PARA-EL-ANALISIS-DE-CAPACIDAD-Y-VULNERABILIDAD-CLIMATICA1.pdf>



- Comisión Económica para América Latina y el Caribe (Cepal) (2017). *Síntesis de políticas públicas sobre cambio climático. Medidas de mitigación y adaptación al cambio climático en América Latina y el Caribe*. Cepal/Unión Europea, EUROCLIMA.
- Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA) (2017). *Agenda de Cambio Climático y Producción Agroalimentaria*. México: IICAC/GIZ/Sagarpa. Recuperado de: <http://climate.blue/wp-content/uploads/Presentaci%C3%B3n-de-la-Agenda-de-CC-y-PA-Taller-Indicadores-26-de-junio-2017.pdf>
- Instituto Nacional de las Mujeres (Inmujeres) (2016). *Informe de labores del Instituto Nacional de las Mujeres 2015. Avance de los objetivos del Programa Nacional para la Igualdad de Oportunidades y no Discriminación contra las Mujeres (Proigualdad) 2013-2018*. México: Inmujeres. Recuperado de: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/103663/Tercer_Informe_de_Labores_del_Instituto_Naciona_de_las_Mujeres_2015.pdf
- Lavell, A. (2005). Desastres y desarrollo. Hacia un entendimiento de las formas de construcción social de un desastre: el caso del huracán Mitch en Centroamérica. En: A. Fernández, (Comp.), *Comarcas vulnerables: riesgos y desastres en Centroamérica y el Caribe* (pp. 11-44). Buenos Aires: Editorial CRIES.
- Organización de Estados Americanos (OEA) (1991). *Desastres, planificación y desarrollo: manejo de amenazas naturales para reducir los daños*. Washington: OEA, USAID.
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) (2017). *FAO y los ODS. Indicadores: Seguimiento de la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible*. FAO.
- Orlove, B. (2009). The past, the present and some possible futures of adaptation. En: W. N. Adger, I. Lorenzoni, K. L., O'Brien (Eds.). *Adapting to climate change. Thresholds, values, governance* (pp. 131-163). Cambridge, United Kingdom: Cambridge University Press.
- IPCC (1996a). *Directrices del Panel Intergubernamental de Cambio Climático para los Inventarios Nacionales de Gases de Efecto Invernadero, versión revisada en 1996. Instrucciones para realizar el informe del Inventario de Gases de Efecto Invernadero*. Volumen 1. Londres.



- IPCC (1996b). *Directrices del Panel Intergubernamental de Cambio Climático para los Inventarios Nacionales de Gases de Efecto Invernadero, versión revisada en 1996. Manual de referencia para el Inventario de Gases de Efecto Invernadero. Volumen 3.* Londres.
- IPCC (1996c). *Directrices del Panel Intergubernamental de Cambio Climático para los Inventarios Nacionales de Gases de Efecto Invernadero, versión revisada en 1996. Libro de Trabajo para el Inventario de Gases de Efecto Invernadero. Volumen 2.* Londres.
- IPCC (2001). *Impactos, adaptación y vulnerabilidad, Tercer Informe de Evaluación. Resumen para Responsables de Políticas.* Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático. ONU, Pnuma. Recuperado de: <https://www.ipcc.ch/pdf/climate-changes-2001/impact-adaptation-vulnerability/impact-spm-ts-sp.pdf>
- IPCC (2007). *Climate Change. The Physical Science Basis: Working Group I Contribution to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.* Cambridge: Cambridge University Press.
- IPCC (2014). *El Quinto Reporte de Evaluación del IPCC. ¿Qué implica para Latinoamérica?* Alianza Clima y Desarrollo, CDKN, DFID, DGIS.
- Parry, M., Arnell, N., Hulme, M., Nicholls, R., y Livermore, M. (1998). Adapting to the inevitable, *Nature*, 395, 741.
- Pelling, M. (2011). *Adaptation to climate change. From resilience to transformation.* London-Nueva York: Routledge.
- Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo. (PNUD) (2008). *Guía recursos de género para el cambio climático.* México: PNUD.
- Programa Especial de Cambio Climático (PECC) (2014). *Programa Especial de Cambio Climático 2014-2018. Plan Nacional de Desarrollo.* Recuperado de: http://www.semarnat.gob.mx/sites/default/files/documentos/transparencia/programa_especial_de_cambio_climatico_2014-2018.pdf
- Programa Estatal de Acción ante el Cambio Climático de Morelos (Peaccmor) (2015). Cuernavaca: Poder Ejecutivo del Estado de Morelos. *Periódico Oficial* 5268 Segunda Sección-Tierra y Libertad.



- Salazar, A. y Masera, O. (2010). *México ante el Cambio Climático. Resolviendo necesidades locales con impactos globales*. México: UNAM. Recuperado de: <http://www.oikos.unam.mx/Bioenergia/images/PDF/CC/CC-General/DossierUCCS-CC10A.pdf>
- Schipper, E. L. F. (2006). Conceptual history of adaptation in the UNFCCC process, *Review of European, Comparative and International Environmental Law*, 15(1), 82-92.
- Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable de la Nación (Sayds) (2011). *Vulnerabilidad y adaptación al cambio climático para la gestión y planificación local (manual)*. Buenos Aires: Sayds.
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (Semarnat) (2012). *Adaptación al cambio climático en México, visión, elementos y criterios para la toma de decisiones*. México: Semarnat.
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (Semarnat) (2013). ACUERDO por el que se expide la Estrategia Nacional de Cambio Climático. México: *Diario Oficial de la Federación (DOF)*.
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (Semarnat) (2014). *Programa Institucional del Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático 2014-2018*. México: Semarnat/Inecc, Gobierno de la República. Disponible en: http://www.transparencia.inecc.gob.mx/transparencia/piinecc_inecc_2014-2018.pdf
- Smit, B., Burton, I., Klein, R. y Wandel, J. (2000). An anatomy of adaptation to climate change and variability. *Climatic Change*, 45(1), 223-251.
- Wilches-Chaux, G. (1993). La vulnerabilidad global. En: A. Maskrey, (Comp.). *Los desastres no son naturales* (pp. 11-44). Colombia: La Red, Tercer Mundo Editores.





CARACTERIZACIÓN DE LA CUENCA DEL RÍO APATLACO

Citlalli Astudillo, Alejandra Peña, María de los Ángeles Suárez, Ernesto Aguilar, y José Avidán Bravo



2.1. Resumen

Conocer las características particulares de una cuenca en sus diferentes aspectos permite establecer las condiciones, limitaciones y posibilidades de sus recursos naturales, así como las circunstancias sociales y económicas de las localidades que se ubican dentro de ella. En este capítulo se presenta la caracterización de la cuenca del río Apatlaco, cuyo contenido se centra en la descripción de las condiciones del clima, precipitación y temperaturas, escurrimientos en los cauces, uso de suelo de la región, número de habitantes y uso de los recursos hídricos que prevalecen en la cuenca. Esta caracterización proporciona las bases para visualizar e identificar los sitios de mayor vulnerabilidad ante el cambio climático, lo cual que se detallarán en capítulos posteriores.

Palabras clave: caracterización, cuenca Apatlaco, río Apatlaco.



2.2. Ubicación

La subcuenca del río Apatlaco pertenece a la cuenca del río Amacuzac, que forma parte de la Región Hidrológica No. 18, Río Balsas. Se localiza entre las coordenadas geográficas 19°12'40" y 18°36'40" latitud norte, y 99°09'40" y 99°21'00" longitud oeste, y tiene un área de aportación de aproximadamente 806 km², de los que el 88% pertenece al estado de Morelos, compartiendo el resto con el Estado de México y la Ciudad de México (Figura 2.1).

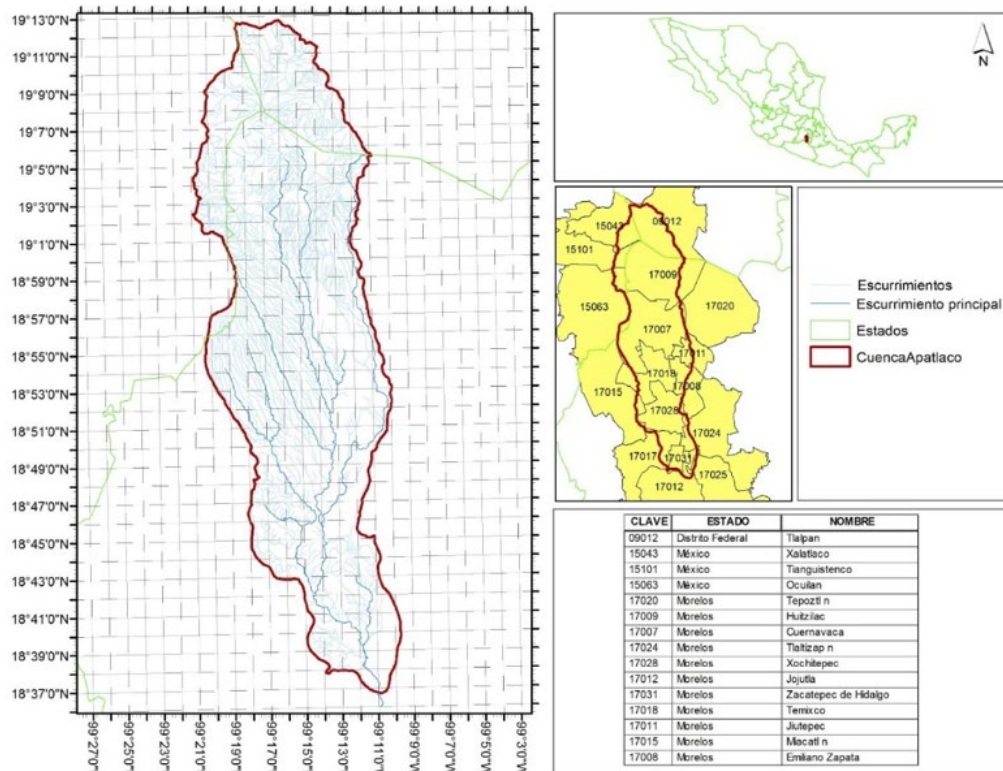


Figura 2.1. Cuenca del río Apatlaco.

Fuente: Inegi, 2010

Como se observa en la Figura 2.2, dentro de la cuenca se ubican tres grandes ciudades: Cuernavaca, Jiutepec y Temixco, y se localizan los municipios con el mayor ritmo de crecimiento en el estado: Cuernavaca, Jiutepec, Temixco, Xochitepec, Jojutla, Zacatepec y Tlaltizapán.



Figura 2.2. Cuenca del río Apatlaco.

Fuente: Inegi, 2010.



2.3. Marco demográfico y socioeconómico

La caracterización socioeconómica y demográfica de la cuenca del río Apatlaco podría ayudar a visibilizar y establecer los sitios de mayor vulnerabilidad, lo cual permite proponer y realizar acciones preventivas de mitigación y adaptación. Con este propósito se exponen, en este apartado, algunas de las características socioeconómicas y demográficas más relevantes de la población que habita la cuenca, a fin de reflexionarlas en un contexto de impactos del cambio climático.

De acuerdo con el Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC), en su *Informe de Síntesis* sobre las conclusiones de los tres Grupos de Trabajo al *Quinto informe de Evaluación* que, en sus palabras:

... es la evaluación del cambio climático más completa realizada hasta el momento por el IPCC, muchos de los cambios observados desde la década de 1950 no han tenido precedentes en los últimos decenios a milenios. El IPCC está hoy seguro con un 95% de certeza de que la actividad humana es actualmente la causa principal del calentamiento global (IPCC, 2014, p. v).

Para comprender la relación entre el cambio climático y la actividad humana es necesario el conocimiento a fondo de ambas partes del binomio, en el sentido de que las actividades humanas, en sus procesos sociales y económicos, han generado emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) constantes a lo largo de un periodo de tiempo y crecientes en las últimas seis décadas. Entonces, se hace indispensable exponer cuáles son las condiciones socioeconómicas de la población que han generado dicha situación.

Para este proyecto se trabajó en una delimitación ex profeso de la cuenca del río Apatlaco. De ello, resultó un territorio que comprende 17 municipios (Figura 2.3)



con porcentajes muy diferenciados tanto en superficie como en total de población: la delegación Tlalpan, de la CDMX, tres municipios del Estado de México y el resto del estado Morelos. Por su parte, Cuernavaca, Xochitepec y Zacatepec son los únicos tres municipios cuya superficie territorial dentro de la cuenca es superior al 90%. En contraparte, los municipios de Tepoztlán y Tlaquiltenango no alcanzan ni el 1% de superficie dentro de la cuenca (Cuadro 2.1).



Figura 2.3. Municipios.
Fuente: Inegi, 2010.



Debido a la utilización de otras escalas en la información vectorial del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (Inegi), la delimitación indicada anteriormente difiere, tanto en extensión territorial como en el número de municipios que comprende, de otras elaboradas para otros propósitos. En estudios previos (IMTA, 2007, 2008) se ha delimitado la cuenca considerando únicamente diez municipios de Morelos: Huitzilac, Cuernavaca, Emiliano Zapata, Jiutepec, Temixco, Xochitepec, Zacatepec de Hidalgo, Jojutla de Juárez, Tlaltizapán y Puente de Ixtla.

La delimitación de la cuenca para este proyecto utilizó información contenida en el Simulador de Flujos de Agua de Cuencas Hidrográficas, además de las curvas de nivel, modelos digitales de elevación y la red de corrientes con escala 1:50 000, por lo que se contemplan, además de los diez municipios mencionados, los municipios de Tepoztlán, Tlaquilténango y Miacatlán, pertenecientes a Morelos; Tianguistenco, Ocuilán y Xalatlaco, del Estado de México, y Tlalpan, de la CDMX. No obstante, para efectos de análisis socioeconómico de la cuenca, se contemplaron solamente los diez municipios considerados en la delimitación de la cuenca empleada por el IMTA (2007 y 2008¹), por ser los más significativos en los estudios que conforman este libro. Además, se incluyó a Tepoztlán como parte de la zona metropolitana (ZM) de Cuernavaca, y a Miacatlán y Tlaquilténango como parte de la ZM de Jojutla. Ambas ZM son dos de las tres concentraciones urbanas más significativas de la entidad y, en conjunto, suman el 62.8% de la población total de la entidad.

¹ La delimitación a la que nos referimos se dio en el contexto del Programa para la Recuperación Ambiental de la Cuenca del río Apatlaco, iniciativa del gobierno del estado de Morelos con la participación de la Comisión Nacional del Agua (Conagua), el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA) y los gobiernos de diez municipios del estado, así como con el apoyo de la Fundación Gonzalo Río Arronte y centros de enseñanza e investigación: Universidad Autónoma del Estado de Morelos y el Centro Regional de Investigaciones Multidisciplinarias de la Universidad Nacional Autónoma de México (IMTA, 2008).

Sin embargo, por la baja cantidad de territorio y de población de estos tres municipios en la cuenca, su contribución en el impacto de las variables socioeconómicas en la problemática del cambio climático es limitada.

Asimismo, se excluyó a la delegación Tlalpan de la CDMX, a pesar de tener el 27.18% de su territorio dentro de la cuenca, debido a que su dinámica socioeconómica está completamente desligada de la cuenca del Apatlaco. De igual forma, Tianguistenco, Ocuilán y Xalatlaco, que tienen más relación con Toluca que con los otros municipios de la cuenca.

El cambio climático se sitúa como un fenómeno de dimensiones complejas, resultado de las formas en las que la sociedad se relaciona con el ecosistema (García y Soares, 2017) en sus escalas global, regional o local. Las diversas variables que se incluyen en este apartado, tales como población, densidad de población, población económicamente activa, servicios, tasa de alfabetización e índice de marginación son las que se consideraron más ligadas a la problemática del cambio climático, ofreciendo cada una de ellas, información para determinar el grado de vulnerabilidad de la población ante el medio y cómo el comportamiento de estas fomentan cambios en su entorno.

2.3.1. Demografía

La dinámica demográfica de un espacio dado es relevante en varios sentidos. Conocer el número de habitantes, su distribución territorial (concentración/dispersión), los grupos de edad, tendencia y proyección de crecimiento son insumos básicos en la planificación de servicios básicos (salud, educación, alimentos, vivienda, agua potable, drenaje, saneamiento, electricidad), recursos (agua, suelo, aire) e infraestructura que



se requerirán para proveerlos. La base material (impacto al medio y presión a los recursos naturales) debe ser tomada en cuenta en la planificación urbana, a fin de no comprometer el bienestar de la población.

Cuadro 2.1. Población total, 2015.

Municipio	Entidad	Área total municipio km ²	Área del municipio en la cuenca km ²	Área del municipio en la cuenca (%)
Tlalpan	CDMX	312.853	85.029	27.18
Tianguistenco	Méx.	131.100	2.958	2.26
Ocuilán	Méx.	384.027	36.688	9.55
Xalatlaco	Morelos	107.667	24.455	22.71
Tepoztlán	Morelos	241.239	0.115	0.05
Temixco	Morelos	102.329	79.116	77.31
Cuernavaca	Morelos	198.768	191.686	96.44
Xochitepec	Morelos	92.841	90.181	97.13
Miacatlán	Morelos	214.557	10.327	4.81
Huitzilac	Morelos	188.186	147.862	78.57
Zacatepec	Morelos	26.214	23.774	90.69
Emiliano Zapata	Morelos	67.994	27.154	39.94
Jiutepec	Morelos	55.714	23.748	42.62
Jojutla	Morelos	152.918	10.399	6.80
Puente de Ixtla	Morelos	296.541	31.758	10.71
Tlaltizapán	Morelos	237.534	16.683	7.02
Tlaquiltenango	Morelos	542.135	4.357	0.80

Fuente: elaboración propia, con base en el Inegi, 2016.

Como nota metodológica aclaratoria, es preciso señalar que para obtener la participación territorial de los municipios en la cuenca fue necesario tomar en cuenta el porcentaje de territorio localizado dentro de cada una de las cuencas, además de verificar si la cabecera municipal formaba parte de dicho territorio. Con base en lo anterior, se estimó el porcentaje de participación poblacional. Los criterios definidos se indican en el Cuadro 2.2.

Cuadro 2.2. Criterios para estimar el porcentaje de participación poblacional en cada cuenca.

Criterio con respecto al municipio	Prop. Pobl. (%)	Descripción
No participa en la cuenca	0	El municipio no se localiza dentro de la cuenca
Con cabecera municipal	30	Menos del 10% del territorio y la cabecera municipal
Con cabecera municipal	50	Del 11 al 29% del territorio y la cabecera municipal
Con cabecera municipal	60	Del 30 al 39% del territorio y la cabecera municipal
Con cabecera municipal	70	Del 40 al 49% del territorio y la cabecera municipal
Con cabecera municipal	80	Del 50 al 69% del territorio y la cabecera municipal
Con cabecera municipal	90	Del 70 al 99% del territorio y la cabecera municipal
Con cabecera municipal	100	Incluye la totalidad del municipio
Sin cabecera municipal	2	Menos del 10% del territorio sin la cabecera municipal
Sin cabecera municipal	10	Del 11 al 29% del territorio sin la cabecera municipal
Sin cabecera municipal	20	Del 30 al 49% del territorio sin la cabecera municipal
Sin cabecera municipal	40	Del 50 al 69% del territorio sin la cabecera municipal
Sin cabecera municipal	50	Del 70 al 99% del territorio sin la cabecera municipal



La población se ha concentrado en la ZM Cuernavaca de manera importante en los últimos cuatro años (1 000 hab/km²). En la ZM de Jojutla, la concentración ha sido mucho menor (100 hab/km²) (*Programa Estatal de Población de Morelos, 2016, p.14*).²

Cuadro 2.3. Población total, 2015.

Municipio	Población 2015	% de población en la cuenca	Población en la cuenca ²
Cuernavaca	366 321	100.00	366 321
Emiliano Zapata	99 493	94.00	93 524
Huitzilac	19 231	89.61	17 233
Jiutepec	214 137	94.74	202 873
Jojutla	57 121	55.24	31 554
Puente de Ixtla	66 435	35.81	23 790
Temixco	116 143	96.03	111 846
Tlaltizapan	52 110	91.86	47 868
Xochitepec	68 984	36.98	25 510
Zacatepec	36 159	99.15	35 852
Miacatlán	26 713	2.00	534
Tepoztlán	46 946	30.00	14 084
Tlaquiltenango	33 844	30.00	10 153
Total	1 203 637	88.32	981 142

Fuente: elaboración propia, con base en el Inegi (2016) e IMTA (2007).

De acuerdo con los datos de la Encuesta Intercensal 2015 del Inegi, la población en el estado de Morelos es de 1 903 811 habitantes. En los 13 municipios que participan en la cuenca, la población total es de 1 203 367, de los cuales se estima que 981 142 están asentados en el área de la cuenca del río Apatlaco (Cuadro 2.3), ya que no en

² Cálculo con base en el dato de proporción de población de cada municipio en la cuenca (IMTA, 2017).

todos los casos el total del territorio de los municipios forma parte de la delimitación de la cuenca. Se considera que el 88% de la población de estos municipios se ubica dentro de la cuenca, lo que representa el 52% del total del estado. A partir de estos datos, se puede decir que la cuenca del Apatlaco presenta una alta concentración poblacional.

La densidad de población en la cuenca asciende a 1 493 hab/km², frente a una densidad de población estatal de 385 hab/km². Cuernavaca y Jiutepec se encuentran entre los municipios con mayor población en términos absolutos; en Morelos, el tercero es Cuautla. Juntos concentran el 40.7% de los habitantes del estado. En el 2015, Emiliano Zapata, con 3.8%, Xochitepec 2.7% y Atlatlahucan 3.3% fueron los municipios con la mayor tasa de crecimiento. Contrariamente, Cuernavaca, Zacatepec y Jojutla se encuentran entre los que presentaron las tasas más bajas, con el 0.2, 0.7 y 0.8%, respectivamente (Inegi, 2016).

A escala de la cuenca se tiene que tres municipios están por arriba de la edad mediana del estado: Cuernavaca, con 32 años, y Zacatepec y Jojutla con 30; y por debajo de la edad media, Puente de Ixtla, con indicador de 26 años. Los contrastes en este indicador se deben a que los municipios se ubican en distintas etapas de la transición demográfica, definidas por los grados de natalidad y mortalidad.

La cuenca es cada vez más urbana, ya que Cuernavaca y Jiutepec presentan un continuo urbano significativo (Meade, 2017, p. 41). Los datos de población muestran una situación de creciente urbanización en la cuenca, sobre todo alrededor del municipio de Cuernavaca, la mayor concentración urbana de la entidad. Por ende, la concentración de los sectores productivos y la demanda de los servicios también se registran en esta zona.



2.3.2. Economía

Una variable fundamental en cuanto a la economía de una entidad es la Población Económicamente Activa (PEA), que indica la población ocupada en las actividades productivas formales. Indirectamente, también hace referencia a la capacidad existente para emplear a quienes están en edad de trabajar y a los sectores de ocupación de la fuerza laboral de una zona geográfica determinada.

Las oportunidades de trabajo dependen de las actividades económicas predominantes en cada municipio. Del 84.43% de la población económicamente activa asentada en la cuenca, 440 640 habitantes (Cuadro 2.4) se concentra en actividades de los sectores secundario y terciario, predominando en los municipios de Cuernavaca, Jiutepec, Emiliano Zapata y Temixco. En menor proporción se encuentra el sector primario, que se concentra en los municipios rurales, en la cuenca alta y, en cada vez menor proporción, en la conurbación de Cuernavaca y Jiutepec, donde hay actividades que han resistido el embate de la urbanización.



Cuadro 2.4. PEA, población ocupada y su distribución porcentual, según división ocupacional, 2015.³

Municipio	PEA		Ocupada		Sector de actividad económica			
	Total	%	Total	%	Primario	Secundario	Comercio	Servicios
Estado	802 843	53.05	766 564	95.48	9.61	21.91	18.78	48.52
Cuernavaca	169 218	55.58	161 323	95.33	0.83	17.63	18.90	61.00
E. Zapata	43 701	56.32	41 931	95.95	3.14	29.17	18.77	48.21
Huitzilac	8 365	55.86	8 124	97.12	13.07	20.79	15.58	48.93
Jiutepec	98 431	57.21	93 875	95.36	2.23	26.65	19.58	50.84
Jojutla	24 254	52.45	23 049	95.04	7.97	16.97	21.29	52.96
P. de Ixtla	24 296	48.33	23 542	94.44	10.53	26.96	20.17	40.28
Temixco	47 504	52.76	45 364	95.43	3.65	24.74	20.68	49.76
Tlaltizapan	19 723	48.23	18 844	95.54	14.99	24.92	16.21	42.83
Xochitepec	28 275	52.90	26 647	94.24	5.65	24.51	18.98	49.56
Zacatepec	14 218	48.73	13 514	95.06	4.29	21.80	20.72	51.99
Miacatlán	10 349	49.62	9 795	94.65	26.54	20.24	14.60	37.62
Tepoztlán	20 603	54.85	19 954	96.85	11.58	25.67	14.67	46.92
Tlaquiltenango	12 963	47.56	12 102	93.36	19.46	20.57	14.87	43.38

Fuente: *Tabulados de la Encuesta Intercensal* (Inegi, 2015).

³ Los datos son los reportados por el INEGI para la totalidad de cada municipio, no para la proporción de población que participa en la cuenca.



2.3.3. Acceso a los servicios

En este apartado se contemplan servicios educativos, de salud y los relativos a la vivienda. En su conjunto, la situación de los mismos muestra la resiliencia y la vulnerabilidad de la población a efectos derivados del cambio climático. De ahí su relevancia.

Niveles educativos altos significan una mayor capacidad de adaptación a riesgos y cambios fuertes, mientras que bajos niveles educativos o inexistentes hablan de condiciones desfavorables para lidiar con ellos. El acceso a los servicios de salud es de suma importancia, debido a que su falta de acceso empuja a la población que la sufre a condiciones de vulnerabilidad social ante otros actores sociales y fenómenos externos de índole ambiental, como los que plantea el cambio climático.

Las tasas de alfabetización indican el porcentaje de población que sabe leer o escribir en una determinada edad o grupo de edad. Los datos de el Cuadro 2.5 muestran porcentajes por arriba del 98%, a excepción de Temixco y Puente de Ixtla para el grupo de población de 14 a 25 años; es decir, población que forma parte de la PEA o que en pocos años lo hará. Estos porcentajes disminuyen significativamente en edades de 25 años o más, lo que indica la existencia de población que no tiene las herramientas mínimas necesarias de instrucción. Nuevamente, los datos más bajos los registran los municipios menos urbanizados, como Puente de Ixtla, Miacatlán, Tlaltizapán y Tlaquiltenango.



Cuadro 2.5. Distribución porcentual de educación y salud en la cuenca del Apatlaco, 2015.⁴

Municipio	Tasa de alfabetización 14 a 24 años	Alfabeta	Analfabeta	Población afiliada a servicios de salud (incluye filiaciones múltiples)			
				Total	Seguro Popular	IMSS	Issste
Estado	98.5	94.3	4.96	84.1	59.0	32.3	8.5
Cuernavaca	99.0	96.55	2.77	81.6	39.2	46.7	11.6
E. Zapata	98.9	94.38	4.83	84.8	53.5	32.9	6.0
Huitzilac	98.8	95.97	3.43	82.9	73.8	17.7	8.7
Jiutepec	98.7	96.34	3.27	86.3	37.0	56.3	6.8
Jojutla	98.5	94.17	5.16	87.5	57.5	32.9	10.6
P. de Ixtla	97.2	90.32	8.02	87.0	75.0	20.5	5.2
Temixco	95.8	93.51	5.87	84.7	66.0	26.8	6.4
Tlaltizapan	98.1	92.54	6.54	86.5	61.1	33.4	6.5
Xochitepec	98.1	93.87	5.44	87.6	64.9	26.0	6.1
Zacatepec	98.3	95.16	3.48	85.7	42.2	47.1	12.8
Miacatlán	98.2	90.16	9.23	89.5	85.9	11.0	4.8
Tepoztlán	98.8	94.52	4.65	80.3	72.3	20.6	6.9
Tlaquiltenango	98.3	92.46	6.57	87.6	61.4	27.5	9.6

Fuente: elaboración propia con datos de: Tabulados de la Encuesta Intercensal (Inegi, 2015) y Panorama sociodemográfico de Morelos 2015. (Inegi).

⁴ Los datos son los reportados por INEGI para la totalidad de cada municipio, no para la proporción de población que participa en la cuenca.



En cuanto al acceso a los servicios de salud, los porcentajes de población que no cuentan con los servicios no alcanzan el 90% en ningún caso, y tampoco son inferiores al 80 por ciento.

Llama la atención que los porcentajes de filiación al Instituto Mexicano del Seguro Social (IMSS) y al *Instituto de Seguridad y Servicios Sociales de los Trabajadores del Estado* (Issste), mismos que en la mayoría de los casos no alcanzan el 50%, podría estar indicando falta o informalidad de empleo (flexibilización laboral). El Seguro Popular tiene un significado relevante en la cuenca, como se aprecia en el Cuadro 2.4. Sin embargo, aunque en términos estadísticos estos indicadores se muestren positivos, valdría la pena medir en términos de cobertura, accesibilidad y calidad del servicio.

La dupla salud y educación son de especial relevancia en el contexto de cambio climático, toda vez que son indicadores de pobreza, por lo que disminuir el rezago educativo en la cuenca y llevar seguridad social a toda la población de ésta podría sentar las condiciones para afrontar de una mejor manera el cambio climático.

En cuanto a los servicios básicos de vivienda, es un hecho que la creciente urbanización en la cuenca genera, a su vez, una creciente demanda de servicios básicos.

En Morelos, en 2015, la disponibilidad del servicio de energía eléctrica en las viviendas particulares habitadas tenía una cobertura total del 99.3%. En la cuenca, nueve de los 13 municipios tienen coberturas iguales o superiores al 99%; el resto se ubica ligeramente por debajo de ese porcentaje (Cuadro 2.6).



Cuadro 2.6. Acceso a servicios en viviendas particulares habitadas, 2015.⁵

Municipio	Viviendas particulares habitadas	Electricidad %	% Con Agua entubada dentro de la vivienda	% Con drenaje conectado a la red pública
Estatal	523 984	99.30	61.5	92.7
Cuernavaca	107 190	99.70	88.77	98.84
E. Zapata	27 289	99.90	66.97	98.76
Huitzilac	4 928	99.00	49.43	95.94
Jiutepec	60 509	99.60	80.99	99.21
Jojutla	16 503	99.40	67.04	98.05
P. de Ixtla	16 802	98.40	54.89	96.71
Temixco	30 363	99.40	62.37	98.93
Tlaltizapan	14 521	98.50	45.91	97.35
Xochitepec	18 527	98.70	54.83	97.23
Zacatepec	10 444	99.40	74.91	98.95
Miacatlán	7 092	99.30	26.40	95.50
Tepoztlán	13 008	98.8	42.9	93.4
Tlaquiltenango	9 507	99.4	46.9	96.9
Total	336 683			

Fuente: elaboración propia con base en los *Tabulados de la Encuesta Intercensal* (Inegi, 2015) y *Panorama sociodemográfico de Morelos 2015* (Inegi).

⁵ Los datos son los reportados por INEGI para la totalidad de cada municipio, no para la proporción de población que participa en la cuenca.



La relativa homogeneidad que se presenta en el servicio de electricidad muestra sus marcadas diferencias en cuanto a la cobertura de agua entubada y drenaje, donde son principalmente los municipios rurales del alto Apatlaco los que poseen menores proporciones de agua entubada dentro de la vivienda. En drenaje, los porcentajes son altos, en general. Ninguno de los municipios baja del 95%, a excepción de Tepoztlán, con 93.4%. Lo necesario a tener en cuenta en este caso es que las coberturas hacen referencia al tendido de la infraestructura, más no a la existencia real del servicio; es decir, que esos tubos pueden no estar conectados al drenaje municipal, sino ir a parar a los cauces de corrientes superficiales de agua y barrancas.

En un contexto de cambio climático los servicios de agua potable, drenaje y saneamiento son clave por la estrecha relación que guardan con factores como salud y el bienestar general de la población. Por ello, en el subsector agua potable y saneamiento el reto es complejo, ya que se requiere de una gestión sustentable del recurso agua para brindar servicios completos de calidad.

Se requiere dar acceso a comunidades y grupos de población que aún no cuentan con éste, como las zonas conurbadas de Cuernavaca y los espacios rurales. También, hay que considerar la población turística flotante que se recibe en Cuernavaca y que va en busca de espacios acuáticos para la recreación, por la derrama económica que representa para la cuenca y la entidad.

Las carencias de acceso al servicio de drenaje y el saneamiento es importante por los efectos negativos que el descargar aguas negras tiene en el medio; principalmente en el caso de la cuenca, para las barrancas.



Finalmente, y como síntesis de algunos indicadores arriba expuestos, se encuentra el grado de marginación en la cuenca, que hace alusión a situaciones de carencia y desventaja para ciertos grupos de población.

Cuadro 2.7. Índice y grado de marginación por municipio, 2015.⁶

Municipio	Índice de marginación	Grado de marginación	Lugar que ocupa en el contexto estatal (total 33 municipios)
Cuernavaca	-1.674	Muy bajo	33
E. Zapata	-1.144	Muy bajo	29
Huitzilac	-0.748	Bajo	22
Jiutepec	-1.761	Muy bajo	32
Jojutla	-1.078	Muy bajo	28
P. de Ixtla	-0.688	Bajo	19
Temixco	-1.044	Bajo	27
Tlaltizapan	-0.729	Bajo	20
Xochitepec	-0.865	Bajo	25
Zacatepec	-1.423	Bajo	31
Miacatlán	-0.396	Medio	7
Tepoztlán	-0.601	Bajo	15
Tlaquiltenango	-0.747	Bajo	21

Fuente: Cuadro B.17. Morelos: Población total, indicadores socioeconómicos, índice y grado de marginación y lugar que ocupa en el contexto nacional y estatal por municipio, 2015 (Conapo, 2015, p.184).

⁶ Los datos son los reportados por el Consejo Nacional de Población (Conapo) para la totalidad de cada municipio, no para la proporción de población que participa en la cuenca.



El índice de marginación del Conapo muestra el grado de carencias asociadas con las dimensiones de analfabetismo, empleo, servicios públicos y materiales de construcción de la vivienda. En este indicador, los municipios de la cuenca se encuentran entre los más altos del estado; es decir, entre los menores grados de marginación de la entidad, siendo Cuernavaca y Jiutepec los mejores posicionados con un grado de marginación “Muy bajo” (Cuadro 2.7). Estos muy bajos grados de marginación son compartidos con Emiliano Zapata y Jojutla, en una cuenca donde el resto de los municipios tiene “Bajo” grado de marginación. Solo el municipio de Miacatlán presenta un grado de marginación “Medio”.

2.4. Marco ambiental

Conocer las características ambientales de la cuenca del río Apatlaco permite visualizar la situación actual que impera en ella, lo que ayudará a identificar las causas y consecuencias de la problemática existente con relación a los impactos del cambio climático. Con este propósito, se exponen en este apartado algunas de las características ambientales más relevantes de la cuenca.

2.4.1. Clima

La subcuenca hidrológica del río Apatlaco, de acuerdo con sus elementos físicos y biológicos, se divide en tres regiones: la norte, con la mayor cota topográfica, desde los 1 650 hasta los 3 000 msnm, reúne condiciones de temperatura y precipitación que caracterizan su clima como semifrío, templado subhúmedo C(w2) y semicálido A(C).



La región que se localiza entre los 1 350 a los 1 650 msnm propicia el clima semicálido con presencia de canícula y, la región baja, entre los 900 y los 1 350 msnm, se caracteriza por el clima cálido subhúmedo con lluvias en verano de menor humedad (IMTA-Fundación Gonzalo Río Arronte, 2007).

El clima en la región se conoce a través de la medición de estaciones climatológicas que tienen un área de influencia en la zona. La precipitación media anual varía entre 1 585 mm registrados en el municipio de Huitzilac (E. H. 17047) y 785 mm registrados en el municipio de Jojutla (E. H. 17031), como se aprecia en la Figura 2.4.

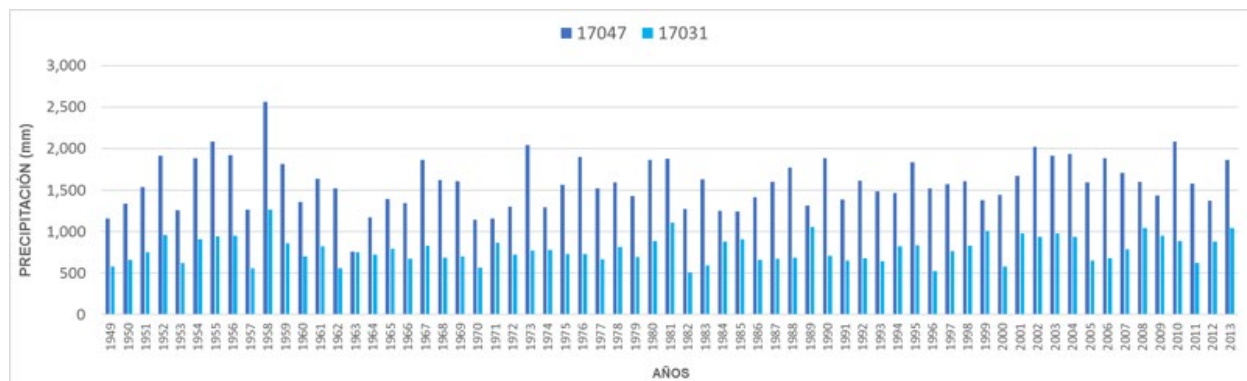


Figura 2.4. Precipitación de las estaciones 17047 y 17031.

Fuente: elaboración propia con datos del Clicom, 2016.

Se cuenta con 44 estaciones ubicadas en la cuenca y alrededor de ella, las cuales iniciaron a operar en diferentes periodos, como se aprecia en la Figura 2.5.



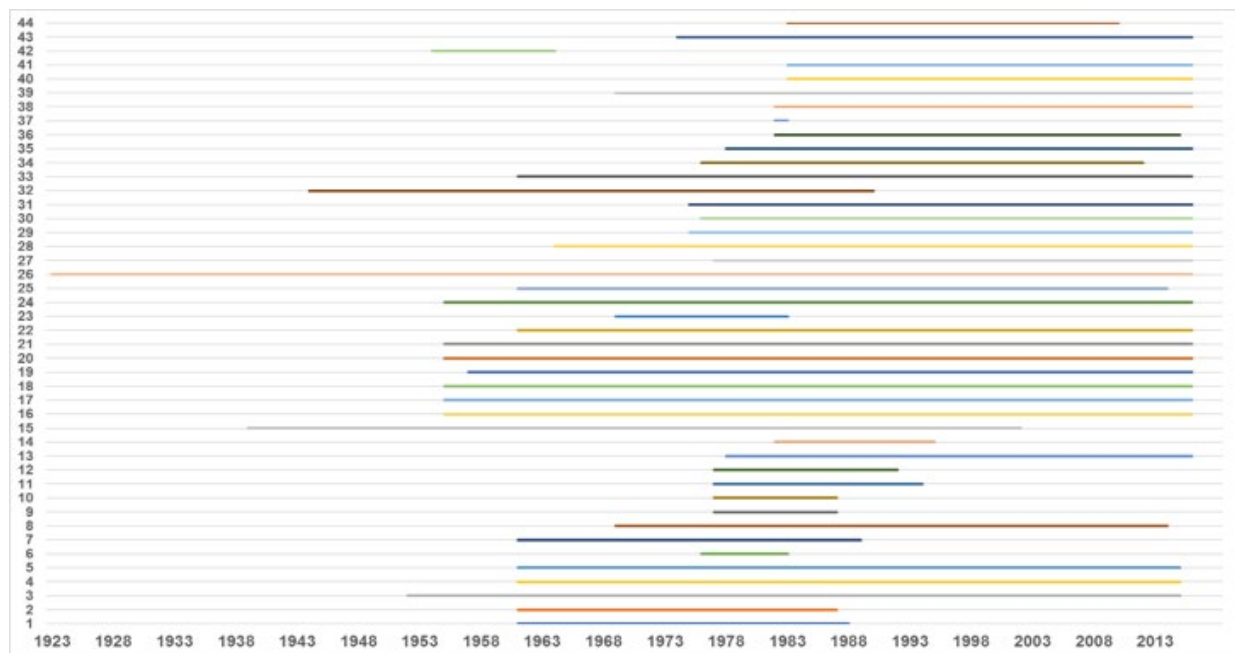


Figura 2.5. Periodo de operación de las estaciones.
Fuente: elaboración propia con datos del Clicom, 2016

En el anexo 1 se puede consultar el cuadro que presenta la situación de cada una de las estaciones, así como los datos de ubicación y periodo de operación.

Actualmente, 14 de las estaciones climatológicas se encuentran suspendidas (Figura 2.6); sin embargo, es importante mencionar que durante su operación algunas registraron más del 70 % de años con información.



De las treinta estaciones climatológicas que continúan en operación, 18 cuentan con más del 70% de registros anuales de lluvia, con respecto a su periodo de operación (Cuadro 2.8).

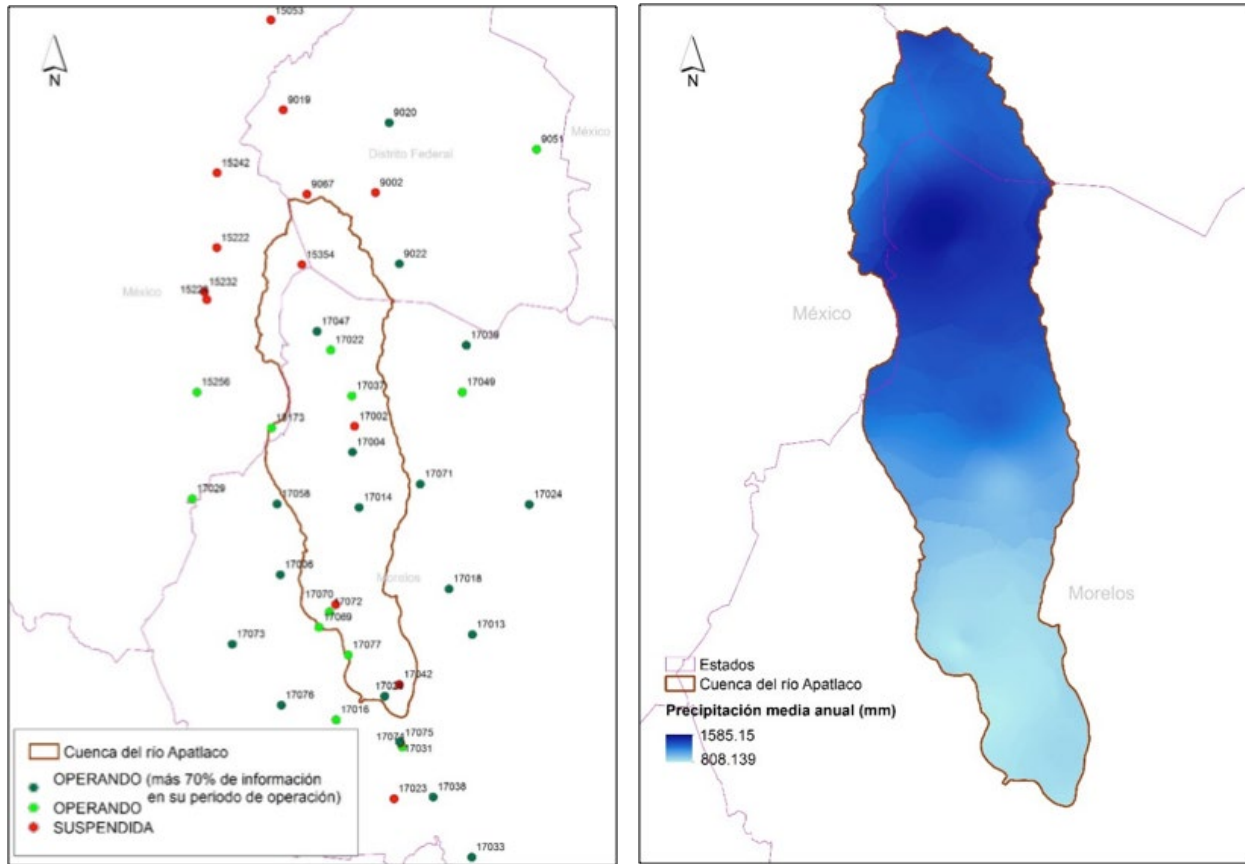


Figura 2.6. Estaciones climatológicas: precipitación en la cuenca del río Apatlaco.

Fuente: Conagua. BD Clicom, 2016.



Cuadro 2.8. Porosidad de estaciones climatológicas en operación.

Clave	Estación	Año inicial	Año final	Cantidad años en el periodo de operación	Cantidad de años con información completa	% años completos
17037	Escuela de Biología UAEM	1975	2016	42	10	23.81
17069	Ahuehuetzingo	1982	2016	35	12	34.29
17074	El Higuera	1983	2016	34	13	38.24
17049	Tepoztlán E-12	1976	2016	41	16	39.02
17029	Palpan	1923	2016	94	37	39.36
15173	Ahuatenco	1969	2016	48	22	45.83
15256	Ocuilán E-23	1978	2016	39	21	53.85
17016	Tequesquitengo	1955	2016	62	36	58.06
17022	Tres Cumbres	1961	2016	56	33	58.93
9051	Tlahuac	1961	2016	56	35	62.50
17072	Alpuyeca	1969	2016	48	30	62.50
17077	Xoxocotla	1983	2016	34	23	67.65
9020	Desviación Alta Al Pedregal	1952	2016	65	46	70.77
9022	El Guarda	1961	2016	56	42	75.00
17058	Cuentepec	1978	2016	39	30	76.92
17039	San Juan Tlacotenco	1975	2016	42	33	78.57
17076	Puente de Ixtla	1974	2016	43	34	79.07
17033	Xicatlacotla (CFE)	1963	2016	54	45	83.33
17006	El Rodeo	1955	2016	62	52	83.87
17038	Nexpa	1976	2016	41	35	85.37
17013	Temilpa	1955	2016	62	53	85.48
17047	Huitzilac	1961	2016	56	48	85.71
17004	Cuernavaca	1955	2016	62	54	87.10
17024	Yautepec	1955	2016	62	54	87.10
17073	Cuautlita	1983	2016	34	30	88.24
17071	Progreso	1982	2016	35	31	88.57
17014	Temixco	1957	2016	60	54	90.00
17026	CAE La Victoria	1961	2016	56	51	91.07
17031	Jojutla (DGE)	1977	2016	40	38	95.00
17018	Ticumán	1955	2016	62	59	95.16

Fuente: Conagua, Clicom, 2016.



En la subcuenca del río Apatlaco, el régimen de lluvias en verano se inicia generalmente a mediados de mayo y termina a finales del mes de octubre, de acuerdo con los datos registrados en las estaciones 14047 Huitzilac y 14031 Jojutla (Figura 2.7).

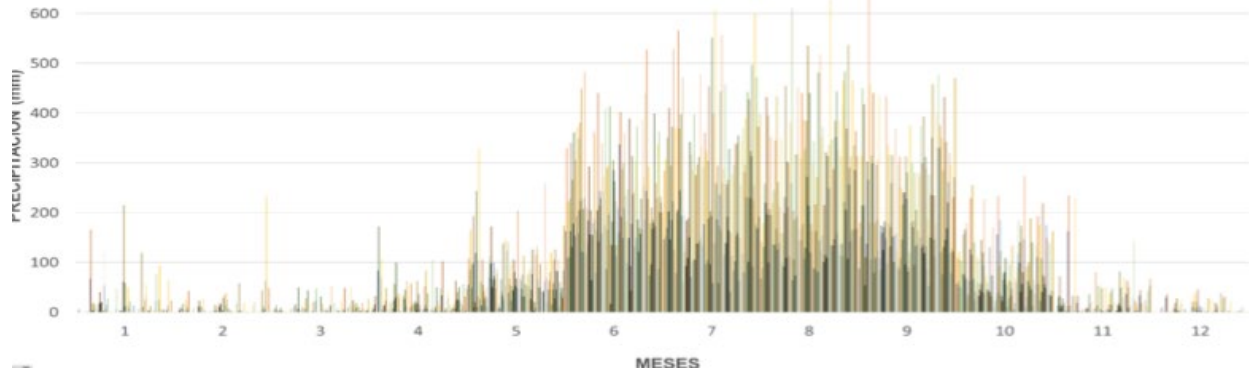


Figura 2.7. Precipitación mensual en la cuenca del río Apatlaco: estaciones Huitzilac y Jojutla.
Fuente: Conagua, BD Clicom, 2016.

Por lo que respecta a la temperatura ambiente, de acuerdo con la clasificación de Köppen y Geiger (1936), modificada por García, en el norte del estado, en el municipio de Huitzilac, el clima es del tipo Cm (w) templado húmedo, con temperatura media anual entre 12 y 18 °C, y la del mes más frío entre -3 y 18 °C. En Cuernavaca se observa un clima de tipo A(C) w2 semicálido-subhúmedo, el más fresco del grupo de los cálidos y el más húmedo del grupo de los subhúmedos, con temperatura media anual de 22 °C, y la del mes más frío de 18 °C. Hacia el sur, desde Temixco hasta Jojutla, se observa un clima muy uniforme Am (w), cálido húmedo con temperatura media anual mayor a 22 °C, con un régimen de lluvias semejante al de Cuernavaca (Conagua, 2008).

La temperatura máxima anual registrada en la parte alta de la cuenca oscila en un rango de 16.2 a 22.8 °C, mientras que la temperatura mínima varía entre los 5.3 y 10.3 °C grados, lo cual puede observarse en la Figura 2.8.



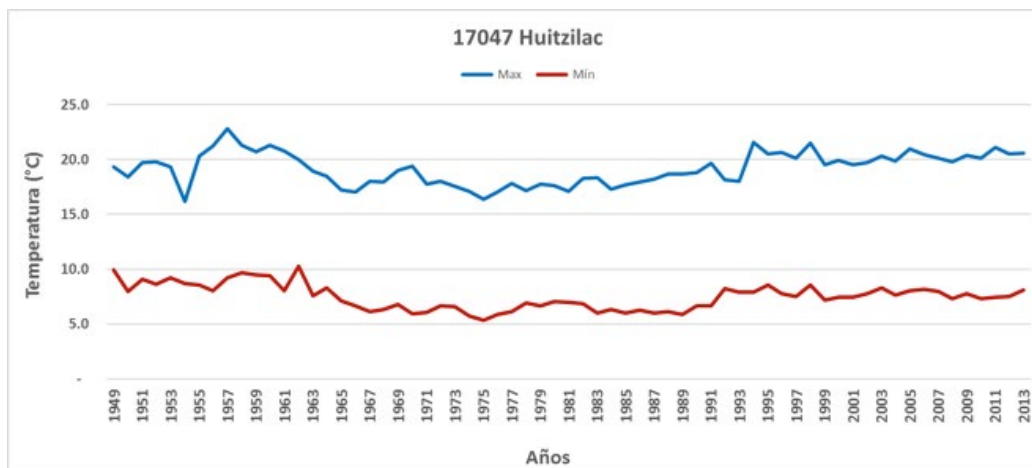


Figura 2.8. Temperatura máxima anual en la cuenca del río Apatlaco: estación Huitzilac.
Fuente: Conagua, BD Clicom, 2016.

En la región central, de acuerdo con la Figura 2.9 la estación ubicada en Cuernavaca registra una temperatura máxima anual entre 22.9 y 29 °C y una temperatura mínima en un rango de 14.1 y 18.4 grados centígrados.

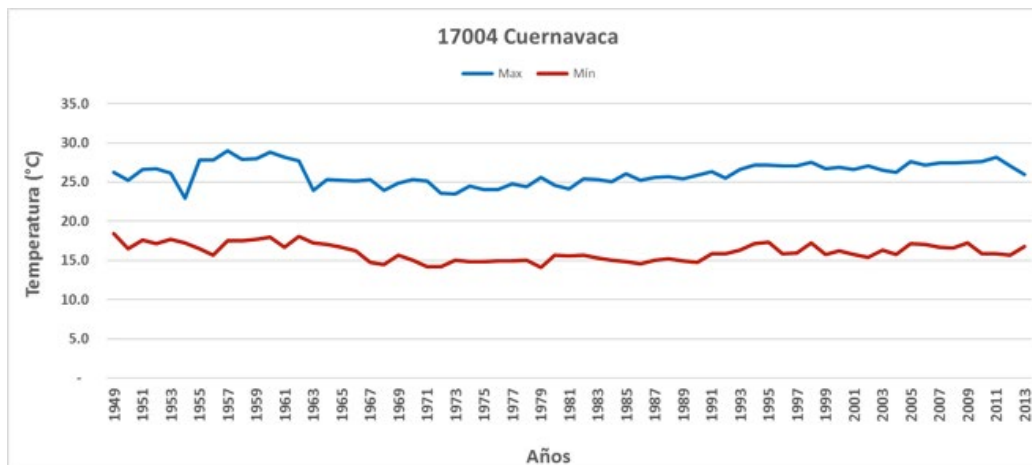


Figura 2.9. Temperatura máxima anual en la cuenca del río Apatlaco: estación Cuernavaca.
Fuente: Conagua, BD Clicom, 2016.

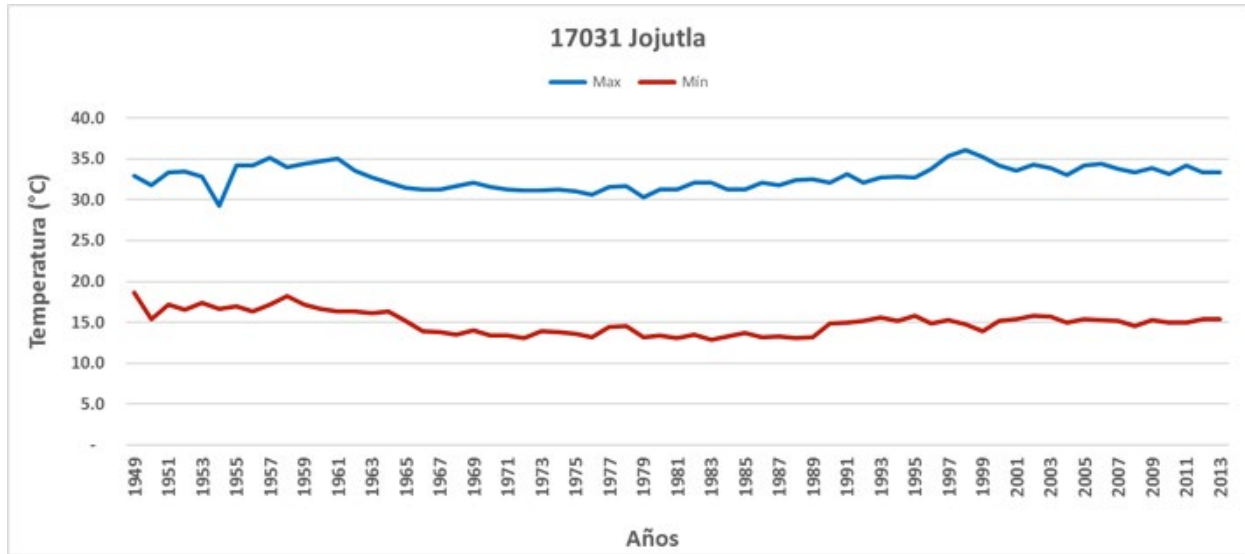


Figura 2.10. Temperatura máxima anual en la cuenca del río Apatlaco: estación Jojutla.

Fuente: Conagua, BD Clicom, 2016.

2.4.2. Escurrimientos

La cabecera de la subcuenca del río Apatlaco se considera una cuenca cerrada, con un área de aproximadamente 195 km² (Figura 2.11), por lo que no contribuye a los escurrimientos superficiales; sin embargo, parte del agua que escurre se infiltra a la corriente subterránea.

La mayor precipitación se encuentra en la parte alta de la cuenca, en los municipios de Huitzilac y Cuernavaca, la cual escurre a través de la red hidrográfica que drena en dirección al sur, provenientes de la serranía cercana al Parque Nacional Lagunas de Zempoala (Figura 2.12). Dicha corriente se alimenta de las descargas de los manantiales El Limón, Chapultepec, Santa María Tepeiti y El Túnel, así como de las barrancas localizadas al



centro y poniente de la ciudad de Cuernavaca; también confluyen los arroyos El Salto y Ojo de Agua, y aumenta su caudal gracias al río Cuentepec y a los aportes de los arroyos Salado, Fría, Salto de Agua, Colotepec y Poza Honda (Conagua, 2008).

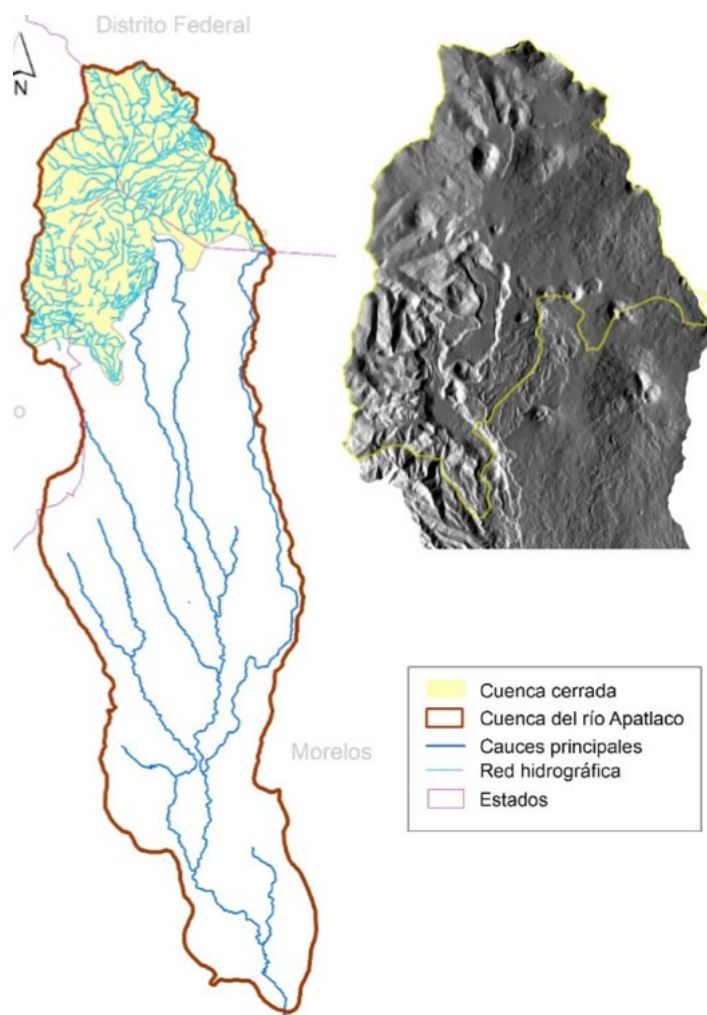


Figura 2.11. Cuenca cerrada en la parte alta del Apatlaco.

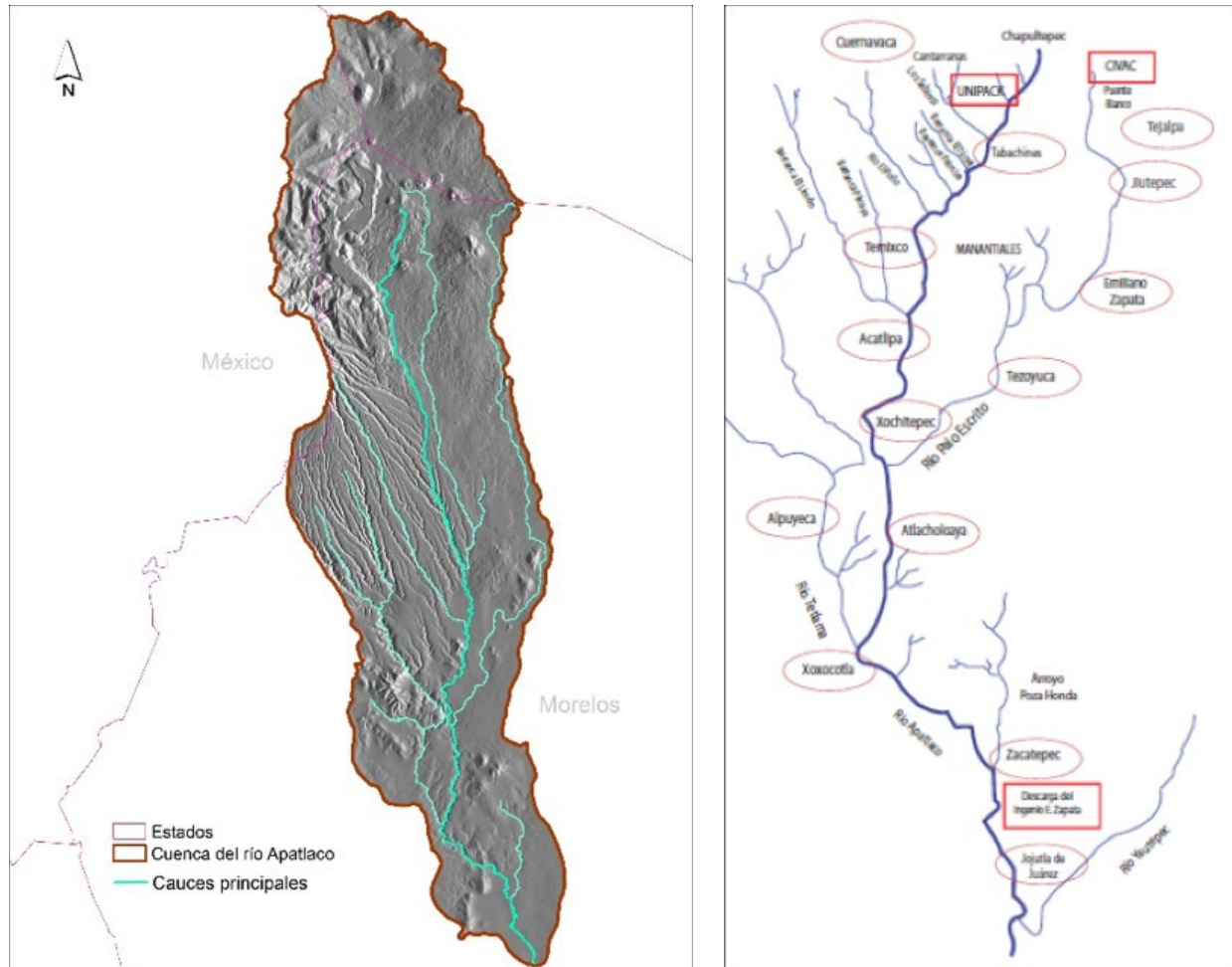


Figura 2.12. Cauce permanente del río Apatlaco.

Fuente: Conagua, 2008.

De acuerdo con la *Declaratoria de Propiedad Nacional*, publicada en el *Diario Oficial de la Federación* el 16 de agosto de 1924, el origen del río Apatlaco es la abrupta serranía de Zempoala y Huitzilac, en el lugar conocido como La Hoya del Tepeite; sin embargo,



se le reconoce como cauce permanente a partir del manantial de Chapultepec, en el municipio de Cuernavaca (Comisión Nacional del Agua, 2008).

La cuenca del río Apatlaco cuenta con siete estaciones hidrométricas (Cuadro 2.9) que registran los escurrimientos en diferentes puntos de los ríos Apatlaco, Tetlama, y Yautepec, y los canales Segunda Toma y El Túnel.

Cuadro 2.9. Estaciones hidrométricas.

Clave	Nombre	Corriente	Estado
18264	Zacatepec	río Apatlaco	Morelos
18269	Alpuyeca	Río Tetlama	Morelos
18270	Alpuyeca	Canal Xoxocotla	Morelos
18271	Temixco	río Apatlaco	Morelos
18272	Temixco	Canal Segunda Toma	Morelos
18323	Tetlama	Río Tetlama	Morelos
18557	El túnel	Canal El Túnel	Morelos

Fuente: Conagua, Bandas.

En la Figura 2.13 se muestra la ubicación de las estaciones hidrométricas. El detalle se describe en el anexo 2.





Figura 2.13. Estaciones hidrométricas.

Fuente: Conagua, 2013.



De acuerdo con los datos registrados en la estación 18271, ubicada en la localidad de Temixco y que mide un área de aportación de aproximadamente 160 km² (20% del total de la cuenca), se puede observar que la parte alta de la cuenca aporta casi el 40% del agua total que escurre hacia la salida, donde según los registros de la estación 18264, ubicada en Zacatepec de Hidalgo se tiene un volumen medio anual de aproximadamente 195 hm³ (Figura 12.14).

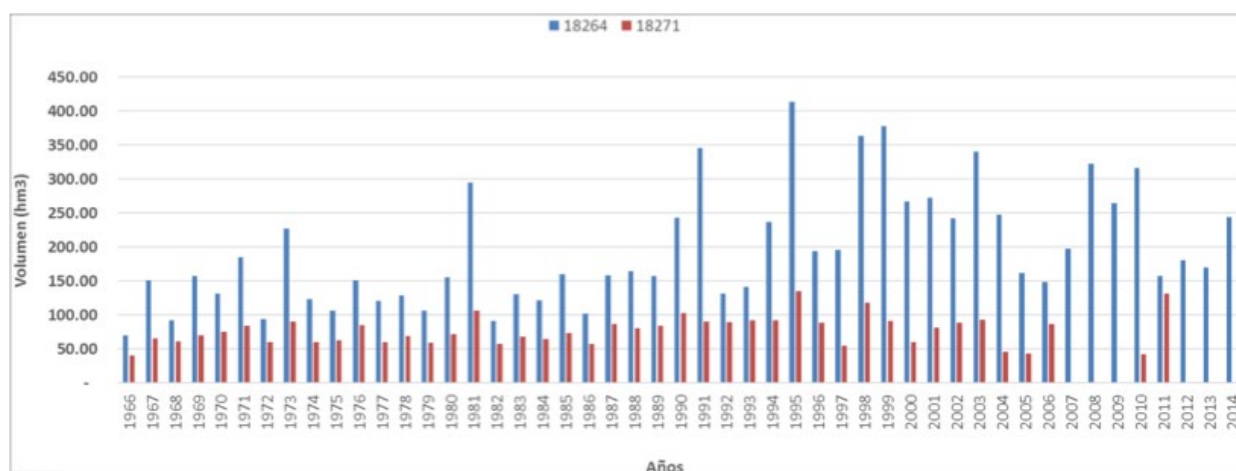


Figura 2.14. Volumen de escurrimiento medio anual.

Fuente: Conagua, 2013.

2.4.3. Presas

En la subcuenca del río Apatlaco se cuenta con cinco presas, las cuales se muestran en la Figura 2.15. Se emplean para riego de las tierras agrícolas en la zona. Por otro lado, la presa Chapultepec, adicionalmente es utilizada para control de avenidas (Cuadro 2.10).



Figura 2.15. Presas.

Fuente: Conagua, 2013, SINA.



Cuadro 2.10. Presas.

Presas	Corriente	Estado	Municipio	Objetivo	Usos
Xoxocotla	R. Tetlama	Morelos	Xochitepec	Derivadora	Riego
Atzingo	A. Atzingo	Morelos	Cuernavaca		
Chapultepec	A. Chapultepec	Morelos	Cuernavaca	Recreativo	Riego, control de avenidas
Quinta Toma Apatlaco	R. Apatlaco	Morelos	Zacatepec		Riego
Sexta Toma Apatlaco	R. Apatlaco	Morelos	Zacatepec		Riego

Estas estructuras de almacenamiento se caracterizan por presentar aguas turbias ricas en nutrientes, así como grandes fluctuaciones en sus volúmenes.

2.4.4. Tipo de suelo

De acuerdo con información del Inegi, en su Serie II, el tipo de suelo que predomina en la parte alta de la cuenca es el Andosol (Figura 2.16), cuyo material original lo constituyen, fundamentalmente, cenizas volcánicas. Este tipo de suelo normalmente se localiza en áreas onduladas con tendencia a montañosas de las regiones húmedas. Poseen una capa superficial muy suelta, con abundante materia orgánica y frecuentemente presentan una capa endurecida de drenaje deficiente como límite interno (tepetates). Por estas circunstancias, son muy susceptibles a la erosión. Su potencial de aprovechamiento es muy variable, aunque de preferencia deben dedicarse al uso forestal, pues sus propiedades limitan su rendimiento agrícola.



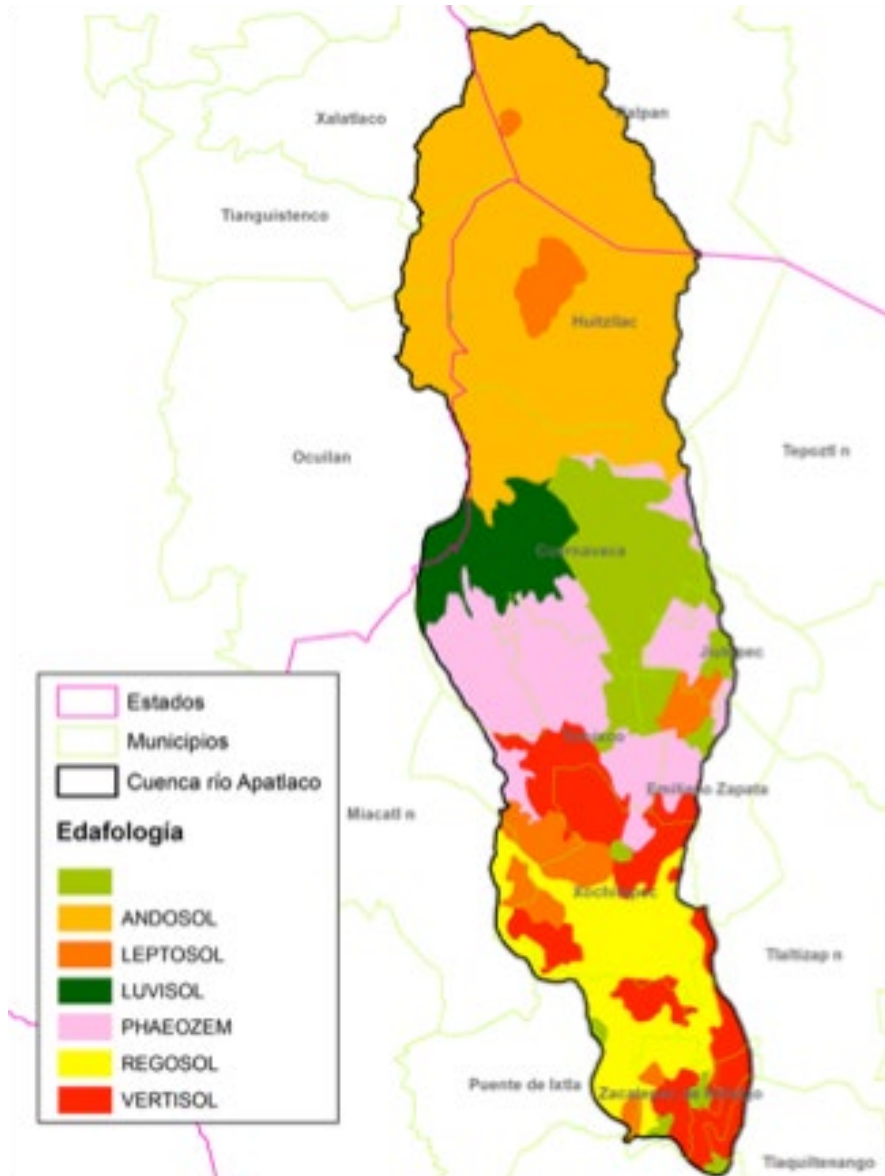


Figura 2.16. Tipos de suelo.
Fuente: Inegi, Serie II, 2013.



La parte central de la cuenca presenta suelos que poseen una extraordinaria actividad biológica por su elevado contenido en materia orgánica, lo que se manifiesta en una buena integración de la materia orgánica con la mineral, además de zonas con acumulación de las arcillas en profundidad. La humedad no llega a ser excesiva, lo que evita el arrastre y la pérdida de nutrimentos debido al drenaje, por lo que su potencial agrícola es alto. Se utilizan intensivamente para la producción de granos y hortalizas; en muchas ocasiones, con auxilio de riego. Finalmente, en la parte sur de la cuenca se presenta suelos que se desarrollan sobre un manto de materiales sueltos, poco consolidados (Figura 2.16). En el Cuadro 2.11 se puede apreciar el área de cada uno de los tipos de suelos que se presentan en la zona.

Cuadro 2.11. Tipos de suelo.

Tipo de suelo	Área (km ²)				Total
	Fina	Gruesa	Media	Sin clasificación	
Andosol			315.56		315.56
Leptosol	17.96		33.92		51.88
Luvisol			47.34		47.34
Phaeozem	7.13		114.84		121.97
Regosol		88.63			88.63
Vertisol	87.89				87.89
No identificado				93.02	93.02
Total	112.98	88.63	511.66	93.02	806.29

Fuente: Inegi, Serie II, 2013.

2.4.5. Usos y tipo de suelo

De acuerdo con el Inegi, en la parte norte de la subcuenca del río Apatlaco el suelo contiene árboles de encino, oyamel y pino, por lo que la zona es boscosa. En la parte central de la cuenca se localiza la mancha urbana, donde se ubica la ZM de Cuernavaca, y al sur de la cuenca el uso principal del suelo es la agricultura de riego y temporal, así como el pastizal inducido (Figura 2.17).



En el Cuadro 2.12 se puede observar que el mayor uso de suelo se da en la agricultura de temporal, el pastizal inducido y la zona urbana.

Cuadro 2.12. Usos de suelo.

Uso de suelo	Área (km ²)	%
Agricultura de temporal anual	152.73	18.94
Pastizal inducido	107.17	13.29
Zona urbana	92.03	11.41
Agricultura de riego anual y semipermanente	84.53	10.48
Vegetación secundaria arbustiva de bosque de pino	80.26	9.95
Asentamientos humanos	52.63	6.53
Bosque de pino	50.91	6.31
Bosque de oyamel	42.22	5.24
Vegetación secundaria arbustiva de selva baja caducifolia	41.71	5.17
Bosque de pino-encino	35.30	4.38
Bosque mesófilo de montaña	15.75	1.95
Vegetación secundaria arbórea de bosque de pino-encino	14.69	1.82
Agricultura de riego anual	7.67	0.95
Bosque de encino	6.85	0.85
Agricultura de riego semipermanente	5.18	0.64
Vegetación secundaria arbórea de selva baja caducifolia	4.42	0.55
Bosque de encino-pino	4.40	0.55
Vegetación secundaria arbustiva de bosque de pino-encino	4.22	0.52
Vegetación secundaria arbustiva de bosque de encino-pino	2.09	0.26
Vegetación secundaria arbustiva de bosque mesófilo de montaña	0.76	0.09
Vegetación secundaria arbórea de bosque mesófilo de montaña	0.54	0.07
Cuerpo de agua	0.21	0.03
Total	806.29	100.00



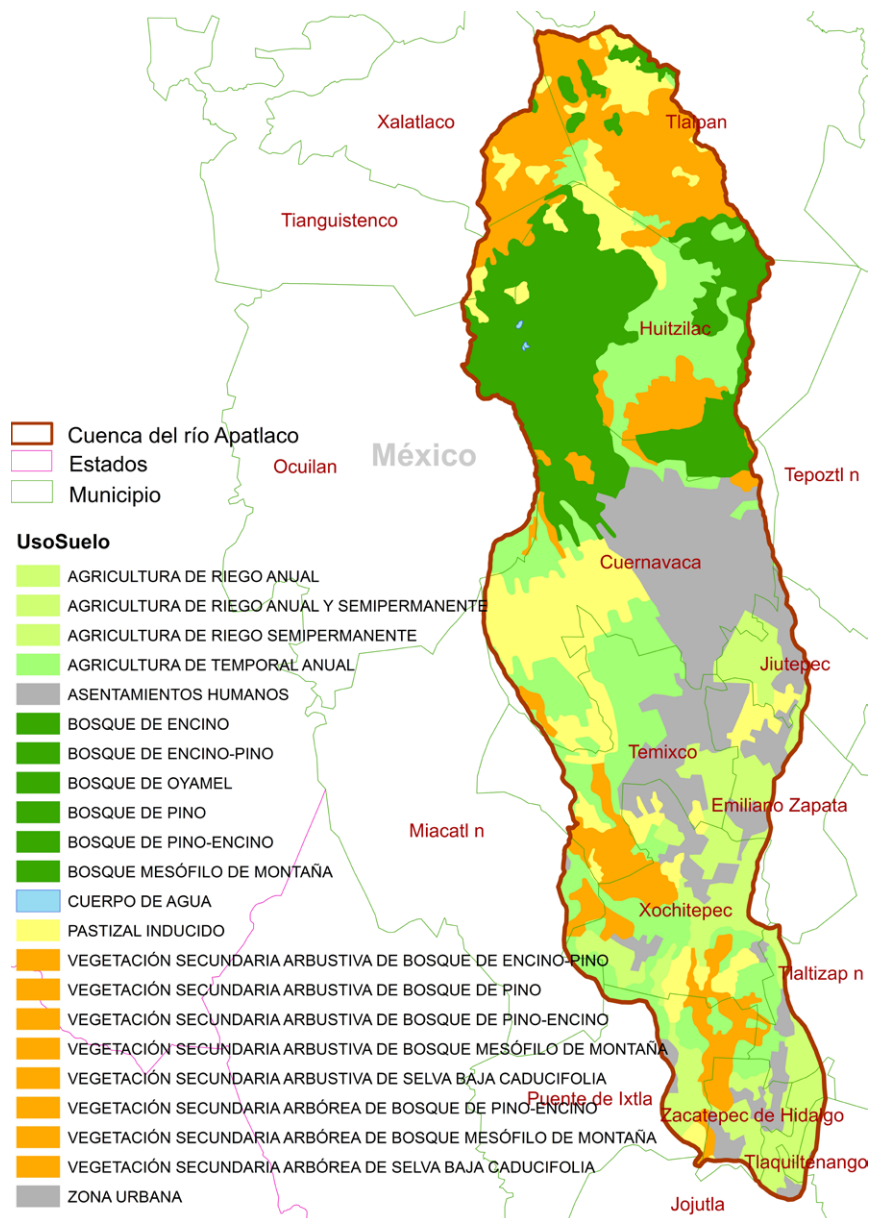


Figura 2.17. Uso de suelo.
Fuente: Inegi, Serie II, 2013.

2.4.6. Usos de agua

De acuerdo con la información asentada en el Registro Público de Derechos de Agua (Repda), a finales de 2017 los municipios que conforman la cuenca del río Apatlaco tienen registrados 337 títulos de concesión para el uso de aguas superficiales (Figura 2.18), con un volumen aproximado de 5 693 hm³, lo cual puede observarse en la Cuadro 2.13.

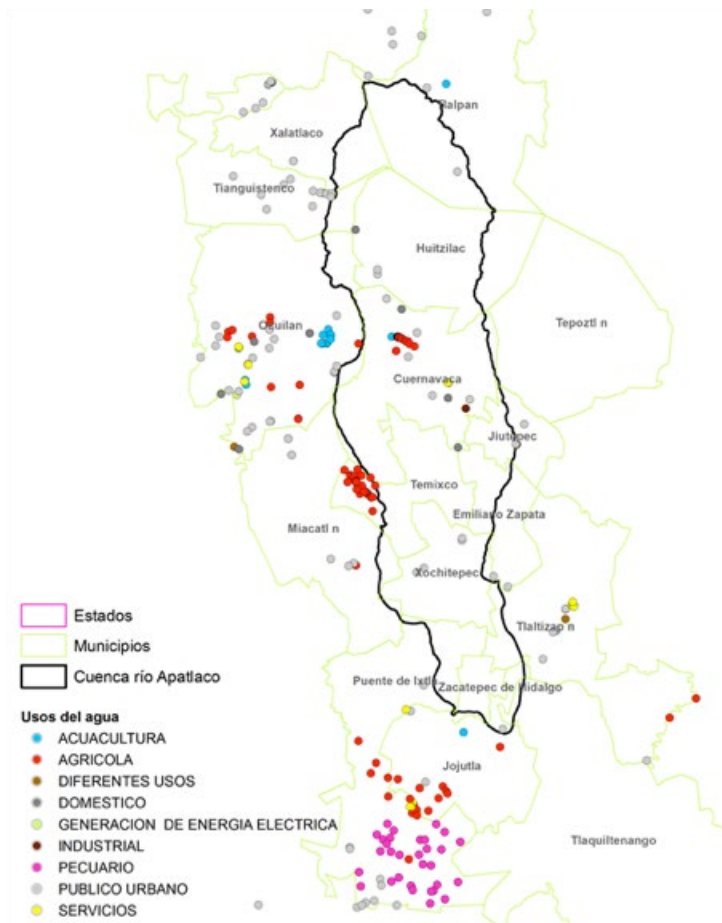


Figura 2.18. Registros de uso de agua superficial.

Fuente: Conagua, 2017.



Cuadro 2.13. Usos de agua superficial en hm3.

Municipios	Acuacultura	Agrícola	Dif. Usos	Doméstico	GEE	Industrial	Pecuario	Público urbano	Servicios	Total
Cuernavaca	0.50	18.58	0.00	0.07	0.00	1.92	0.00	9.73	0.07	30.87
Huitzilac	0.00	0.00	0.00	0.32	0.00	0.00	0.00	1.27	0.00	1.58
Jiutepec	0.00	0.00	0.00	0.25	0.00	0.30	0.00	0.48	0.00	1.04
Jojutla	0.07	2.45	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.36	4.46	7.33
Miacatlán	0.00	8.83	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	8.25	0.00	17.09
Ocuilán	4.18	1.97	0.00	0.14	39.00	0.00	0.00	2.39	0.97	48.65
Puente de Ixtla	0.00	5.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.18	0.14	0.02	5.84
Temixco	0.00	0.14	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.17	0.00	0.31
Tlanguistenco	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.63	0.00	2.63
Tlalpan	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	5 562.95	0.00	5 562.95
Tlaltizapán	0.00	1.77	0.28	0.00	0.00	0.00	0.00	4.02	0.78	6.85
Xochitepec	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.09	0.00	0.09
Tlaquiltenango		6.02						1.54	0.51	8.07
Total	4.75	45.27	0.29	0.77	39.00	2.22	0.18	5 594.02	6.82	5 693.30

Fuente: Conagua, 2017.

En el caso del uso de agua extraída de fuentes subterráneas, la base de datos Repda tiene registrados, a finales de 2017, 809 títulos de concesión, donde se concede el permiso de extracción sobre los acuíferos Cuernavaca (1701) y Zacatepec (1703), con un volumen aproximado de 250.74 hm³ (Cuadro 2.14).

Cuadro 2.14. Usos de agua subterránea en hm³.

Clave	Acuicultura	Agrícola	Diferentes usos	Doméstico	Industrial	Pecuario	Público urbano	Servicios	Total
1701	0.05	5.31	1.93	0.22	5.49	0.00	179.96	3.41	196.37
1703	0.33	18.78	2.62	0.02	4.13	0.35	25.47	2.67	54.37
Total	0.38	24.10	4.55	0.23	9.62	0.35	205.43	6.08	250.74

En la Figura 2.19 se puede observar que el mayor uso está localizado en la zona urbana.



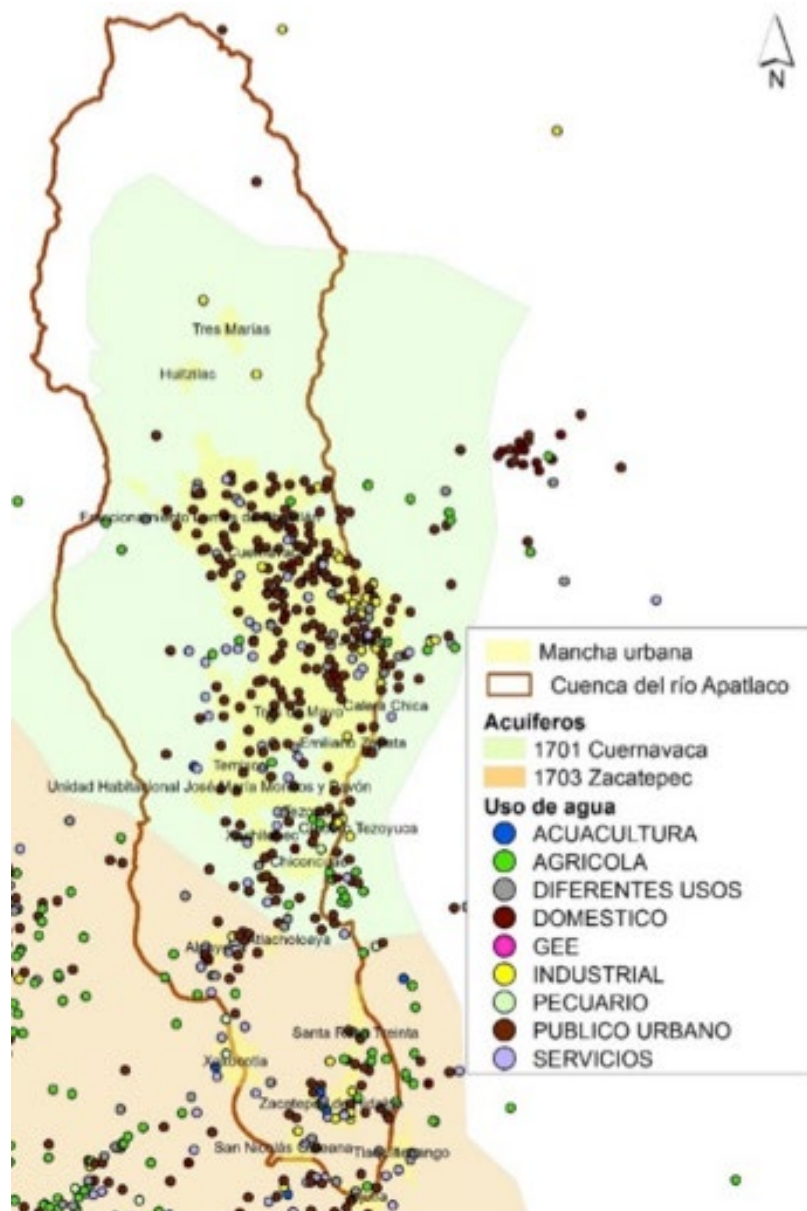


Figura 2.19. Registros de uso de agua subterránea.
Fuente: Conagua, 2017.

2.4.7. Acuíferos

El agua subterránea es el agua subsuperficial localizada bajo el nivel freático, en suelos y formaciones geológicas completamente saturadas. Los acuíferos son aquellas formaciones geológicas que tienen la permeabilidad adecuada, por porosidad y fracturamiento, para transmitir y producir agua. Con fines de gestión se denominan, en el *Diario Oficial de la Federación*, “unidades geológicas administrativas”. La subcuenca del río Apatlaco se localiza sobre cinco acuíferos (Cuadro 2.15), siendo los acuíferos de Cuernavaca y Zacatepec los más importantes, debido a que abastecen parte del recurso hídrico utilizado en la agricultura y en la industria, lo que ha generado importantes demandas de agua.

Cuadro 2.15. Acuíferos.

Clave	Nombre	Condición	Disponibilidad media anual	Déficit
1701	Cuernavaca	Disponibilidad	19.95	0.00
1703	Zacatepec	Disponibilidad	13.99	0.00
1504	Tenancingo	Déficit	0.00	-4.99
1501	Valle de Toluca	Déficit	0.00	-142.29
901	Zona Metropolitana de la Cd. de México	Déficit	0.00	-561.05

Fuente: *Diario Oficial de la Federación*, 2018.

Los municipios comprendidos en la unidad hidrogeológica de Cuernavaca son: Huitzilac, Cuernavaca, Emiliano Zapata, Jiutepec y Temixco, así como la parte norte del municipio de Xochitepec y el poniente de los de Tepoztlán y Yautepec, en el estado de Morelos (Figura 2.20).

Los municipios bajo los cuales subyace la unidad hidrogeológica de Zacatepec son: Miacatlán, Mazatepec, Tetecala, Coatlán del Río, Amacuzac, Puente de Ixtla, Jojutla, Zacatepec, Tlaltizapán y Tlaquiltenango, así como la parte sur de Xochitepec; también, todos del estado de Morelos. Durante los últimos veinte años se ha usado, sobre todo, para actividad agrícola (Figura 2.20).



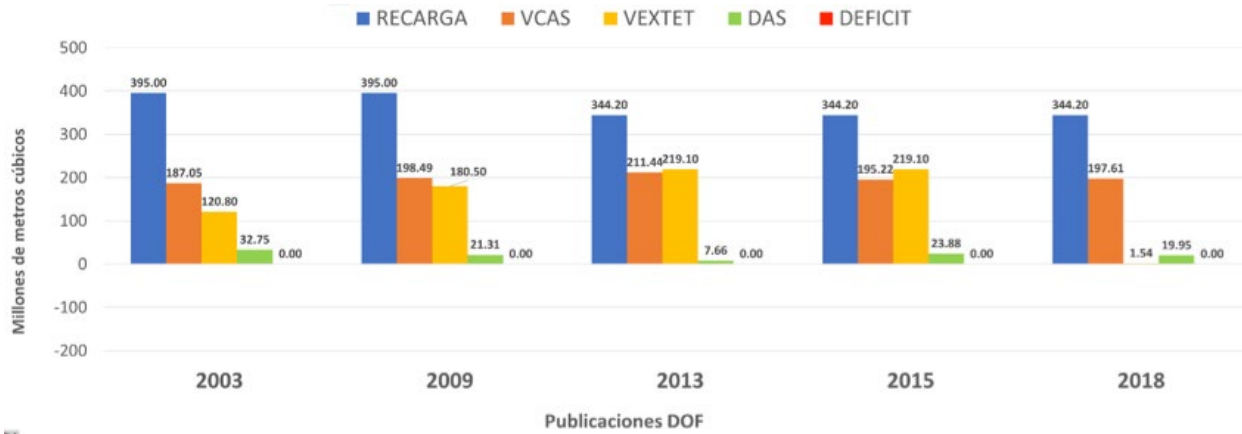
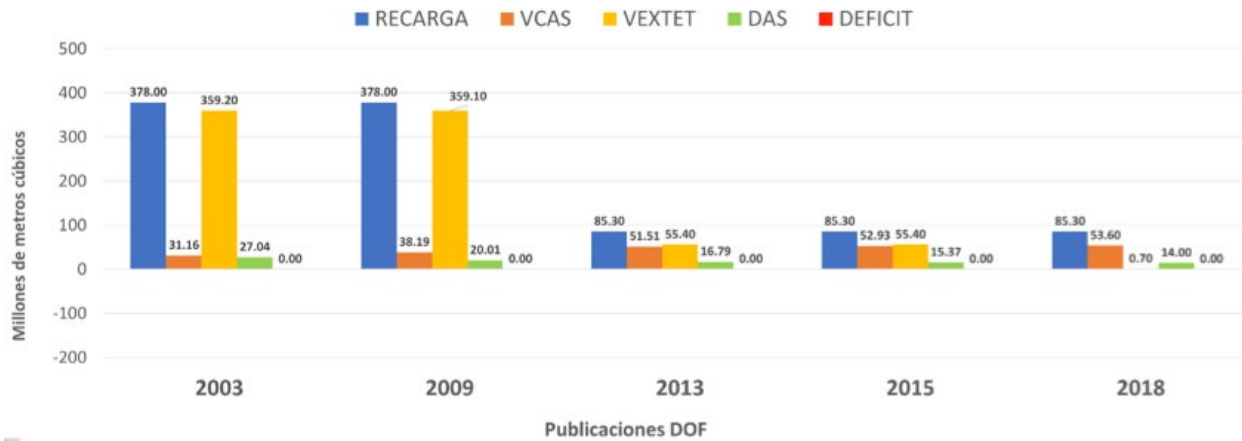


Figura 2.21. Datos del acuífero de Cuernavaca.
Fuente: Diario Oficial de la Federación, 2003-2018.



RECARGA: recarga media anual.
VCAS: volumen concesionado de agua subterránea.
VEXTET: volumen de extracción de agua subterránea consignado en estudios técnicos.
DAS: disponibilidad media anual de agua subterránea.

Figura 2.22. Datos del acuífero de Zacatepec.
Fuente: Diario Oficial de la Federación, 2003-2018.



De acuerdo con las publicaciones sobre la disponibilidad de agua subterránea en los acuíferos de Cuernavaca y Zacatepec, la recarga se ha visto reducida, así como el volumen disponible, lo cual se observa en la Figura 2.21 y Figura 2.22.

2.5. Conclusiones

Las características particulares de la cuenca del río Apatlaco permiten identificar los sitios de mayor vulnerabilidad ante el cambio climático, ya que proveen aspectos sociales, económicos y ambientales necesarios a tomar en cuenta para el análisis que se llevará a cabo en los siguientes capítulos.

Cada una de las variables descritas en este capítulo deben ser consideradas para determinar si existe o no un impacto derivado de los efectos de cambio climático, relacionado con la problemática identificada en la cuenca del río Apatlaco.

La información aquí presentada es la base para el desarrollo del libro. Se presenta de manera específica, ya que ayudará al lector a conocer de manera descriptiva la zona de estudio: ubicación, clima, población y ciudades que la conforman, así como los usos de agua y tipo de suelo que predomina en la cuenca.

En cuanto al acceso de los servicios, hay grandes oportunidades para considerar la implementación de tecnologías limpias. El reúso de las aguas tratadas y la captación de agua de lluvia tendría que empezar a ser considerado por planeadores y tomadores de decisiones.



Mantener la situación de los acuíferos de donde se extrae el agua consumida en la cuenca es de primera importancia; sin embargo, no tomar cartas en el asunto podría cambiar estas condiciones que hoy en día parecen no preocupar mucho a los gestores de los recursos naturales y servicios.

Sin duda, la cuenca del río Apatlaco no es la cuenca con mayores grados de marginación en la entidad. No obstante, ello no minimiza la necesidad de diseñar políticas públicas para elevar los niveles de bienes y servicios que hoy presentan cifras bajas.

Un enfoque de cambio climático en el diseño e implementación de programas gubernamentales es necesario para considerar los posibles cambios en los regímenes climáticos e hidrológicos que puedan comprometer el bienestar de la población y un medio estable.

Acciones y estrategias para la mitigación y adaptación al cambio climático, sobre todo para poblaciones vulnerables, tendrán que concebirse y aplicarse para no ampliar las brechas hoy en día existentes en la cuenca, a fin de atacar y atender no sólo la marginación, sino también las dinámicas que producen segregación y exclusión social.

2.6. Bibliografía

Consejo Nacional de Población (Conapo) (2015). Índice de marginación por entidad federativa y municipio 2015. Recuperado de:

https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/159049/06_Anexo_B2.pdf

García, A. y Soares, D. (2017). Introducción. En D. Soares y A. García, (Coords.). *La cuenca del río Usumacinta desde la perspectiva del cambio climático*. Jiutepec, Morelos: IMTA, pp.7-28.



- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (Inegi) (2016). *Tabulados de la Encuesta Intercensal, 2015*.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (Inegi) (2015). *Panorama sociodemográfico de Morelos 2015*. Inegi.
- Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA) (2007). *Plan Estratégico para la Recuperación Ambiental de la Cuenca del río Apatlaco*. Jiutepec: IMTA, Fundación Gonzalo Río Arronte.
- Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA) (2008). *La cuenca del río Apatlaco. Recuperemos el patrimonio ambiental de los morelenses*. Recuperado de: http://centro.paot.org.mx/documentos/semarnat/cuenca_rio_apatlaco.pdf
- Meade, L. (2017). *La comisión de cuenca del río Apatlaco y su influencia en el desarrollo agrícola*. Tesis de maestría. Universidad Autónoma del Estado de Morelos, Cuernavaca, Morelos.
- Panel Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC) (2015). *Cambio climático 2014: Informe de síntesis. Contribución de los Grupos de trabajo I, II y III al Quinto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático*. Equipo principal de redacción, R. K. Pachauri y L. A. Meyer (eds.). IPCC, Ginebra: Suiza, 157 pp.
- Programa Estatal de Población de Morelos, 2016-2018. Cuernavaca, Morelos.
- Vargas, S. y Hernández C. (2015). Deterioro de la calidad del agua en la cuenca del río Apatlaco. *Inventio*. Vol. 11, Núm. 23.



2.7. Anexos

2.7.1. Anexo 1. Estaciones climatológicas: localización y estado actual.

No.	Clave	Longitud	Latitud	Altitud	Estación	Inicio de operación	Fin de operación	Situación
1	9002	-99.20	19.22	2 900	Ajusco	01/01/1961	31/05/1988	Suspendida
2	9019	-99.31	19.31	2 995	Desierto de Los Leones	01/01/1961	30/09/1987	Suspendida
3	9020	-99.18	19.30	2 296	Desviación Alta al Pedregal	01/01/1952	31/12/2015	Operando
4	9022	-99.17	19.13	2 990	El Guarda	01/01/1961	31/12/2015	Operando
5	9051	-99.00	19.26	2 240	Tlahuac	01/01/1961	31/05/2015	Operando
6	9067	-99.28	19.22	3 450	Monte Alegre	01/01/1976	31/12/1983	Suspendida
7	15053	-99.32	19.42	3 420	Magdalena Chichicarpa	01/01/1961	31/12/1989	Suspendida
8	15173	-99.33	18.95	2 232	Ahuatenco	01/06/1969	31/12/2014	Operando
9	15222	-99.39	19.16	2 940	Coaxapa	01/02/1977	31/12/1987	Suspendida
10	15228	-99.41	19.10	2 780	La Lagunilla	01/09/1977	31/03/1987	Suspendida
11	15232	-99.41	19.11	2 750	San Bartolo del Progreso	01/07/1977	28/02/1994	Suspendida
12	15242	-99.39	19.24	2 970	San Pedro Atlapulco	01/12/1977	31/12/1992	Suspendida
13	15256	-99.42	18.99	2 310	Ocuilán E-23	01/09/1978	30/06/2016	Operando
14	15354	-99.29	19.14	3 062	El Capulín	01/10/1982	31/01/1995	Suspendida
15	17002	-99.23	18.95	1 614	Colonia El Empleado	01/01/1939	31/01/2002	Suspendida
16	17004	-99.23	18.92	1 510	Cuernavaca	01/04/1955	31/12/2016	Operando
17	17006	-99.32	18.78	1 858	El Rodeo	01/04/1955	30/11/2016	Operando
18	17013	-99.09	18.71	1 135	Temilpa	01/04/1955	31/08/2016	Operando
19	17014	-99.23	18.85	1 283	Temixco	01/04/1957	31/08/2016	Operando
20	17016	-99.26	18.61	932	Tequesquitengo	01/04/1955	31/12/2016	Operando
21	17018	-99.12	18.76	970	Ticumán	01/09/1955	31/12/2016	Operando



No.	Clave	Longitud	Latitud	Altitud	Estación	Inicio de operación	Fin de operación	Situación
22	17022	-99.26	19.04	2 639	Tres Cumbres	01/01/1961	31/12/2016	Operando
23	17023	-99.19	18.52	803	Xicatlacotla	01/06/1969	31/12/1983	Suspendida
24	17024	-99.02	18.85	1 343	Yautepec	01/04/1955	31/07/2017	Operando
25	17026	-99.20	18.64	909	CAE La Victoria	01/01/1961	30/09/2014	Operando
26	17029	-99.43	18.87	1 620	Palpan	01/05/1923	30/04/2017	Operando
27	17031	-99.18	18.58	959	Jojutla (DGE)	01/03/1977	31/12/2016	Operando
28	17033	-99.10	18.45	1 095	Xicatlacotla (CFE)	01/08/1963	31/07/2017	Operando
29	17037	-99.23	18.98	1 893	Escuela de Biología UAEM	01/03/1975	31/07/2017	Operando
30	17038	-99.15	18.52	800	Nexpa	01/03/1976	31/12/2016	Operando
31	17039	-99.09	19.04	2 836	San Juan Tlacotenco	01/07/1975	31/07/2016	Operando
32	17042	-99.18	18.65	918	Zacatepec (OBS)	01/01/1944	31/10/1990	Suspendida
33	17047	-99.27	19.06	2 801	Huitzilac	01/12/1961	31/12/2016	Operando
34	17049	-99.10	18.99	1 716	Tepoztlán E-12	01/01/1976	31/05/2012	Operando
35	17058	-99.33	18.86	1 487	Cuentepec	01/09/1978	31/08/2016	Operando
36	17069	-99.28	18.72	1 068	Ahuehuetzingo	01/01/1982	31/12/2015	Operando
37	17070	-99.26	18.74	1 050	Alpuyeca	01/02/1982	31/12/1983	Suspendida
38	17071	-99.15	18.88	1 366	Progreso	01/01/1982	31/12/2016	Operando
39	17072	-99.27	18.74	1 025	Alpuyeca	01/01/1969	31/12/2016	Operando
40	17073	-99.38	18.70	986	Cuautlita	01/01/1983	31/12/2016	Operando
41	17074	-99.18	18.58	907	El Higuero	01/01/1983	31/12/2016	Operando
42	17075	-99.18	18.58	890	Jojutla (SMN)	01/08/1954	30/09/1964	Suspendida
43	17076	-99.33	18.63	903	Puente de Ixtla	01/04/1974	31/12/2016	Operando
44	17077	-99.24	18.69	1 030	Xoxocotla	01/01/1983	31/12/2010	Operando

2.7.2. Anexo 2. Estaciones hidrométricas: localización

- 18264 ZACATEPEC. La estación hidrométrica está ubicada sobre el río Apatlaco en el extremo suroeste de la población de Zacatepec, dentro del municipio del mismo nombre en el estado de Morelos. Otras referencias son las siguientes: en el sitio en que la carretera de Zacatepec-Galeana cruza el río Apatlaco, 9 km aguas abajo de la confluencia del río Tetlama.
- 18269 ALPUYECA. La estación hidrométrica Alpuyecaca está ubicada dentro del municipio de Xochitepec, Morelos, sobre el puente que se localiza a la altura del km 99+600 de la carretera libre a Acapulco, y que cruza al río Tetlama en el poblado de Alpuyecaca, Morelos.
- 18270 ALPUYECA. La estación Alpuyecaca, sobre el Canal Xoxocotla, se encuentra ubicada a 300 m aguas abajo de la obra de toma de la presa derivadora Alpuyecaca, la cual se encuentra sobre el río Tetlama, a unos 80 m aguas arriba del cruce del río con la carretera federal.
- 18271 TEMIXCO. La estación Temixco se encuentra dentro del municipio de Cuernavaca, Morelos, sobre el río Apatlaco, en la zona noreste del poblado de Temixco, 5 km al sur de Cuernavaca, en el estado de Morelos.
- 18272 TEMIXCO. La estación hidrométrica, sobre el Canal SEGUNDA TOMA, se ubica 400 m abajo de la bocatoma, quedando dentro del poblado de Temixco, en el municipio del mismo nombre, en el estado de Morelos. Su posición, con respecto a la ciudad de Cuernavaca, es hacia el sur, a 5 km aproximadamente.
- 18323 TETLAMA. La localización de la estación hidrométrica Tetlama se ubica dentro del municipio de Temixco, Morelos, sobre el río Tetlama, a unos 700 m al noreste del poblado del mismo nombre y a 10 km al suroeste de Cuernavaca, Morelos.
- 18557 EL TÚNEL. La estación hidrométrica El Túnel se localiza sobre el canal del mismo nombre, en la calle 2a. Privada de la colonia El Túnel, dentro de la ciudad de Cuernavaca, correspondiente al municipio del mismo nombre, en el estado de Morelos.

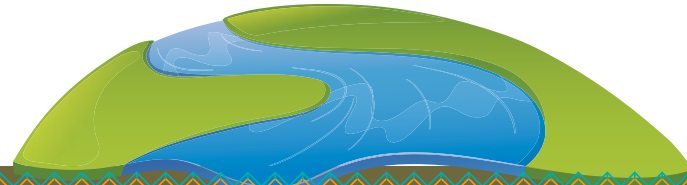




HOMOGENEIZACIÓN DE DATOS Y CÁLCULO DE ÍNDICES DE CAMBIO CLIMÁTICO PARA LA CUENCA DEL RÍO APATLACO

3

Martín José Montero y Óscar Pita



3.1. Resumen

Uno de los principales retos actuales en materia de cambio climático es tratar de detectar los cambios en el clima a escala regional. En este sentido, el principal objetivo del presente estudio es tratar de encontrar posibles cambios en el clima registrados en las últimas décadas en la cuenca del río Apatlaco. Para ello, se siguen las recomendaciones señaladas por el Panel de Expertos en Índices de Cambio Climático (ETCCDI, por sus siglas en inglés), previas a calcular tales índices y sus tendencias asociadas en una región determinada. Las recomendaciones consisten principalmente en: 1) llevar a cabo un análisis de calidad de datos en las estaciones climáticas que se encuentran en las inmediaciones de la región de estudio; y 2) homogeneizar las bases de datos climáticos en el periodo de estudio de interés. La herramienta utilizada es el *software Climatol*, que ha tenido amplio uso y reconocimiento en Europa para cuestiones de homogeneización. Las variables analizadas fueron precipitación y temperatura máxima y mínima en el periodo 1949-2013.



Los resultados señalan que las temperaturas máximas y mínimas extremas en la cuenca han aumentado recientemente en las últimas décadas. También se encuentra un ligero incremento en la temperatura (~ 1 °C) de la zona urbana, con respecto a la zona rural en la cuenca media. Sin embargo, para poder atribuir este último resultado a un posible efecto de isla de calor se necesitaría un análisis más profundo del que se llevó a cabo aquí. En cuanto a la lluvia, lo más relevante es que las tendencias de aumento de precipitación observadas en las últimas décadas no concuerdan, en absoluto, con las proyecciones estimadas por los modelos climáticos globales (GCM) para esta región del país.

La conclusión principal es que, a pesar de que se han demostrado ciertos cambios en el clima de la región, todavía se necesita un estudio más profundo para tratar de encontrar las posibles causas de esos cambios, ya sea por efectos de isla de calor, calentamiento global o simplemente variaciones naturales del clima.

Palabras clave: homogeneización, índices de cambio climático, río Apatlaco.

3.2. Introducción

A lo largo de las últimas tres décadas, se ha hablado intensamente de los posibles escenarios climáticos que podrían afectar a la humanidad debido al consumo indiscriminado de combustibles fósiles, que sigue caracterizando a nuestra sociedad actual. Estas proyecciones de clima nos llegan a través de los resultados obtenidos por las diferentes versiones del Proyecto de Inter-comparación de Modelos Acoplados de



Clima (CMIP, por sus siglas en inglés), siendo el CMIP5 el último que produjo resultados reportados en el *Quinto Reporte de Evaluación del Panel Intergubernamental de Cambio Climático* (Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC, 2014).

Sin embargo muy poco se ha realizado, al menos en México, para tratar de detectar cambios en el clima regional, sean o no potencialmente debidos a la actividad antrópica. Estrada Porrúa *et al.* (2015) presentan un buen resumen de los principales trabajos en detección de cambio climático de las últimas décadas, en el *Reporte Mexicano de Cambio Climático Vol. 1*. Después de esto, un trabajo reciente examinó la posibilidad de cambio climático en diez cuencas de México; no obstante, el trabajo argumenta que más que estar asociados a un posible calentamiento global por combustibles fósiles, los cambios observados parecen estar asociados a otro tipo de actividad antrópica: los cambios de uso de suelo (Mateos, Santana, Montero-Martínez, Deeb, y Grunwaldt, 2016).

Los índices de cambio climático del Panel de Expertos en Índices de Cambio Climático (ETCCDI, por sus siglas en inglés), han sido ampliamente usados para analizar cambios globales en eventos extremos de los datos observacionales (Sillmann, Kharin, Zhang, Zwiers, y Bronaugh, 2013). Sin embargo, son muy escasos los trabajos reportados de detección de cambio climático en nuestra región que hayan llevado consigo todo el análisis riguroso recomendado por el propio ETCCDI. Este requerimiento tiene que ver con un análisis previo de calidad de datos y homogeneización de las series climáticas “crudas”, condición necesaria si queremos tener una confianza mayor en las tendencias climáticas detectadas en cualquier región en el mundo (Aguilar *et al.*, 2005; Vázquez-Aguirre, 2010). En este sentido, Aguilar *et al.* llevaron a cabo un estudio realizando análisis de calidad de datos y homogeneización de las series climáticas para Centroamérica y el norte de Sudamérica. Sus resultados encuentran que la mayor



parte de la región se está calentando; no obstante, para la cuenca del río Usumacinta los resultados no son tan contundentes, ya que se encontraron zonas que se calientan y otras que se enfrían. Otro estudio reciente (Montero-Martínez, Santana-Sepúlveda, Pérez-Ortiz, Pita-Díaz, y Castillo-Liñan, S., 2018) encuentra evidencia de calentamiento y de amplitud del rango de temperatura diaria (DTR, por sus siglas en inglés) para las cuencas de los ríos Conchos y Usumacinta. Sin embargo en precipitación, los resultados no son concluyentes para ninguna de las dos cuencas, debido a que se encuentran tanto tendencias positivas como negativas para diferentes regiones en la cuenca y el nivel de significancia estadística se reduce considerablemente.

De manera general, se sabe que para las siguientes décadas en esta región del planeta (México y sus alrededores) se proyecta un clima más cálido y menos lluvioso (IPCC, 2014). Uno de los cuestionamientos actuales es conocer si estas tendencias ya se logran detectar en las últimas décadas para la región o no. De esta forma, para contribuir en este aspecto, el presente trabajo tiene como objetivos principales: 1) crear una base de datos climática de alta calidad y homogeneizada para la cuenca del río Apatlaco, y 2) calcular algunos de los índices de cambio climático y sus tendencias, de tal manera que se pueda determinar si hay indicios o no de posibles cambios en el clima en las últimas seis décadas. Finalmente, otra de las contribuciones es que estos índices se calculan para toda la cuenca de estudio mediante la creación de una malla regular interpolada a 0.02 grados de resolución. La herramienta para llevar a cabo el análisis de calidad de datos y homogeneización es el algoritmo *Climatol*, uno de los más utilizados en Europa con resultados comparables al de otros algoritmos para homogeneización, tales como *ACMANT*, *MASH*, *HOMER* y *RHTests*, de acuerdo con resultados del proyecto *MULTITEST*.¹ *Climatol* fue escogido de entre los otros

1 <http://www.climatol.eu/MULTITEST/>

por su facilidad de acceso al código y a la documentación, así como por los buenos resultados obtenidos en el proyecto *MULTITEST*.

3.3. Dominio geográfico y bases de datos

La cuenca del río Apatlaco, aunque no muy grande en extensión, tiene una importancia mayor para el estado de Morelos dado que cubre una gran parte del área metropolitana de Cuernavaca, siendo esta la parte más poblada y económicamente activa a nivel estatal. Por otro lado, es interesante también el que sea una de las cuencas más cercanas a la megalópolis de la Ciudad de México y por tanto se podrían comparar y servir de referencia los cambios climáticos de la cuenca con aquellos que se detecten en la gran ciudad.

Trabajos anteriores han caracterizado la cuenca en tres principales regiones climáticas (Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, IMTA, 2007; IMTA, 2008). La norte, que cubre de los 1 650 a los 3 000 msnm, tiene climas de los tipos semifrío, templado subhúmedo y semicálido; la media, de los 1 350 a los 1 650 msnm, con un clima semicálido con presencia de canícula, y la baja, de los 900 a los 1 350 msnm, con un clima cálido subhúmedo con lluvias en verano (IMTA, 2007²). En cuanto a la precipitación media anual, se reportan valores desde los 800 mm, en la parte baja de la cuenca, hasta los 1 600 mm en la parte alta (IMTA, 2008³).

2 También, ver capítulo 2 de este libro "La cuenca del río Apatlaco".

3 *Ibidem*.



Para el presente estudio, se decidió dividir la cuenca en regiones un poco diferentes basadas en análisis preliminares obtenidos aquí para temperatura y precipitación, así como de la zona urbana. De esta forma, se dividió la parte alta de la parte media de la cuenca con el contorno de nivel de 2 000 m, la parte media de la baja con el contorno de 1 200 m y, finalmente, las dos regiones medias quedaron divididas por el contorno de uso de suelo que es muy notable entre la zona urbana (este) y la zona rural (oeste) (Figura 3.1).

La Figura 3.1 muestra el dominio geográfico de la cuenca, así como su orografía y las 44 estaciones climáticas que la circundan. Se puede observar que es una cuenca alargada con orientación norte-sur, donde la región de mayor altura se encuentra hacia la parte norte de la cuenca y la de menor altitud al sur de la misma. También, es notable que solamente 14 de las 44 estaciones se encuentren ubicadas dentro de la cuenca; el resto se encuentran dentro de los 20 km circundantes a la misma. Se decidió considerar tales estaciones alrededor de la cuenca, para que los métodos de interpolación al interior tuvieran mejor correlación espacial con lo que se ubica en las inmediaciones de la misma cuenca.

3.4. Metodología

A continuación, se describe la metodología utilizada en el presente trabajo:

1. Recopilar todos los datos disponibles para las estaciones climáticas que se encuentren a una distancia dentro de los 20 km de los límites de la cuenca de la base de datos oficial del Servicio Meteorológico Nacional, *CLimate COMputing*, mejor conocido como *Clicom*. Lo anterior, con

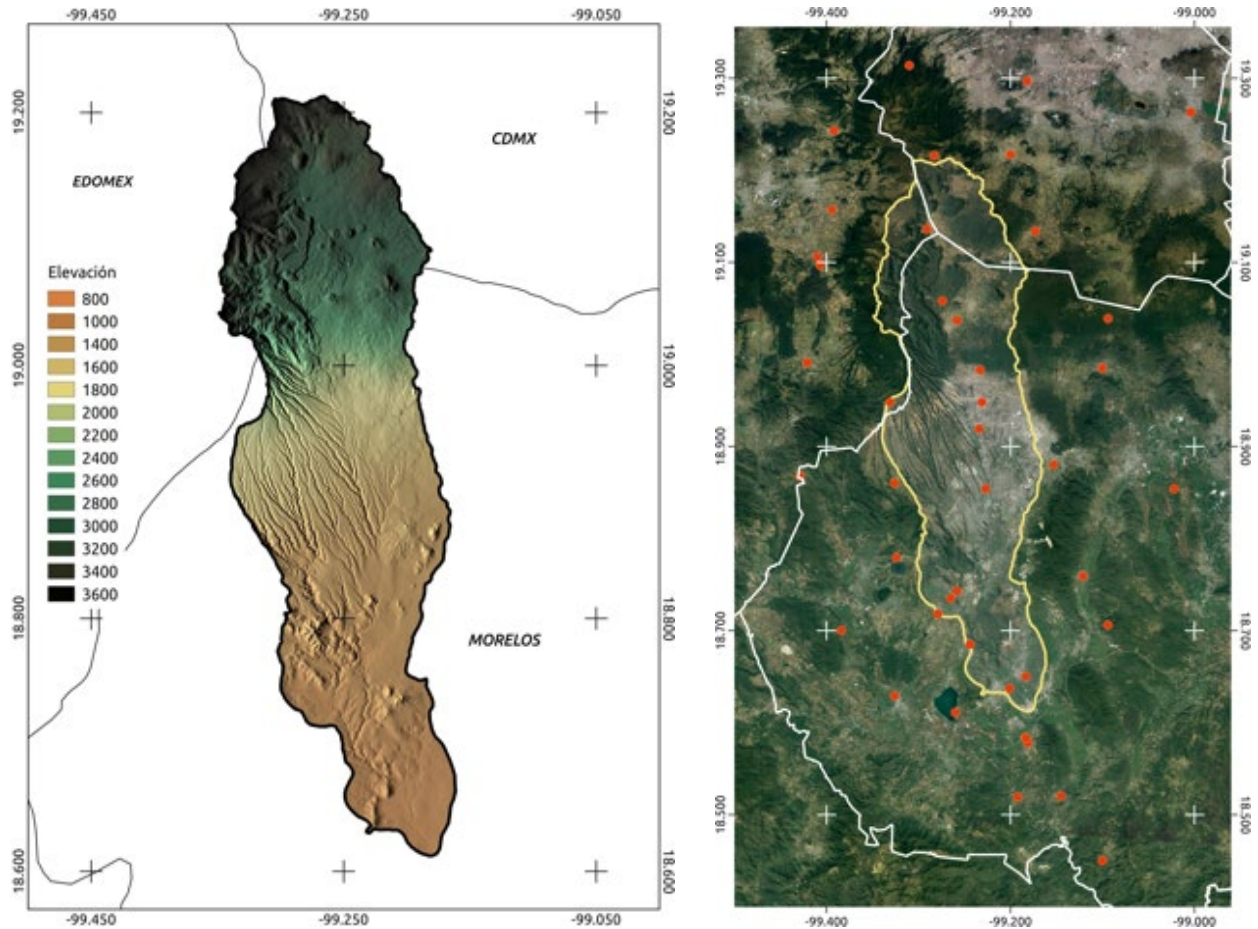


Figura 3.1. Localización y orografía de la cuenca del río Apatlaco (izq.) y ubicación de las 44 estaciones climáticas (der.) analizadas en este estudio; 14 de ellas caen dentro del límite de la cuenca.



el fin de llevar a cabo una mejor interpolación de datos para la cuenca misma. El periodo completo de estudio es de 1949-2013.

2. Analizar los datos climáticos de las estaciones y llenar los vacíos de información utilizando *Climatol* (Guijarro, 2013; Guijarro, 2018). Este proceso permite rellenar los huecos de información en la cuenca y además detectar aquellos valores sospechosos, producto de posibles errores a la hora de la captura de información (Guijarro, 2018).
3. Homogeneizar las series de datos obtenidas en el punto anterior utilizando *Climatol*. La homogeneización de datos conlleva el detectar “puntos de quiebre” en las series temporales de las variables analizadas. Estas rupturas en los datos suelen deberse a cuestiones como cambios en la localización de la estación o cambios en el ambiente de la propia estación que propicien un microclima, que no necesariamente representaría el clima real de la región. *Climatol* aplica la Prueba de Homogeneidad Normal Estandarizada (SNHT, por sus siglas en inglés) para detectar los puntos de quiebre (“inhomogeneidades”) en las series de datos (Alexandersson, 1986).
4. Generar la base de datos en malla homogeneizada utilizando la función de posproceso *dahgrid* (Guijarro, 2018). Esta provee mallas generadas a partir de las series homogeneizadas y se deben definir los límites y la resolución de la malla. En este caso, la malla cubre completamente los límites de la cuenca y está interpolada a 0.02 grados de resolución. A pesar de que el número de estaciones climáticas es limitado, se decidió interpolar a esta alta resolución para llevar a cabo una mejor estimación de los valores obtenidos en los límites geográficos de la cuenca.
5. Calcular los índices de cambio climático de la malla homogeneizada, usando como base el programa *RClimDex*. Los cinco índices ETCCDI, de un total de 27 (Zhang y Yang, 2004), analizados en este trabajo son:
 - a. SU30. Días de verano (SUMmer days).

Sea Tx_{ij} la temperatura máxima diaria en el día i periodo j Cuente el número de días cuando:

$$Tx_{ij} > 30^{\circ}C$$

b. TXX. Temperatura máxima extrema.

Sea Tx_{kj} la temperatura máxima diaria en el mes k , periodo j . La máxima temperatura máxima diaria cada mes es entonces:

$$TX_{Xkj} = \max(T_{Xkj})$$

c. TNN. Temperatura mínima extrema

Sea Tn_{kj} la temperatura mínima diaria en el mes k , periodo j . La mínima temperatura mínima diaria en cada mes es entonces:

$$TNn_{kj} = \min(Tn_{kj})$$

d. PRCPTOT. Precipitación total

Sea RR_{ij} la cantidad diaria de precipitación en el día i en el periodo j . Si I representa el número de días en j , entonces

$$PRCPTOT_j = \sum_{i=1}^I RR_{ij}$$

e. R20mm. Días con lluvia mayor a 20 mm

Sea RR_{ij} la cantidad diaria de precipitación en el día i en el periodo j . Cuente el número de días donde:

$$RR_{ij} \geq 20mm$$



6. Analizar las series temporales y anomalías estandarizadas de los índices de cambio climático calculados para cada región. Las anomalías estandarizadas están definidas como la diferencia entre el valor observado y la media de los datos, dividido todo entre la desviación estándar de los datos. Son útiles porque ayudan a discernir los valores normales de los inusuales, ya que remueven la influencia de la localidad y la dispersión de los datos. Son adimensionales y tienen la característica de que cuando son cero, el valor es igual a la media y, cuando es 1, es igual a la desviación estándar de los datos.
7. Analizar los índices a través de diagramas Hovmöller, con elevación de las estaciones vs. tiempo, para la cuenca. Los diagramas Hovmöller no son más que diagramas de contorno para conocer la evolución temporal de cierta variable con respecto a la latitud, longitud, etc. Aquí se emplea esa misma idea para explorar la evolución temporal de los índices, con respecto a la elevación de las estaciones climáticas. Los dos últimos puntos de la metodología fueron llevados a cabo con programas propios en lenguaje R.

3.5. Resultados

3.5.1. Caracterización climática de la cuenca del río Apatlaco

Los datos de las 44 estaciones climáticas analizadas fueron recopilados del Servicio Meteorológico Nacional, a través del sistema *Clicom* (Figura 3.2).

Los datos muestran un máximo de información alrededor de los años ochenta; sin embargo, se pueden observar huecos importantes tanto antes como después de ese periodo. La cobertura de datos completos en precipitación fue de sólo 49%, y para la temperatura máxima y mínima de 46% para cada una. Por otro lado, la pérdida de información después de los años ochenta, desafortunadamente es una característica



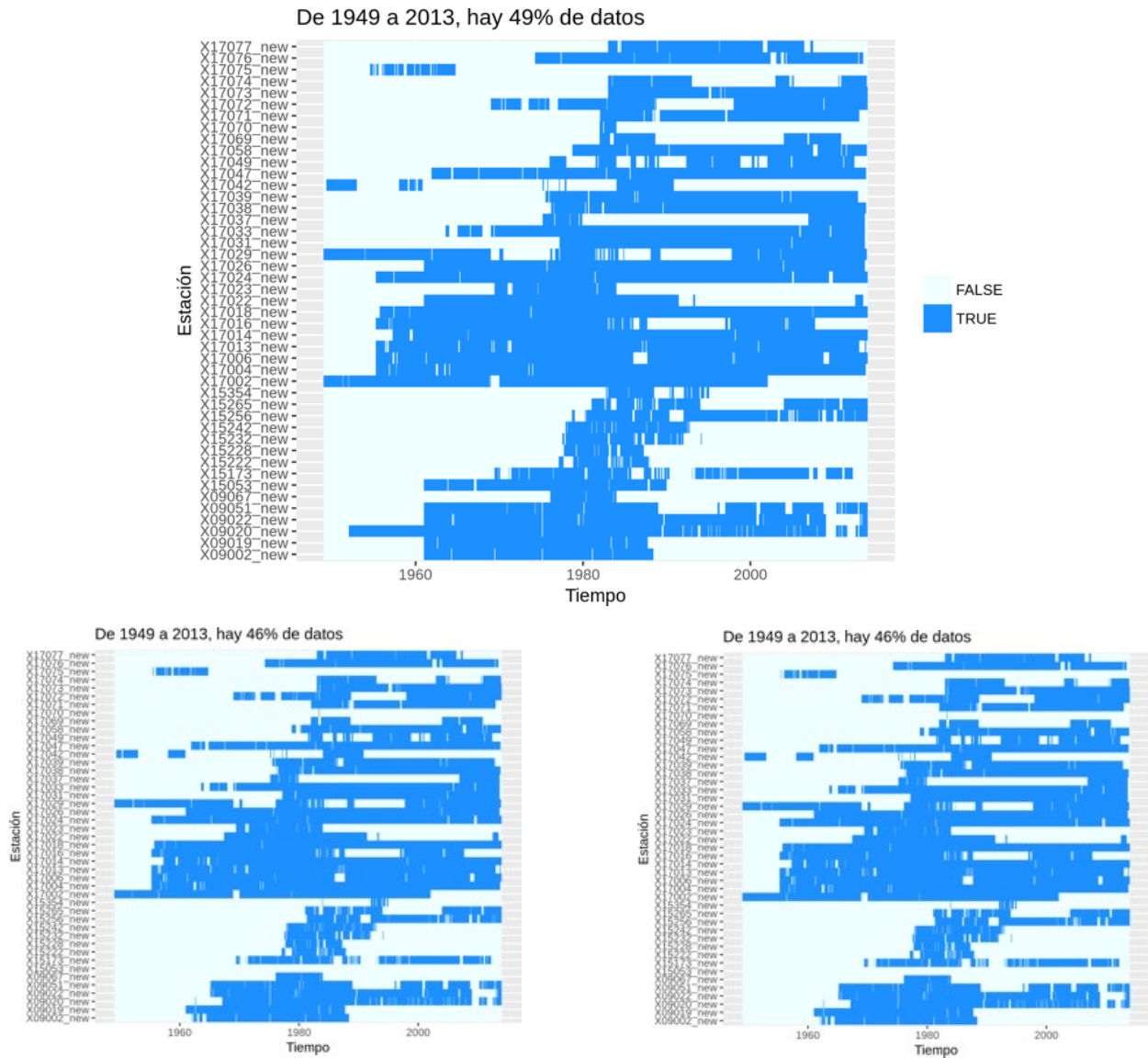


Figura 3.2. Disponibilidad de datos diarios (azul) de precipitación (arriba), temperatura máxima (abajo izq.) y temperatura mínima (abajo der.) para las 44 estaciones climáticas, dentro de los 20 km de los límites de la cuenca del río Apatlaco, de 1949-2013. El identificador de cada estación se encuentra en el eje de las ordenadas.



de las estaciones climáticas a escala nacional y no únicamente de esta cuenca, en particular (Figura 3.3).

Utilizando la información mencionada en la Figura 3.2, se utilizó *Climatol* para analizar la calidad de datos, relleno de huecos de información y, finalmente, la homogeneización, tal y como se describió anteriormente en la metodología. Ya con las estaciones climáticas homogeneizadas se procedió a generar la base de datos en malla homogeneizada, utilizando la función *dahgrid*.

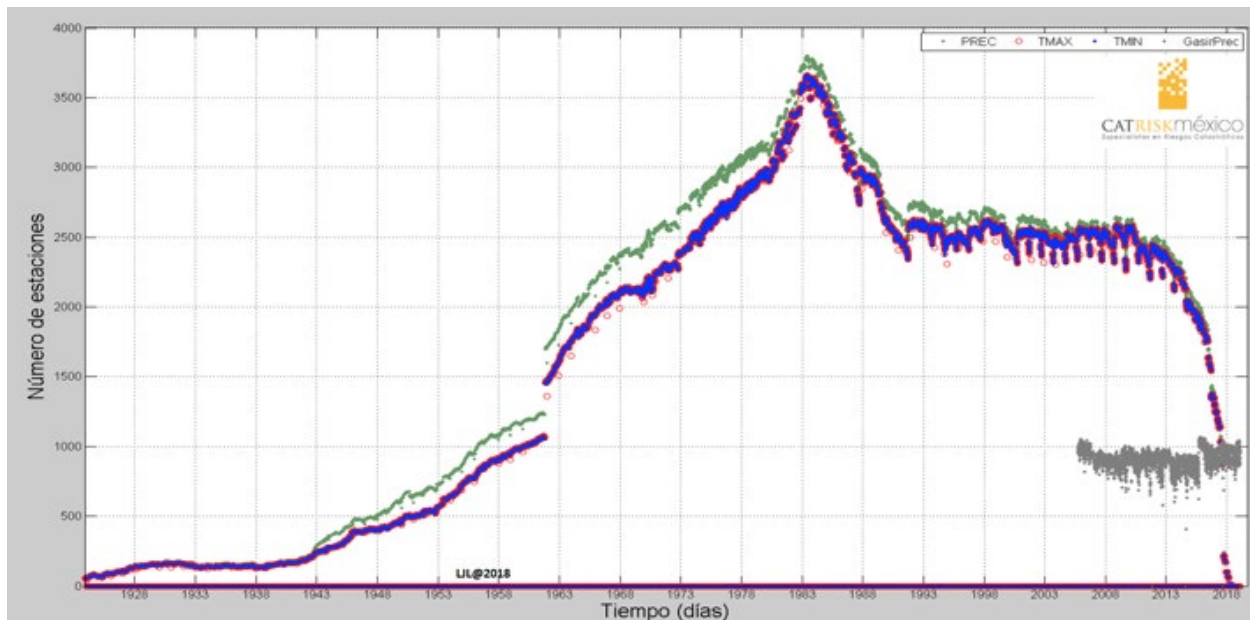


Figura 3.3. Serie temporal del número de estaciones que reportan precipitación (PREC), temperatura máxima (TMÁX), temperatura mínima (TMÍN) y precipitación de las estaciones controladas por Gasir⁴ (GasirPrec), a lo largo de la historia para México. (Fuente: M. C. Laura Jiménez Lagunes, de CatRisk México, 2018).

4 Gerencia de Aguas Superficiales e Ingeniería de Ríos, de la Comisión Nacional del Agua.

Con base en los resultados de esta malla homogeneizada se muestra la distribución geográfica de la precipitación total, temperatura máxima y mínima media anual de la cuenca (Figura 3.4). De acuerdo con lo esperado, la región de menor precipitación se encuentra en la parte baja de la cuenca (mínimo de 817 mm) y la de mayor precipitación en la parte alta de la cuenca (máximo de 1 557 mm) para el periodo analizado. En la parte media de la cuenca notamos que el gradiente de precipitación en la zona es mayor para la región oriental (más urbana) que para la occidental (más rural).

En cuanto a la temperatura máxima y mínima (Figura 3.4b y Figura 3.4c), nuevamente siguen en general el comportamiento esperado; es decir, las zonas más cálidas se encuentran en la parte baja de la cuenca y las más frías en la zona alta. La temperatura máxima registra un máximo de casi 33 °C en la parte baja de la cuenca y, en la parte más alta, se encuentra el mínimo de 16.3 °C. En cuanto a la temperatura mínima, el máximo se vuelve a dar en la parte baja de la cuenca (16.7 °C) y el mínimo en la más alta (2.8 °C). Con respecto a la zona media de la cuenca, al comparar las dos áreas de estudio, se nota claramente el posible efecto del conocido efecto de isla de calor, sobre todo para la temperatura máxima, donde claramente se nota una región más cálida, precisamente en la zona metropolitana de la ciudad de Cuernavaca.

Los resultados del ciclo anual de precipitación, temperatura máxima y mínima para el período 1949-2013, promediado para toda la cuenca del río Apatlaco, se muestran



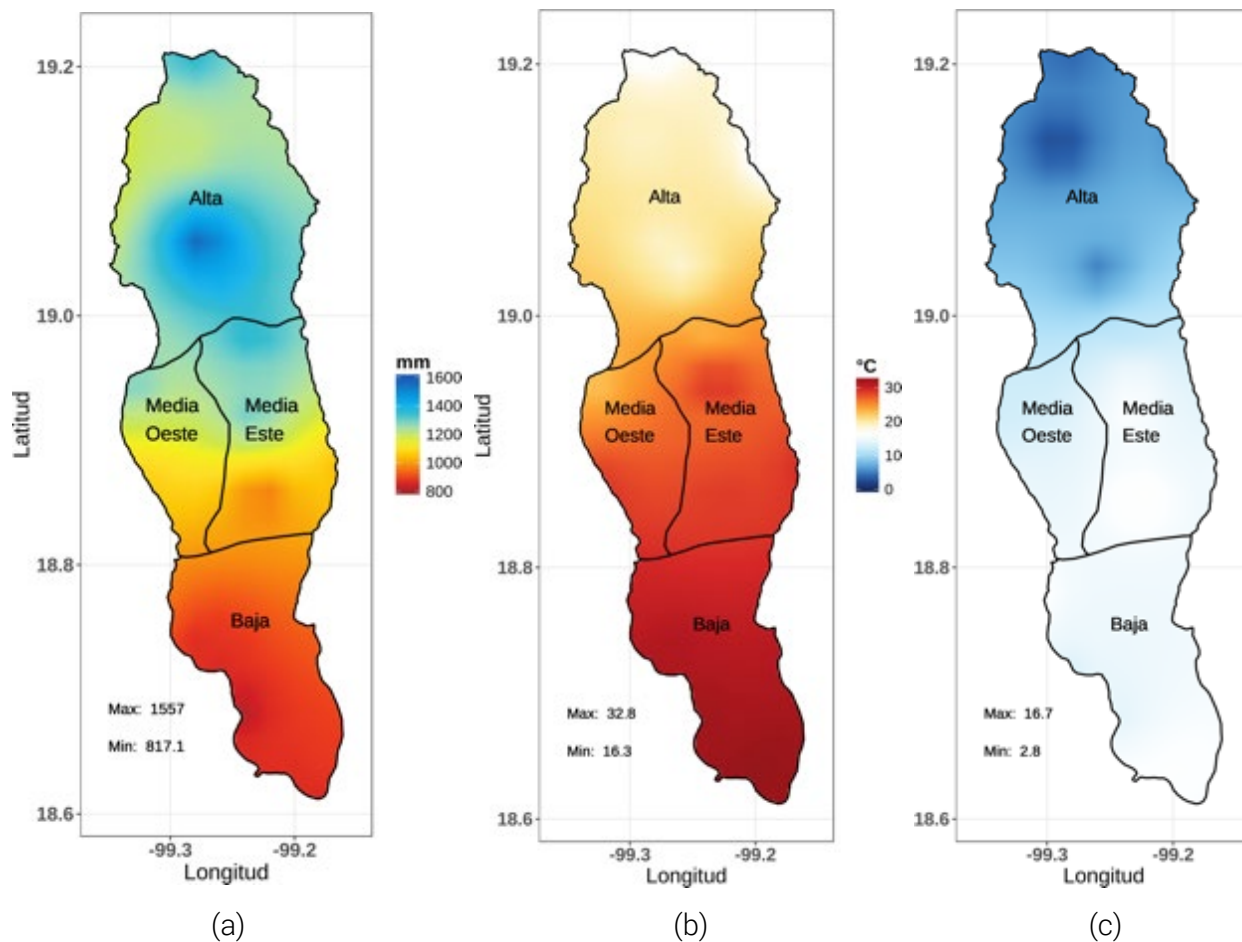


Figura 3.4. Distribución geográfica de la media anual de: a) precipitación (mm); b) temperatura máxima (°C) y c) temperatura mínima (°C) para la cuenca del río Apatlaco, de acuerdo con los datos obtenidos de la malla homogeneizada para el periodo 1948-2013. También, se muestran los límites de las cuatro regiones de estudio en la cuenca.

en la Figura 3.5. La precipitación media anual obtenida es de 1 153 mm, y uno de los aspectos más relevantes es que el promedio para toda la cuenca es del tipo monzónico, donde el máximo de precipitación ocurre durante los meses de verano con el máximo en el mes de agosto (238.5 mm). No obstante, este comportamiento generalizado para toda la cuenca podría ser erróneo, ya que como se ha notado, se trata de una cuenca con una orografía muy marcada en que los patrones de precipitación podrían ser muy diferentes, como ya lo han mencionado otros trabajos (IMTA, 2008). En cuanto a temperatura máxima, la media anual encontrada es de 25.4 °C, con el máximo en abril de 28.8 °C y el mínimo en diciembre, con 23.7 °C. Finalmente, la temperatura mínima media anual es de 11.4 °C, con el máximo de la misma en junio (13.9 °C) y el mínimo en enero (7.9 °C). De esta forma, la diferencia del rango de temperaturas (diferencia entre temperatura máxima y mínima) media anual es de 14 grados Celsius.

No obstante que los datos promedio dan una cierta idea de lo que está sucediendo en la cuenca, siempre es necesario discernir el análisis por subregiones para entender mejor el comportamiento climático de la misma (Figura 3.6). En el caso de la precipitación, tal y como se espera, la cantidad de lluvia anual es mayor en la parte alta de la cuenca, seguido de la parte media de la cuenca y, finalmente, la parte baja con la menor cantidad de precipitación. Por otro lado, se nota una precipitación tipo monzónica (con máximo en julio) en la parte alta, contrastando con una tipo canícula en la parte baja (mínimo relativo en julio, precisamente) de la cuenca. Con claridad, la época de lluvias comienza en mayo y termina en octubre (94% de las lluvias en estos seis meses), y la época seca de noviembre a abril, en donde vemos que la lluvia frontal tiene poca relevancia en la zona. En cuanto a las dos zonas medias, ambas presentan una ligera canícula (con mínimo relativo en julio), pero la región occidental (rural) presenta su segundo máximo relativo en agosto, mientras que la región oriental (urbana) presenta su segundo máximo relativo (y máximo de todo el año) hasta septiembre. Esta diferencia sutil



podría deberse al propio proceso de urbanización a lo largo de los años, a la diferencia en tipo de suelo, o bien, a las trayectorias de vientos dominantes sobre cada una de las dos zonas. Los vientos dominantes son importantes porque pueden traer humedad del Golfo de México, proveniente de las partes norte, noreste y este de la cuenca. Habrá que hacer un estudio más detallado para explicar estas diferencias en el patrón de lluvias de las dos regiones de la cuenca media.

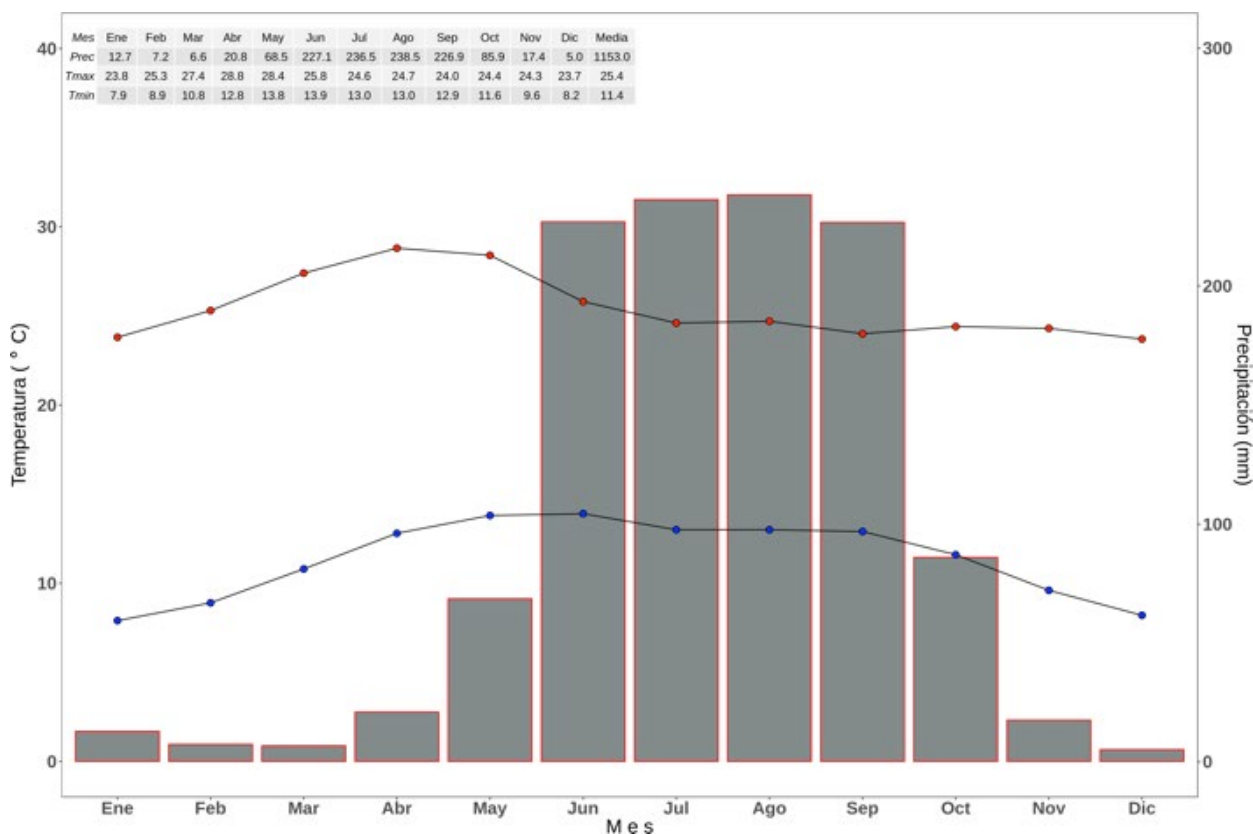


Figura 3.5. Climogramas de precipitación, temperatura máxima y temperatura mínima para la cuenca del río Apatlaco.

En cuanto a las temperaturas máxima y mínima (Figura 3.6), se observa que los patrones de ciclo anual de ambas temperaturas son muy similares en las cuatro regiones. La diferencia radica en los valores por cuenca, ya que como era de esperarse, las temperaturas más altas se registran en la parte baja de la cuenca y las más bajas en la parte alta. También se nota claramente que las DTR mensuales, que no es otra cosa más que la diferencia en la temperatura máxima y la temperatura mínima, son mayores en la parte baja de la cuenca y menores en la parte alta. Todas las regiones coinciden con que el máximo de temperatura máxima es en abril y el mínimo de la mínima en enero. Por último, cabe resaltar que aunque existe un gran parecido en el ciclo anual de temperaturas en las dos regiones de la cuenca media, se observa un pequeño incremento en las temperaturas de la parte este de la cuenca, del orden de 0.8 a 0.9 °C. Este pequeño aumento bien podría deberse al conocido efecto de isla de calor, que suele darse por la pavimentación de las ciudades, lo cual disminuye el albedo de superficie propiciando así mayor calentamiento en las zonas urbanas. Para explorar más esta posible explicación habría que hacer un análisis a escala de estación, comparando la estación de Cuernavaca con alguna estación en la cuenca oeste, a una altitud parecida.

3.5.2. Series temporales y anomalías estandarizadas de los índices de cambio climático ETCCDI para la cuenca

A partir de la base de datos en malla homogeneizada se procedió a calcular los cinco índices de cambio climático ETCCDI, descritos en la metodología, para las cuatro regiones de la cuenca y el promedio de la cuenca completa. Los resultados se presentan mediante las series temporales de los índices, así como de las anomalías estandarizadas descritas anteriormente.





Los días de verano (adaptados para esta cuenca cuando $T_{\text{máx}} > 30\text{ }^{\circ}\text{C}$), de manera general y para todo el periodo, tienen una alta correspondencia entre la cuenca promedio y la parte baja de la cuenca (Figura 3.7). Por otro lado, se tiene una anomalía estandarizada completamente positiva, para la cuenca promedio y la cuenca baja, en las últimas dos décadas analizadas (1993-2013). En la parte media de la cuenca, el SU30 es claramente positivo de 2005 al 2013 y, para la parte alta de la cuenca, sólo del 2008-2013. También, es notable el período largo de prácticamente tres décadas con anomalías estandarizadas negativas que se da para todas las regiones de la cuenca (excepto la parte alta) de 1963-1990. Antes de ese periodo prevalecieron las anomalías positivas de este índice, de 1949 a 1962.



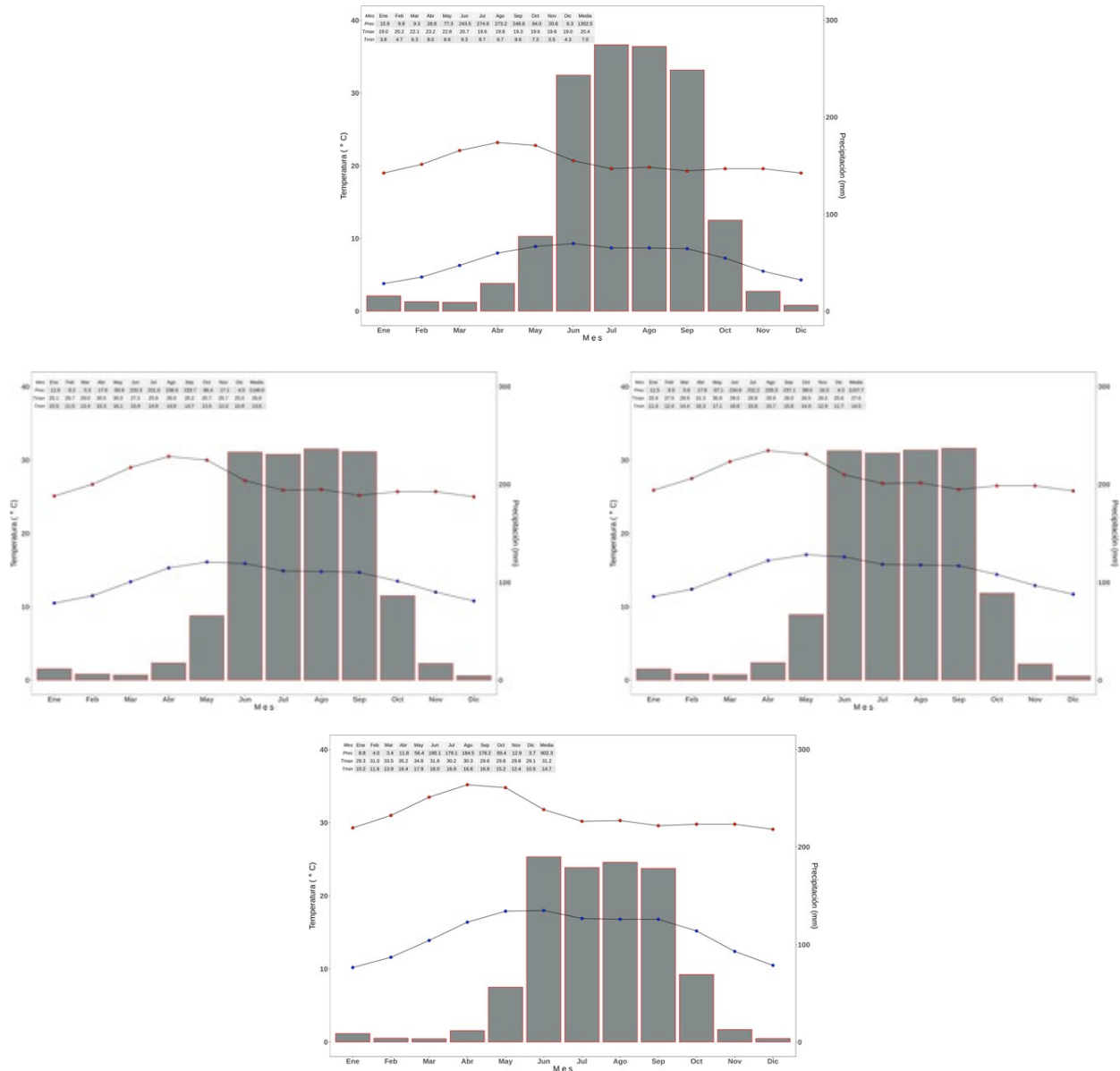


Figura 3.6. Climogramas de precipitación, temperatura máxima y temperatura mínima para la zona alta (arriba), media oeste (central izquierda), media este (central derecha) y baja (abajo) de la cuenca del río Apatlaco.



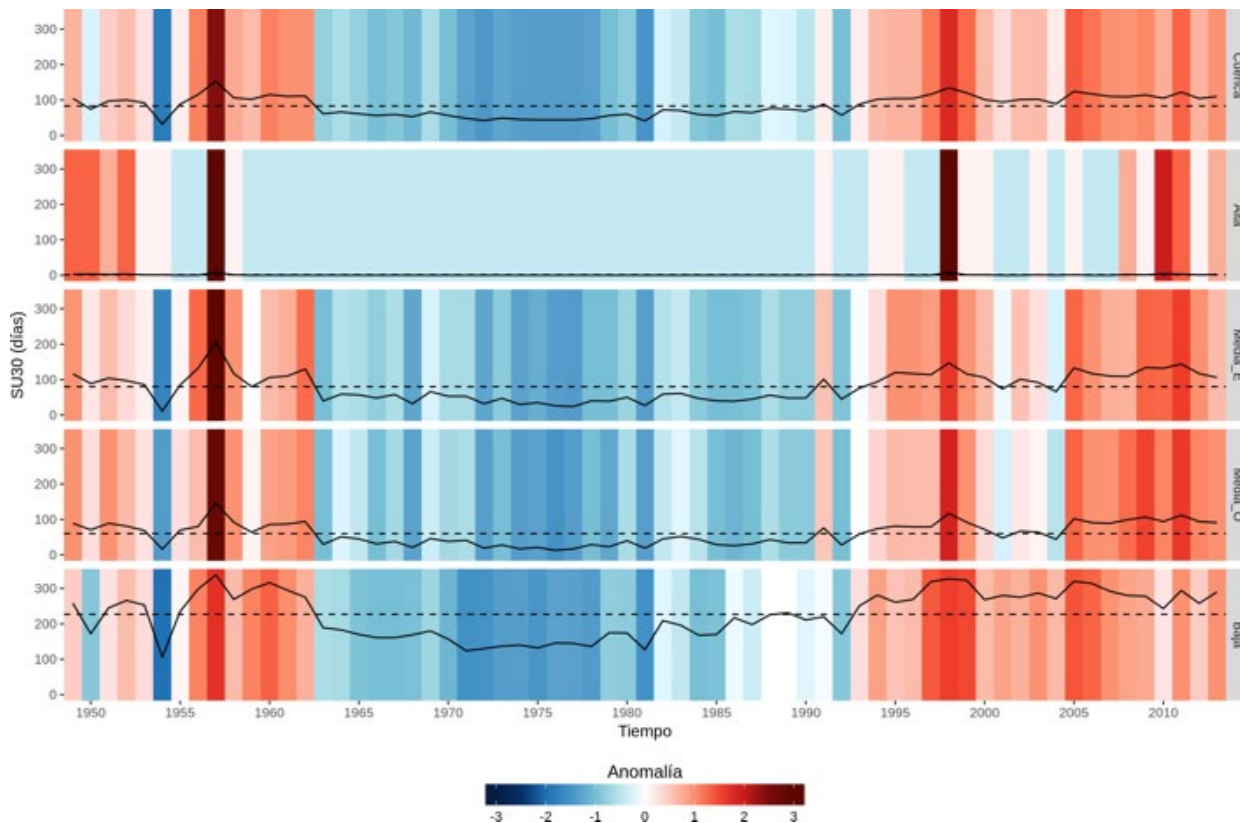


Figura 3.7. Serie de tiempo y anomalía estandarizada del índice días de verano, SU30, para la cuenca.

Es importante observar, con detenimiento, el comportamiento de las dos zonas medias de la cuenca. Se nota una alta correlación temporal entre las dos regiones; sin embargo, los valores de la parte este de la cuenca son mayores tanto en el valor medio como en los valores anuales. En un principio, podríamos decir que la explicación radica en que una zona está urbanizada (parte este) y la otra es rural. No obstante, dado que esas diferencias prevalecen durante todo el periodo analizado, es posible que dicha diferencia no sea debida únicamente al efecto de la urbanización, sino más bien al tipo

de terreno ya que, como puede observarse en la Figura 3.1, del lado oeste de la cuenca media existen más barrancas y arroyos que en la parte este, contribuyendo con esto a la diferencia en el albedo de superficie de ambas zonas, lo cual trae consigo diferencias en el calentamiento de las dos zonas.

Es posible que este comportamiento regular de mediano a largo plazo pudiese estar siendo afectado por el comportamiento de oscilaciones climáticas de baja frecuencia (tipo AMO⁵ o PDO⁶), pero se necesitará de un trabajo más profundo para corroborar esta hipótesis.

De manera similar al índice anterior se presentan los resultados para la temperatura máxima extrema (TXX) (Figura 3.8). Existe un comportamiento similar para todas las regiones en relación a SU30; sin embargo, hay algunas diferencias sutiles por remarcar. Por ejemplo, se observa que se invierte la duración del periodo dominante de la anomalía estandarizada positiva por regiones hacia la última parte del periodo. Ahora la anomalía positiva domina desde 1991-2013 para la parte alta, desde 1993-2013 para la parte media (es más notable en la parte oriental, urbanizada) y menor la duración para cuenca baja del Apatlaco, sólo de 2005-2013. También se observa que el periodo “frío” (anomalías negativas de TXX) tiene una mayor duración, 1965-2004, para la región baja de la cuenca. De la misma forma, la duración del periodo cálido más antiguo corresponde también a la parte baja, ya que se presenta de 1949-1962. En cuanto a la diferencia de TXX para las partes este y oeste de la cuenca media, se vuelve a notar una alta correlación temporal, pero los valores de la parte urbanizada (oriental) son ligeramente mayores (alrededor de 1 °C más o menos).

5 Oscilación Multidecadal del Atlántico.

6 Oscilación Decadal del Pacífico.



Los resultados de las series de tiempo y anomalías estandarizadas por región para la temperatura mínima extrema (TNN) se presentan en la Figura 3.9. Como se puede observar, los cambios interanuales de la anomalía son más variables que en el caso con TXX, ya que se observa que los periodos de cambio son el mismo signo de la anomalía; considerablemente más cortos.

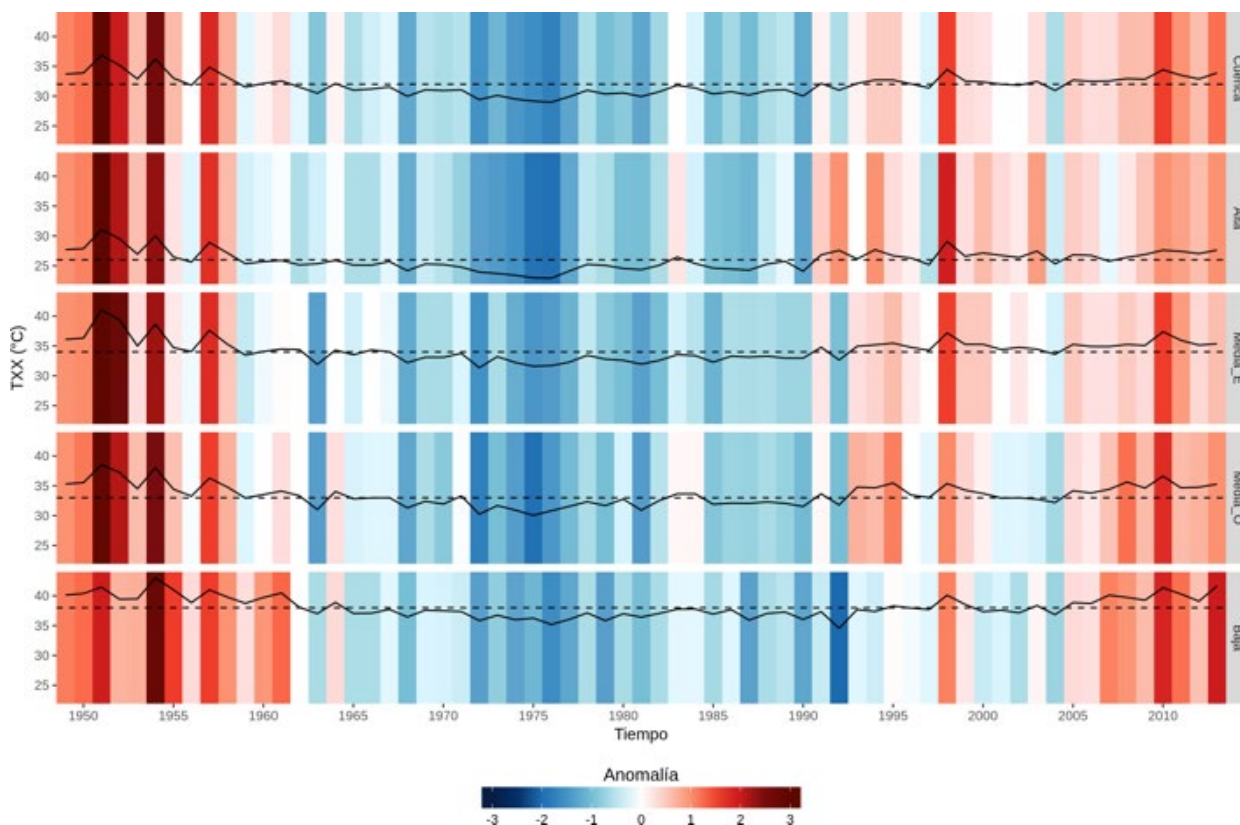


Figura 3.8. Lo mismo que en la Figura 3.7, pero para TXX (°C).

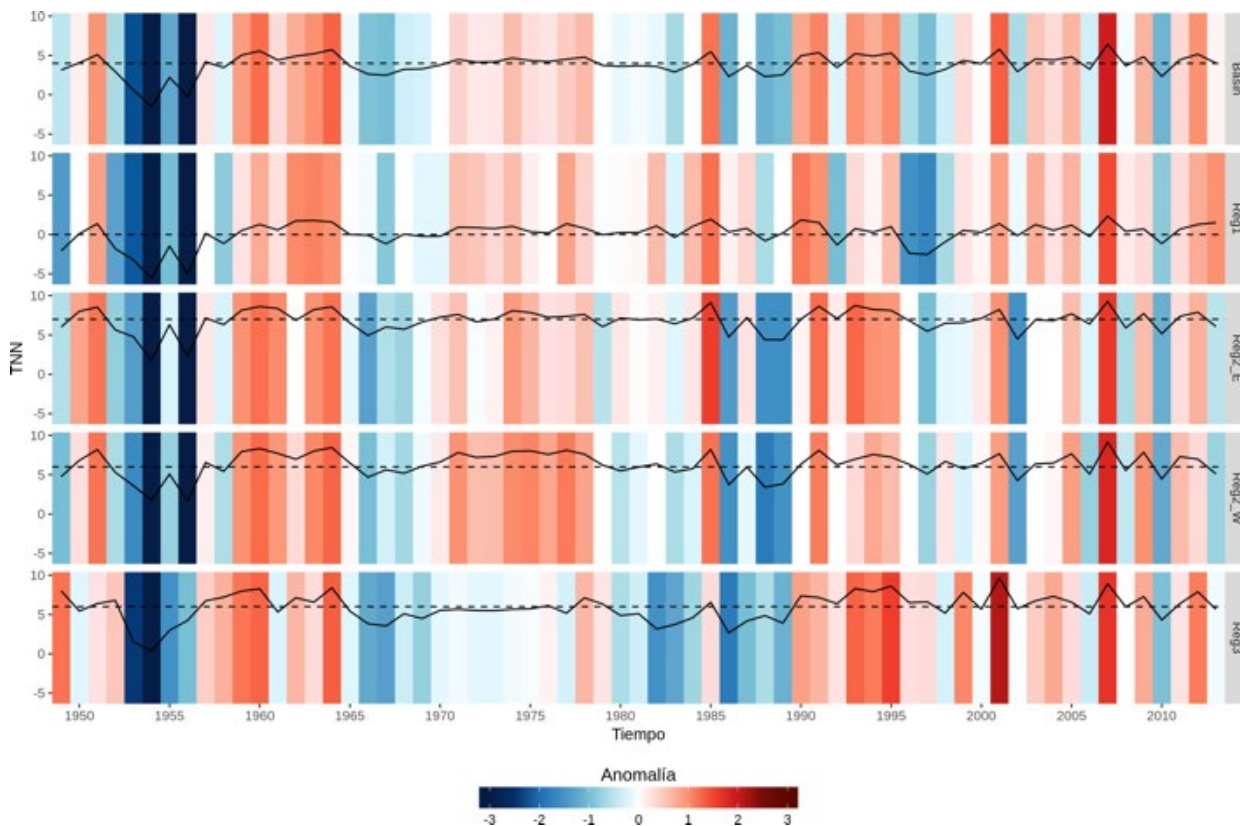


Figura 3.9. Lo mismo que en la Figura 3.7, pero para TNN (°C).

Notable, quizá, es que en las primeras dos décadas del periodo de estudio los cambios en el signo de la anomalía eran más regulares y coincidían, en general, para todas las regiones. Sin embargo, a partir de los años setenta, en muchas ocasiones el signo de la anomalía estandarizada de TNN no coincidió para todas las cuencas. Por ejemplo, entre 1970 y 1990 la anomalía estandarizada entre la cuenca alta y baja de la cuenca tenía el signo contrario, lo que implicaba que cuando en un sitio las mínimas extremas se hacían más calientes, en el otro lado se hacían más frías y viceversa. De los años noventa a la fecha, en general, es difícil concluir con certeza el comportamiento general



de la cuenca, aunque parecen prevalecer más los signos de calentamiento (anomalías positivas). La mayor correlación entre regiones se vuelve a dar para las dos cuencas medias, pero nuevamente se nota un ligero incremento del lado de la parte urbana, posiblemente asociado a la isla de calor.

Nuestro siguiente índice a analizar es la precipitación total (PRCPTOT), cuyos resultados se muestran en la Figura 3.10. Para este índice se vuelve a notar una alta correspondencia espacial y temporal en las anomalías estandarizadas del mismo.

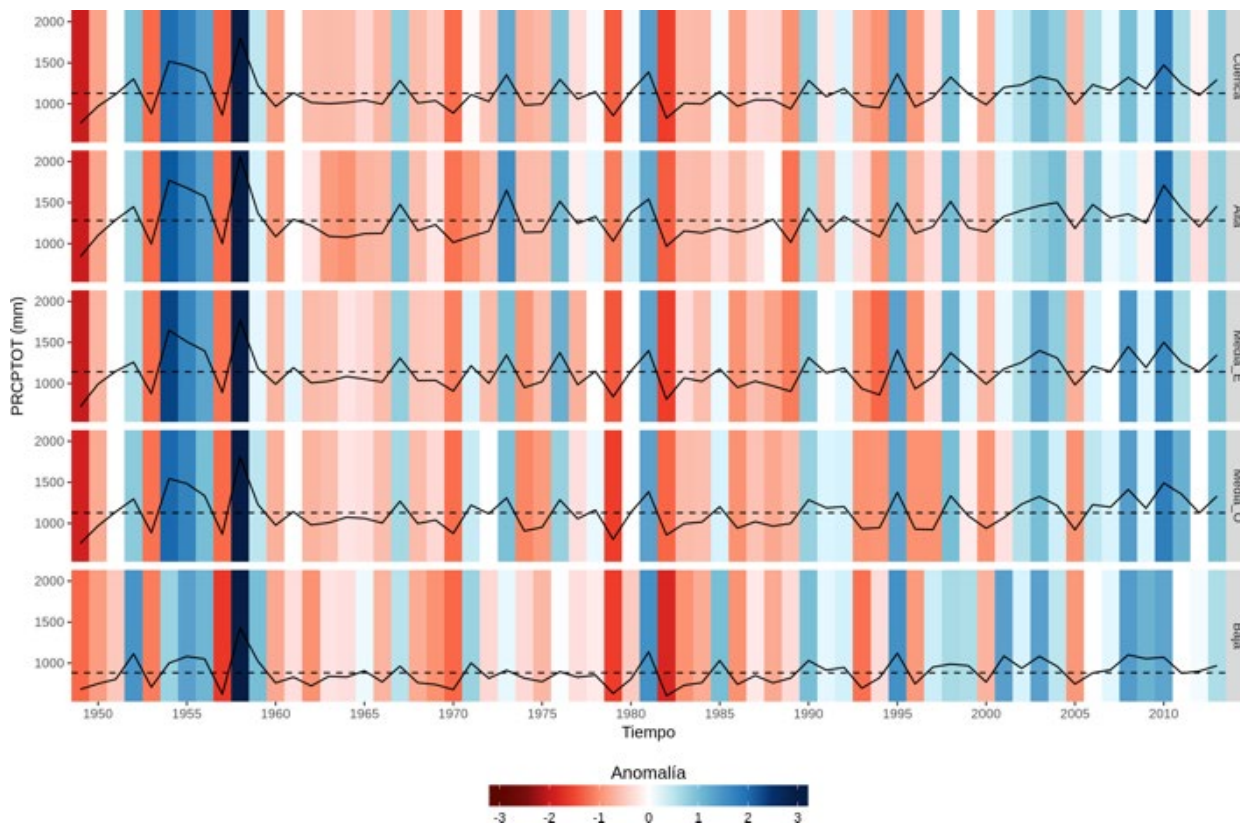


Figura 3.10. Lo mismo que en la Figura 3.6, pero para PRCPTOT (mm).

Después del breve periodo de anomalías estandarizadas negativas (seco) de 1949-1951, prevalece un periodo de anomalías positivas (húmedo) hasta 1959. Sin embargo, a partir de ahí y hasta 1989 dominan las anomalías negativas asociadas a precipitaciones por debajo de la media. La siguiente década, de los años noventa, se podría catalogar más como un periodo de transición, para regresar a las anomalías estandarizadas positivas en el último periodo de 2001 a 2013. La región con mayor amplitud en el rango de PRCPTOT corresponde a la cuenca alta, donde se registran también las mayores precipitaciones, como se mencionó con anterioridad.

Ahora se presentan los resultados para el número de días al año en que la precipitación rebasa las precipitaciones por arriba de 20 mm (Figura 3.11), índice conocido como R20mm.

A pesar del innegable parecido que existe con el patrón de anomalías del índice de PCRPTOT, las diferencias importantes las encontramos en que prácticamente para las cuatro regiones de la cuenca se observa un mayor contraste entre los valores de las anomalías interanuales, lo cual implica que los valores extremos de las anomalías estandarizadas son mayores.



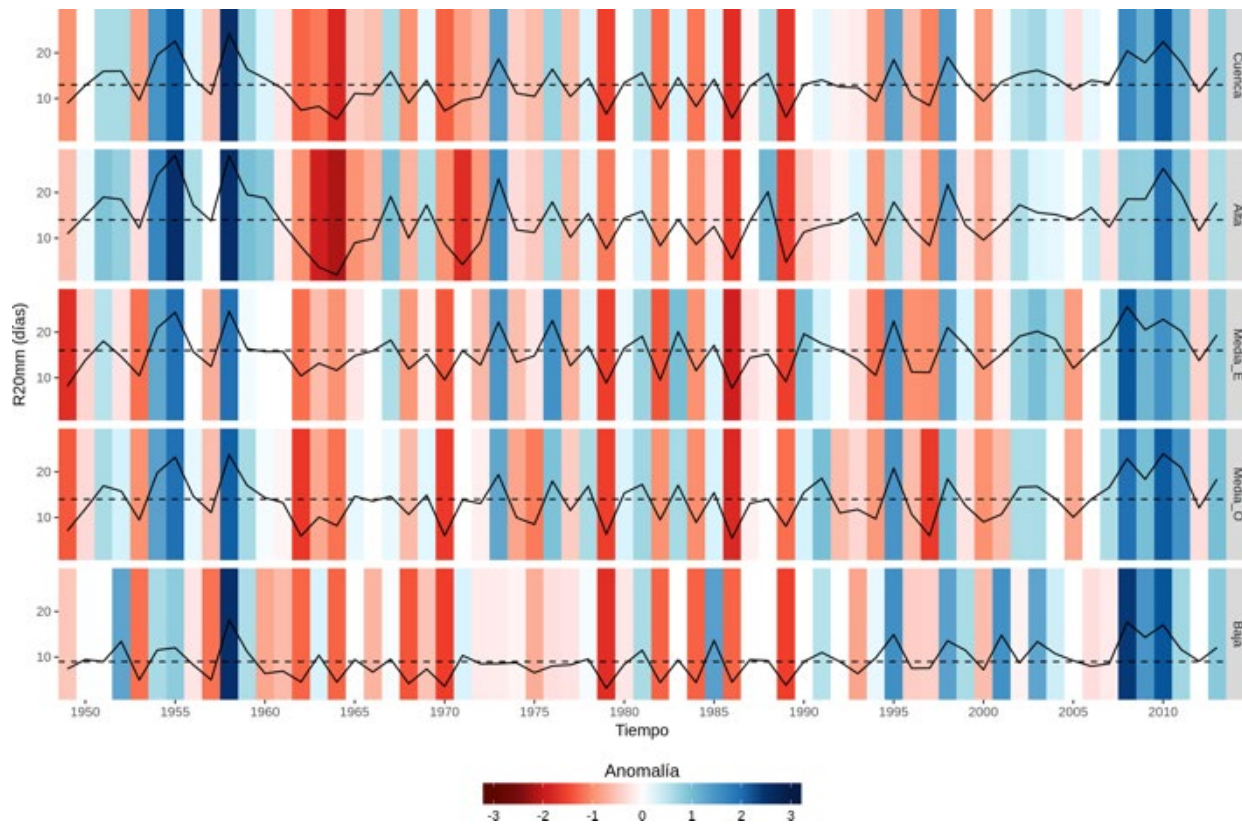


Figura 3.11. Lo mismo que en la Figura 3.6 pero para R20mm (días).

3.5.3. Diagramas Hovmöller con elevación de las estaciones vs. tiempo, de los índices de cambio climático ETCCDI para la cuenca

Como se explicó en la metodología, se crearon diagramas Hovmöller para analizar el comportamiento temporal del índice, con respecto de la elevación de las estaciones climáticas en la cuenca. Dada la geografía y orografía de la cuenca, es preciso recordar que la parte alta (elevaciones más altas) se encuentra en la parte norte, y la parte baja se encuentra en la parte sur.

De esta forma, la evolución temporal del índice de temperatura máxima extrema, TXX, con respecto a la elevación de las estaciones climáticas, se presenta en la Figura 3.12. De manera general, se vuelve a observar el comportamiento ya observado anteriormente para toda la cuenca; esto es, muy caluroso en la primera década, después un lapso relativamente frío de casi tres décadas y, a partir de los años noventa, un nuevo calentamiento que aún no llega a compararse al de la década de los años cincuenta. Un aspecto nuevo es que para la cuenca media, el calentamiento de la década de los años noventa casi alcanzó los niveles del calentamiento de los años cincuenta para esta zona. Lo mismo para la parte más alta de la cuenca; no se nota mucha diferencia en temperaturas máximas extremas durante esos periodos (años cincuenta vs. años noventa) para esa región. El calentamiento de la década de los años cincuenta no se ha vuelto a registrar en ningún otro periodo para la parte baja de la cuenca, no obstante el aumento en temperaturas registrado recientemente. De igual forma, el periodo de temperaturas máximas extremas en la parte alta de la cuenca, registrado en las décadas de los años setenta y años ochenta, no se ha vuelto a registrar.



Analizando el índice de las temperaturas mínimas extremas (Figura 3.13), se puede observar que hay diferencias muy drásticas con respecto al índice anterior. Por ejemplo, es muy claro que la zona con los mayores valores de este índice es la parte media de la cuenca (entre los 1 200 y 2 000 m). Ahí se puede notar que los periodos más cálidos han sido al principio, alrededor de 1950, después en la primera mitad de los años sesenta y después en la primera mitad de los años noventa; todo esto para la cuenca media. Es importante apuntar que esta diferencia de mayores valores de TNN para la cuenca media que para la cuenca baja bien podría ser una influencia del cambio de uso del suelo, el cual afecta directamente el albedo de superficie y, con ello, las partes radiativas de la región. El hecho de que lo anterior sea notable para TNN y no para TXX podría ser consecuencia de que las regiones pavimentadas de la ciudad concentren mayor calor durante el día y su emisión de energía de onda larga sea mayor durante la noche y, así, se tengan noches relativamente más calurosas. De manera general, para todas las regiones la evolución temporal de este índice ha sido más azarosa que el anterior, ya que parece darse en pulsos de periodos cálidos y fríos más cortos que en TXX y, más aún, bastante irregulares durante las últimas dos décadas.

En cuanto al índice PRCPTOT, se notan varios aspectos interesantes (Figura 3.14). Por ejemplo, a excepción del periodo 1954-1958, los valores precipitación anuales más altos no se han dado en las regiones más altas, sino que se encuentran ubicados en estaciones con altitud entre 1 700 y 2 900 m. Por otro lado, para la parte baja de la cuenca, las menores precipitaciones se registraron alrededor de 1950 y de los años sesenta a los años noventa. A partir de ahí, han comenzado a aumentar paulatinamente los valores de precipitación para prácticamente todas las regiones de la cuenca.

Finalmente, se presentan los resultados para el índice R20mm (Figura 3.15). Resulta un tanto sorprendente que el número de días con precipitaciones por arriba de los 20 mm



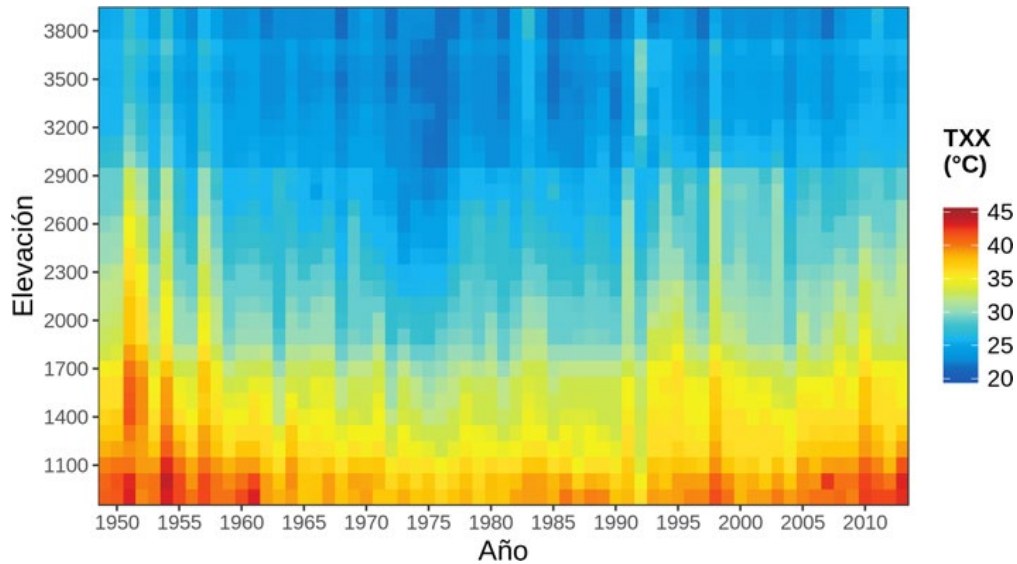


Figura 3.12. Diagrama Hovmöller del índice TXX anual con la elevación de las estaciones vs. tiempo, en la cuenca del río Apatlaco.

no se registre en la parte más alta de la cuenca, sino más bien en el rango de entre los 1 500 a 2 900 m. Sin embargo, la explicación a esto podría deberse a que en la parte más alta de la cuenca no se alcancen a desarrollar nubes convectivas tan potentes que precipiten ahí con fuerza por la misma altura del terreno. Sin embargo, en regiones relativamente más bajas (como la parte alta de la cuenca media) las nubes convectivas potentes (cumulonimbus) estén por encima del terreno y de esta forma precipiten ahí con mayor fuerza más veces al año. En relación con lo anterior, también se encuentra que los valores más bajos de este índice no se dan en la parte baja de la cuenca (donde llueve menos), sino más bien en la parte alta (donde llueve más). Por último, durante la última década, en prácticamente toda la cuenca, los valores de este índice también se han incrementado en correspondencia con la PRCPTOT.



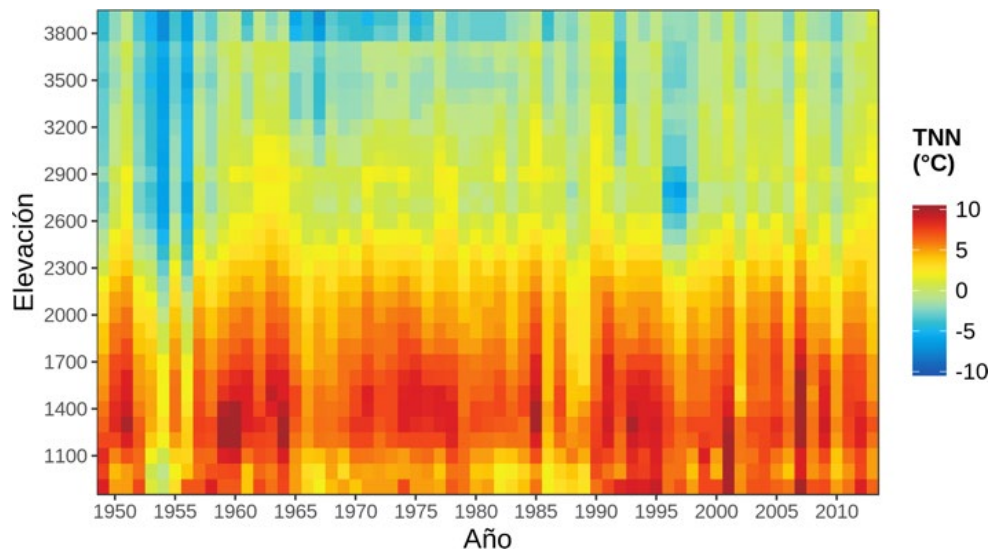


Figura 3.13. Lo mismo que en la Figura 11, pero para TNN.

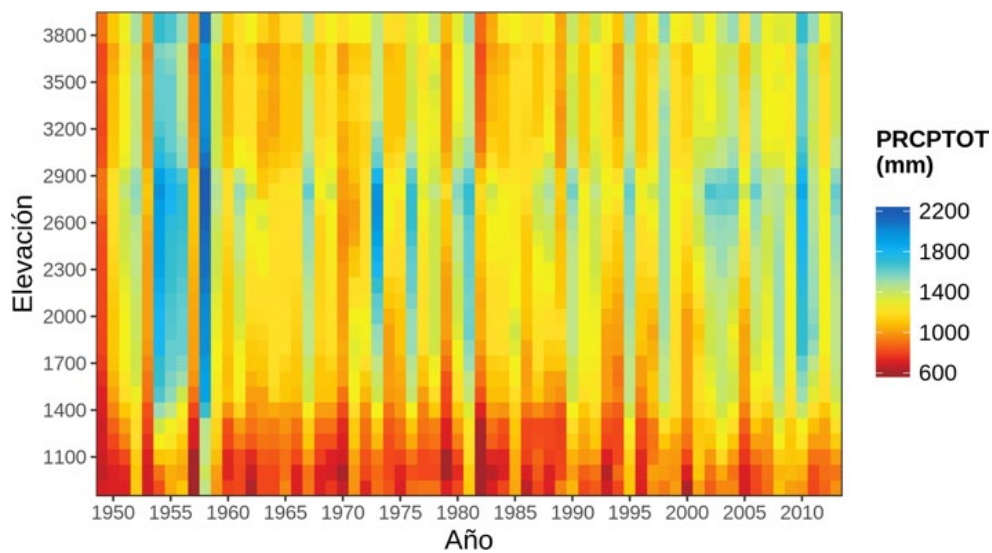


Figura 3.14. Lo mismo que en la Figura 11, pero para PRCPTOT.



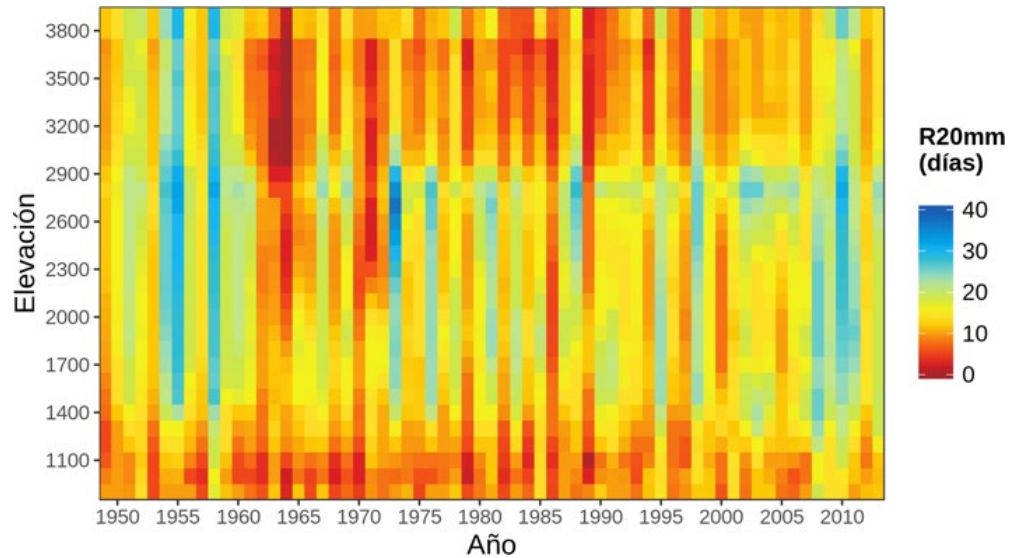


Figura 3.15. Lo mismo que en la Figura 11 pero para R20mm.

3.6. Sumario y conclusiones

A pesar de ser una región relativamente pequeña, la cuenca del río Apatlaco tiene un interés particular porque contiene una marcada orografía y cambios contrastantes en el tipo y uso de suelo, dando como resultado diferentes tipos de clima para la región. Además, el hecho de estar tan cerca de la Ciudad de México la hace un sitio excelente para comparar las variaciones en el clima de esta región contra las de la gran urbe del país.

En el presente trabajo se han encontrado los siguientes resultados relevantes:

- Se confirma que sigue siendo un problema significativo el número de estaciones disponibles y su respectivo mantenimiento. Tal y como lo confirman la Figura 3.2 y Figura 3.3 de este capítulo, la pérdida de datos es muy notoria después de los años ochenta. Desafortunadamente, para el



periodo de este estudio (1949-2013) no se obtuvo ni siquiera el 50% de cobertura en los datos históricos disponibles.

- Los resultados de este trabajo, con las bases de datos homogeneizadas, han confirmado el rango de valores de precipitación y temperatura anual para la cuenca estudiada. Estadísticamente, no hay discrepancia significativa en los valores de los rangos obtenidos en otros estudios (IMTA, 2007; IMTA, 2008⁷). También, fueron confirmados el comportamiento del ciclo anual de la precipitación y temperatura en diferentes regiones de la cuenca (IMTA, 2007⁸).
- Uno de los principales aportes de este capítulo es que, finalmente, se tiene una distribución espacial completa de la precipitación y temperaturas máximas y mínimas anuales de la cuenca (Figura 3.13), así como el ciclo anual de las cuatro regiones analizadas (Figura 3.14). No se encontró en la literatura ningún resultado similar con anterioridad.
- Se proporcionó el primer estudio de índices de cambio climático para la cuenca. Para los días de verano (SU30) se encuentra que la señal climática está dividida principalmente en tres periodos: periodo de anomalías estandarizadas positivas (cálido) de 1949-1962, periodo de anomalías estandarizadas negativas (frío) de 1963-1992 y otro período cálido reciente de 1993-2013. El hecho de que la duración promedio de las anomalías tenga periodos largos nos hace pensar que podrían tener influencia las oscilaciones planetarias de baja frecuencia, como la AMO y/o la PDO. De hecho, ha habido varios estudios que prueban la influencia de estas dos oscilaciones de baja frecuencia

7 También, ver capítulo 2 de este libro "La cuenca del río Apatlaco".

8 *Ibidem*.

sobre el clima de ciertas regiones del país (Englehart y Douglas, 2004; Goodrich, 2007; Arriaga-Ramírez y Cavazos, 2010). Se requiere un estudio más profundo para confirmar lo anterior.

- El comportamiento del índice TXX resulto similar al de SU30, excepto que el periodo de anomalías estandarizadas negativas se alarga para toda la región, reduciendo la influencia del periodo cálido hacia las últimas décadas. Tanto SU30 como TXX (y TNN) dan cuenta del pequeño incremento en temperaturas de la cuenca media este (urbana) en comparación con la oeste (rural), lo cual podría ser una manifestación del efecto de isla de calor, o bien, de la diferencia en el tipo de suelo (por tanto, albedo) de las dos zonas. Del análisis con diagramas Hovmöller, se obtuvo que el calentamiento de los años cincuenta en la zona no ha repetido en ningún otro momento para la cuenca.
- Los cambios interanuales de la temperatura mínima extrema (TNN) resultaron más variables que en los dos índices anteriores, aunque se vuelve a notar un pequeño incremento del índice en los años más recientes. El análisis con Hovmöller mostró el curioso resultado de que los mayores valores de este índice resultaron en la parte media de la cuenca y no en la cuenca baja, como era de esperarse. Una hipótesis para explicar este hecho son las diferencias en el cambio/tipo de suelo de las dos cuencas, ya que el suelo pavimentado (prevaliente en la cuenca media), al tener un albedo menor, podría estar almacenando más energía durante el día, de tal forma que irradia más energía de onda larga durante la noche y, con ello, existan temperaturas mínimas más elevadas.
- La precipitación total (PRCPTOT) marca, al igual que SU30, tres grandes periodos: periodo predominantemente húmedo (1949-1960), periodo seco (1960-1994) y periodo predominantemente húmedo (1995-2013). Este tipo de comportamiento va totalmente en contra de lo esperado por los modelos climáticos globales, donde las regionalizaciones climáticas más recientes apuntan a una zona más seca durante la primera parte del siglo XXI (IPCC, 2014; Colorado-Ruiz *et al.*, 2018). De esta forma, podemos concluir que en cuanto a precipitación, al menos para esta zona aún no hay indicios del impacto de cambio climático esperado por los GCM. El análisis Hovmöller mostró que los valores de precipitación



anuales más altos no se dieron para las regiones más altas, como era de esperarse. Este mismo resultado se dio en el análisis para R20mm; la posible explicación radica en que la lluvia convectiva más potente podría estar dándose en la parte media de la cuenca, dado que ahí los cumulonimbus quedan por arriba de la superficie y, por tanto, tienen un potencial de precipitación mayor que en zonas más altas.

- El análisis para R20mm demostró que el comportamiento es similar que para PRCPTOT; sin embargo, los valores de anomalías estandarizadas son más extremos, tanto positiva como negativamente. Esto sí podría ser un indicio de lo mencionado por el IPCC, en referencia al incremento de eventos extremos a escala regional (IPCC, 2014).

De esta forma, como conclusión final tenemos que en el comportamiento climático de la cuenca, en cuanto al comportamiento de las temperaturas, aunque indica una tendencia de calentamiento hacia las últimas décadas no puede argumentarse definitivamente que pudiera ser debido al típico cambio climático global, sino que bien podría estar influenciado por las oscilaciones climáticas de baja frecuencia. Por otro lado, existe la posibilidad de un incremento en las temperaturas de la zona urbana por el conocido efecto de isla de calor; sin embargo, no es completamente concluyente ya que se observan estas diferencias desde el comienzo del periodo de estudio (años cincuenta), con lo que bien podría estar aportando una parte la diferencia en el tipo de suelo de la zona media occidental vs. la oriental.

Finalmente, se concluye que como las tendencias asociadas con los índices de precipitación explorados son positivas, esto va en contra de lo esperado por los modelos climáticos globales para esta zona, donde repetidamente se ha mencionado que deberíamos estar con tendencias negativas ya desde principios del presente siglo. Con ello, se confirma que aún hay muchas cosas que aprender de las proyecciones por modelos numéricos a escala regional, especialmente en variables tan complejas como la precipitación.



3.7. Recomendaciones y trabajo a futuro

Dada la confirmada baja cantidad de datos disponibles para la zona de estudio, se recomienda tener una mejor estrategia para por lo menos conservar el número de estaciones climáticas actuales y que su número no siga decreciendo; además de incentivar programas de calibración y mantenimiento de las estaciones. Es un hecho que si no contamos con datos climáticos suficientes y de buena calidad, siempre nuestros análisis climáticos carecerán de una confiabilidad robusta.

A futuro, esperamos ahondar más en la búsqueda de respuestas a las hipótesis planteadas sobre de cuánta es realmente es la influencia de la isla de calor en la zona, y de que las lluvias asociadas a las tormentas convectivas sean más fuertes en la zona media de la cuenca, como se mostró en el estudio. Algunos trabajos que ya han abordado el efecto de isla de calor en México son Jaúregui-Ostos (1995), Jaúregui-Ostos (2000) y Morales-Méndez *et al.* (2007).

3.8. Referencias

- Aguilar, E., Peterson, T. C., Obando, P. R., Frutos, R., Retana, J. A., Solera, M., ... Mayorga, R. (2005). Changes in precipitation and temperature extremes in Central America and northern South America, 1961-2003. *J. Geophys. Res. Atmos.*, 110(D23). <https://doi.org/10.1029/2005JD006119>.
- Alexander, L. V., Zhang, X., Peterson, T. C., Caesar, J., Gleason, B., Tank, A. K., ... Tagipour, A. (2006). Global observed changes in daily climate extremes of temperature and precipitation. *J. Geophys. Res. Atmos.*, 111, D05109. <https://doi.org/10.1029/2005JD006290>.
- Alexandersson, H. (1986). A homogeneity test applied to precipitation data. *Int. J. Climatol.*, 6, 661-675. <https://doi.org/10.1002/joc.3370060607>.



- Arriaga-Ramírez, S., y Cavazos, T. (2010). Regional trends of daily precipitation indices in northwest Mexico and southwest United States. *J. Geophys. Res.*, 115, D14111. <http://dx.doi.org/10.1029/2009JD013248>.
- Colorado-Ruiz G, Cavazos T, Salinas J. A., De Grau P, y Ayala R. (2018). Climate change projections from Coupled Model Intercomparison Project phase 5 multi-model weighted ensembles for Mexico, the North American monsoon, and the mid-summer drought region. *Int. J. Climatol.*, 1-18. <https://doi.org/10.1002/joc.5773>.
- Englehart, P. J., y Douglas, A. V. (2005). Changing behavior in the diurnal range of surface air temperatures over Mexico. *Geophys. Res. Lett.*, 32, L01701. <http://dx.doi.org/10.1029/2004GL021139>.
- Estrada Porrúa, F., Gay García, C., Díaz López, F., Conde Álvarez, A. C., Martínez López, B., Pavia López E. G., Sánchez Torres Esqueda, G., y Zavala Hidalgo J. (2015). Detección y atribución de cambio climático. En C. Gay García y J.C. Rueda Abad (Coords.), *Reporte Mexicano de Cambio Climático Vol. 1. Bases científicas. Modelos y modelación* (pp. 219-245). Cd. México: UNAM. ISBN 978-607-02-7522-7.
- Goodrich, G. B. (2007). Influence of the Pacific decadal oscillation on winter precipitation and drought during years of neutral ENSO in the western United States. *Wea. Forecasting*, 22, 116–124, <https://doi.org/10.1175/WAF983.1>.
- Guijarro, J. A. (2013). *User's guide Climatol*. Balearic Islands Office, Spain: State Meteorological Agency (AEMET). Disponible en: <http://www.climatol.eu/>.
- Guijarro, J. A. (2018). Homogenization of climatic series with *Climatol*. Versión 3.1.1. Agencia Estatal de Meteorología (AEMET), D. T. en Islas Baleares, España. Disponible en: http://www.climatol.eu/homog_climatol-en.pdf.
- Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (2007). Plan Estratégico para la Recuperación Ambiental de la Cuenca del río Apatlaco. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua y Fundación Gonzalo Río Arronte. <https://agua.org.mx/wp-content/uploads/2014/05/plan-cuenca-del-rio-apatlaco.pdf>. Liga web vigente al 29 de octubre de 2018, 620 pp.
- Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (2008). *La cuenca del río Apatlaco. Recuperemos el patrimonio ambiental de los morelenses*. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. http://centro.paot.org.mx/documentos/semarnat/cuenca_rio_apatlaco.pdf. Liga web vigente al 29 de octubre de 2018, 118 pp.

- Intergovernmental Panel on Climate Change (2014). Climate Change 2014: Synthesis Report. In: *Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Core Writing Team, Pachauri, R. K., and Meyer, L. A. (Eds.), IPCC, Geneva, Switzerland. http://epic.awi.de/37530/1/IPCC_AR5_SYR_Final.pdf. Liga web vigente al 29 de octubre de 2018, 151 pp.
- Jáuregui-Ostos, E. (1995). Algunas alteraciones de largo periodo del clima de la Ciudad de México debidas a la urbanización: revisión y perspectivas. *Investigaciones Geográficas*, 31, 9-44.
- Jaúregui-Ostos, E. (2000). El clima de la Ciudad de México. Instituto de Geografía, UNAM, 135 pp.
- Jiménez Lagunes, Laura (2018). Comunicación personal (proporcionó la Figura 3.3).
- Mateos, E., Santana, J. S., Montero-Martínez, M. J., Deeb, A., y Grunwaldt, A. (2016). Possible climate change evidence in ten Mexican watersheds. *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*, 91, 10-19. <https://doi.org/10.1016/j.pce.2015.08.009>.
- Montero-Martínez, M. J., Santana-Sepúlveda, J. S., Pérez-Ortiz, N. I., Pita-Díaz, O., y Castillo-Liñan, S. (2018). Comparing climate change indices between a northern (arid) and a southern (humid) basin in Mexico during the last decades. *Adv. Sci. Res.*, 15, 231-237. <https://doi.org/10.5194/asr-15-231-2018>.
- Morales-Méndez, C. C., Madrigal-Uribe, D., y González-Becerril, L. A. (2007). Isla de calor en Toluca, México. *CIENCIA ergo-sum*, 14(3), 307-316.
- Sillmann, J., Kharin, V. V., Zhang, X., Zwiers, F. W., y Bronaugh, D. (2013). Climate extremes indices in the CMIP5 multimodel ensemble: Part 1. Model evaluation in the present climate. *J. Geophys. Res. Atmos.*, 118(4), 1716-1733. <https://doi.org/10.1002/jgrd.50203>.
- Vázquez-Aguirre, J. L. (2010). *Guía para el cálculo y uso de índices de cambio climático en México*. Inecc. Disponible en: www.inecc.gob.mx/descargas/cclimatico/Guia_Indices_CC-2010.pdf.
- Zhang, X. y Yang, F. (2004). RCLimDex (1.0) - *User Manual*. Climate Research Branch Environment Canada Downsview, Ontario. <http://etccdi.pacificclimate.org/RCLimDex/RCLimDexUserManual.doc>. Liga web vigente al 29 de octubre de 2018.





CAUDAL ECOLÓGICO Y RESERVA DE AGUA PARA EL RÍO APATLACO: HACIA UN ENFOQUE ADAPTATIVO AL CAMBIO CLIMÁTICO

María Antonieta Gómez, Sergio Rodríguez, Rubén Darío y María del Pilar Saldaña



4.1. Resumen

La determinación del caudal ecológico tiene actualmente como base una aproximación hidrológica para identificar el régimen de variabilidad natural de los caudales en un río y no solo establecer un caudal mínimo. Este régimen está asociado al tipo de clima y puede presentar alteraciones debido a su aprovechamiento o desarrollo de infraestructura. Conforme a la importancia ecológica y presión de uso se ha asignado un objetivo ambiental a cada subcuenca o tramo que administra la Comisión Nacional del Agua (Conagua).

En este trabajo, bajo el objetivo ambiental "C" para la cuenca del río Apatlaco como condición moderada, con importancia ecológica y presión de uso muy altas, se aplicaron tres métodos hidrológicos sugeridos por la norma de caudal ecológico para identificar volúmenes anuales de referencia a asignarse al río como porcentajes del volumen medio anual, resultando de entre el 15 y 24 %, bajo esquemas de competencia por obras o extracciones. Estacionalmente se requiere de 60 a 30 % del caudal medio mensual para periodos de estiaje y lluvias.



Para estimar una reserva anual para el ambiente, se consideró la alternancia de años secos, medios y húmedos, además de la magnitud, duración y frecuencia de avenidas de distinto periodo de retorno, importantes para los ecosistemas, resultando, en 32.5 y 45.4 hm³/año en Temixco y Zacatepec, respectivamente. Las alteraciones hidrológicas en ambas estaciones hidrométricas han sido paulatinas y se asocian principalmente a cambio de uso del suelo.

En el análisis de los efectos del cambio climático es importante diferenciar la variabilidad natural y la impuesta por cambios graduales en la subcuenca, que puedan afectar la conservación de los ecosistemas y el aprovechamiento del agua.

Palabras clave: Apatlaco, caudal ecológico, reservas de agua, conservación

4.2. Introducción

Se ha demostrado que las alteraciones a los regímenes de caudal y disponibilidad del agua representan, entre otras, amenazas globales para la seguridad hídrica humana y para los ecosistemas, especialmente para los ríos que actualmente se encuentran fuertemente modificados a escala mundial (Döll, Fiedler & Zhang, 2009; Vörösmarty *et al.*, 2010). A partir de la aplicación del método Tennant (1976) para determinar caudales intrínsecos al río (*instream flows*) en Estados Unidos de América y el posterior desarrollo de un gran número de enfoques y metodologías a fin de estimarlo e implementarlo (Poff, Tharme & Arthington, 2017; Tharme, 2003), muchas son las naciones que los han incorporado a sus instrumentos de gestión y regulación de los recursos hídricos y para el desarrollo de proyectos hidráulicos, aunque aún algunos con un enfoque de caudal mínimo y no reconociendo el régimen natural estacional y la variabilidad hidrológica histórica (Gaviño-Novillo, 2017).



A las estrategias de reconocer y mantener el equilibrio de los elementos naturales que intervienen en el ciclo hidrológico para la protección y conectividad de los ecosistemas fluviales, riparios y costeros, se ha incorporado la definición y alcance del régimen de caudal ecológico en las corrientes (Dyson, Bergkamp & Scanlon, 2003; Horne *et al.*, 2017; Poff *et al.*, 2010). Dicho régimen se integra con los escurrimientos de las distintas micro y subcuencas que suman la totalidad de la cuenca de captación y desembocan en ríos de mayor orden y en los sistemas costeros (lagunas, humedales, marismas, etc.). Por lo que evaluar y definir el régimen de cada subcuenca es importante para la conservación de los ecosistemas y la asignación del agua a escala regional.

Por otro lado, también se han desarrollado marcos de referencia que comprenden módulos físicos, ecológicos y sociales; herramientas estadísticas y modelos de simulación para determinar los niveles de alteración hidrológica, geohidrológica y la calidad del agua (Arora *et al.*, 2017; Poff *et al.*, 2010; Rolls & Bond, 2017; Stewardson *et al.*, 2017; Vietz & Finlayson, 2017), así como sus efectos sobre la disponibilidad de hábitat, distribución y desarrollo de las comunidades acuáticas (Parasiewicz & Dunbar, 2001; USGS, 2012)

La correlación entre la variabilidad hidrológica y climática, y los efectos del cambio climático a escalas regional y local, representan temas en fuerte desarrollo actual (Arreguín-Cortés, López-Pérez, Rodríguez-López y Montero-Martínez, 2015), así como la revisión del incremento de la vulnerabilidad por las alteraciones ecohidrológicas, no solo relacionadas con el régimen de caudal, sino también con la funcionalidad y servicios ambientales de las cuencas y ecosistemas. En general, esto es asociándolas a la transformación de las cuencas por cambio de uso del suelo, desarrollo de infraestructura, calidad del agua, introducción de especies exóticas, etc. (Garrido *et al.*, 2010; Vörösmarty *et al.*, 2010)



En México se ha reconocido, desde hace más de dos décadas, que la relativa disminución del agua en los cauces es debida a fuertes extracciones, derivaciones, almacenamientos y la competencia entre usos, así como a sobrestimación y, por lo tanto, sobre-concesión o asignación de los volúmenes para distintos usos. Actualmente, cada vez se cuenta con mayor información para relacionar la disponibilidad y asignación del recurso para mejorar las estimaciones de agua realmente disponible, aunque todavía existe un desbalance para asegurar la funcionalidad de las cuencas y la protección ambiental. Por ejemplo, la estimación de la disponibilidad no considera la demanda de agua futura aguas arriba de los puntos de control o medición y, en algunas ocasiones, tampoco la conectividad y la conservación de un escurrimiento hacia las partes bajas. El caudal base aportado por el agua subsuperficial es un elemento escasamente considerado como componente del régimen de caudal, así como la importancia de las inundaciones para la recarga del agua subterránea (Alonso-EguíaLis, Gómez-Balandra y Saldaña-Fabela, 2007; Richter, Baumgartner, Wigington & Braun, 1997)

La definición de caudal ecológico en la Norma Mexicana de referencia (NMX-AA-159-SCFI-2012) es la cantidad, calidad y variación del gasto o de los niveles de agua reservada para preservar servicios ambientales, componentes, funciones, procesos y la resiliencia de ecosistemas acuáticos y terrestres que dependen de procesos hidrológicos, geomorfológicos, ecológicos y sociales. Esta Norma Mexicana aplica a todos aquellos que realicen estudios para solicitar asignaciones, construir infraestructura, realizar trasvases entre cuencas y proyectos hidráulicos que se sometan a la Evaluación de Impacto Ambiental; así como para todas las corrientes o cuerpos de agua cuyos acuerdos de disponibilidad del agua publicados en el *Diario Oficial de la Federación* (DOF 07/07/2016) no consideren un caudal para la conservación de ecosistemas acuáticos.



Con la aplicación de la norma, se trata de evaluar y definir el régimen de cada subcuenca o microcuenca para la conservación y usos humanos, con base en la importancia de los ecosistemas por proteger y el grado de presión o porcentaje de asignación del agua mediante la designación objetivos ambientales (Figura 4.1).

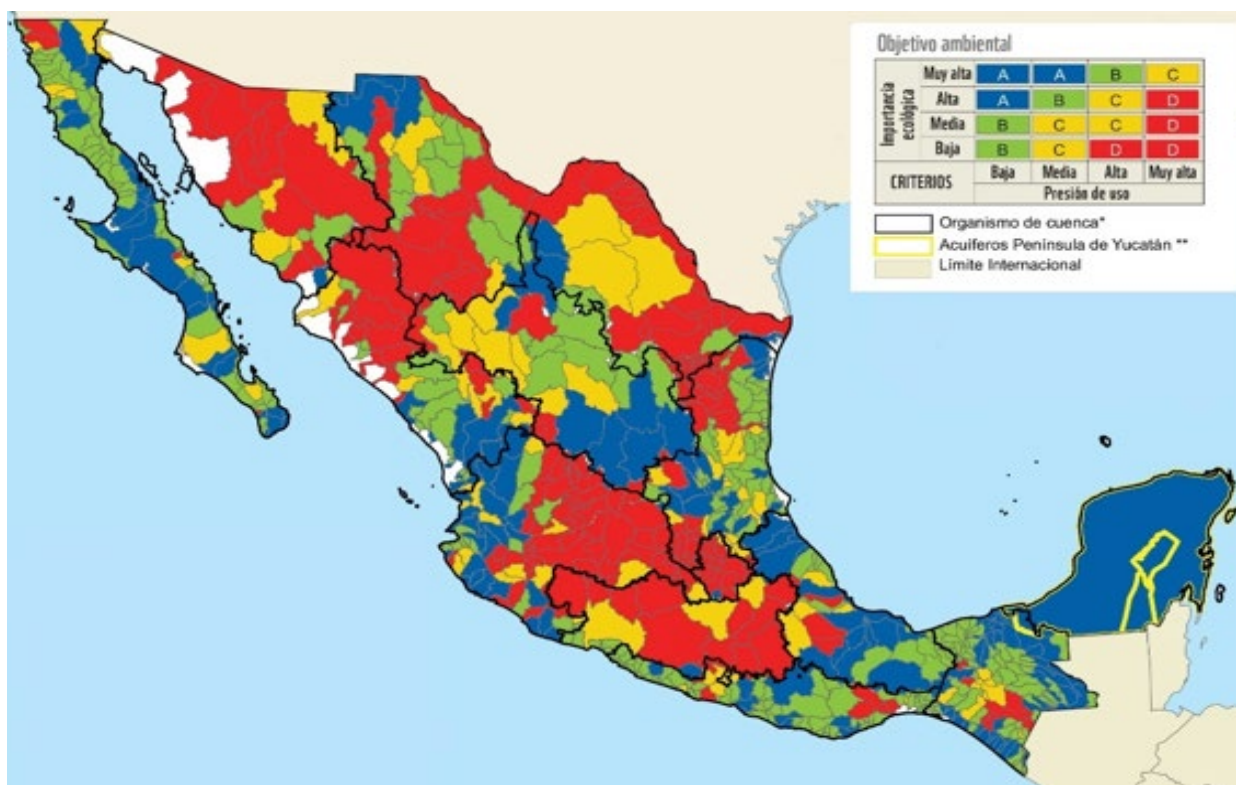


Figura 4.1. Objetivos ambientales de cuencas de México (wwf, Fundación Río Arronte y Conagua, 2012a).



La necesidad de asignar caudales ambientales o reservar agua es cada vez más evidente debido a:

- Incremento de la competencia entre usos y asignaciones.
- Incompleta regulación para manejo de agua y cuenca.
- Reconocimiento parcial de la recarga del agua subterránea y su aporte al caudal base.
- Asignación de caudales ecológicos en términos de un valor o porcentaje mínimo y no de un régimen de variabilidad.
- Desconocimiento de los límites de alteración a parámetros hidrológicos para mantener la resiliencia del sistema bajo un enfoque adaptativo.

El caudal ecológico es un instrumento de la gestión del agua fundamentado en el principio del régimen de variabilidad natural y el gradiente de la condición biológica, que busca conservar y/o establecer un régimen para sostener los ecosistemas, los usos del agua y las necesidades de almacenamiento a lo largo del año (Declaración de Brisbane, 2007; Richter, 2010; WWF y Fundación Río Arronte, 2011). El caudal ecológico (CE) afecta, por lo tanto, a la disponibilidad de agua y la distribución entre distintos usuarios, por lo que estos deben estar convencidos de su importancia para mantener la corriente y no agotar o traspasar los límites de su alteración.

La estimación del CE es un proceso científico y social para establecer y probar las hipótesis de cambio esperadas por la alteración del régimen y reducción o incremento de volúmenes, así como gestionar e implementar el flujo que será asignado al ambiente. Existen en la literatura cada vez más reportes técnicos sobre su estimación (Poff *et al.*, 2017; Salinas Rodríguez, Barrios Ordóñez, Sánchez Navarro & Wickel, 2018), así como de los procesos sociales que favorecen su implementación, seguimiento y ajuste bajo



un enfoque adaptativo que beneficie a los involucrados y al ecosistema sin ponerlo en alto riesgo de deterioro o escasez.

Por lo que no existe un CE correcto y único, ya que depende de la variabilidad intra e interanual del régimen, de tal forma que el conocimiento científico y empírico local deben combinarse para identificar las respuestas del río y ecosistemas, así como para la toma de decisiones de una sociedad informada para manejar su río y su cuenca, por lo que puede haber diferentes requerimientos y prioridades.


Por otro lado, para las cuencas con baja presión de uso del agua e importancia ecológica alta, el Programa Nacional de Reservas de Agua para el medio ambiente (PNRA) (WWF, Fundación Río Arronte y Conagua, 2012b) tiene como objetivos principales:

- I) Reservar agua para el medio ambiente y consumo humano.
- II) Demostrar sus beneficios como instrumento garante de la funcionalidad del ciclo hidrológico y sus servicios ambientales.
- III) Fortalecer la aplicación de la Norma Mexicana de caudal ecológico en el país.

Entre los beneficios asociados a estas reservas de agua, se remarcán los siguientes:

1. Mantener la conectividad hidrológica entre las cuencas y humedales que actualmente se encuentran conectados.
2. Conservar los humedales y servicios ambientales asociados.
3. Mejorar las condiciones de resiliencia (adaptación al cambio climático).
4. Mantener o incrementar la captura de carbono en humedales.
5. Garantizar en forma legal el agua para el ambiente (por medio de un decreto presidencial).
6. Crear capacidades y cultura del agua en términos de la conservación y gestión integrada.





A través del PNRA se aplicaron métodos hidrológicos y se reconocieron las cuencas con mayor grado de conservación de sus ecosistemas y menor presión de uso; esto es con objetivo ambiental "A", para las cuales resultaba urgente reservar agua para el ambiente por cincuenta años o más, por lo que se estableció como meta del gobierno federal de 2012 a 2018 el decretar alrededor de 189 reservas (Figura 4.2), conforme al Programa Nacional Hídrico (PNH 2014-2018), de las cuales se han realizado más de diez estudios detallados con métodos holísticos de CE, y solamente se han emitido tres decretos individuales para las cuencas de San Pedro Mezquital, Durango-Nayarit; el Río Fuerte, Sonora, y Río Coatzacoalcos, Veracruz (DOF 15/09/2014; 23/09/2016 y 23/03/2018, respectivamente). Además de un decreto general emitido el 06/06/2018 de supresión de vedas y reservas para uso doméstico, público urbano y de uso ambiental para las cuencas de la regiones hidrológicas 26 Pánuco, 12 Lerma-Santiago, 19 Costa Grande de Guerrero, 20 Costa Chica de Guerrero, 25 Fernando Soto La Marina, 28 Papaloapan, 14 Ameca, 15 Costa de Jalisco y 30 Grijalva-Usumacinta, como cuencas con potencial muy alto para decretar reservas ambientales (Figura 4.2).

La reserva de agua para el medio ambiente como instrumento jurídico (decreto), garantiza un volumen de agua para el uso ambiental o de conservación ecológica en una cuenca hidrológica. Su finalidad es lograr la conservación de los ecosistemas y su biodiversidad, dando cumplimiento a convenios internacionales y para sustentar las actividades que en ella se desarrollen o promuevan, fortaleciendo la gestión integrada de los recursos hídricos, la participación social y el desarrollo sustentable que se traduzca en protección o mejoras tangibles para los ríos y su aprovechamiento.



**Figura 4.2. Reservas de agua para el medio ambiente
Sistema de Información Geográfica del Agua, Conagua.**

Sin embargo, como los Objetivos Ambientales (OA) se han asignado para grandes cuencas (751 del país), al subescalar a microcuenca las condiciones de conservación o estrés puede resultar una mejor o menor condición de OA, requiriéndose estrategias para reducir al máximo las alteraciones hidrológicas, o bien, para mejorar estos sistemas fluviales y su resiliencia ante los impactos antrópicos y el cambio climático (Calvo-Tortajada, 2016; Scott & Lutz-Ley, 2016).

Finalmente, a partir de los primeros pasos para implementar los caudales ecológicos con la Conagua (durante 1998, 2007, 2010) y del llamado de la Declaración de Brisbane (2007),



que señaló la urgencia de estimarlos e implementarlos, los avances para nuestro país son enormes al haber aplicado los principios y mejores prácticas en distintas regiones del país utilizando métodos convencionales, así como desarrollando métodos propios para estimar las reservas de agua y decretarlas bajo la Norma Mexicana NMX-AA-159-SCFI-2012 que establece el procedimiento para la determinación del caudal ecológico en cuencas hidrológicas (DOF 20/09/2012, Gómez-Balandra, Saldaña-Fabela y Martínez-Jiménez, 2014; Salinas Rodríguez *et al.*, 2018; WWF *et al.*, 2012a).

4.3. Estimación del caudal ecológico en el río Apatlaco

Los métodos hidrológicos convencionales emplean los registros diarios de las estaciones hidrométricas para determinar el régimen natural de caudal como la variable maestra de otros procesos físicos, químicos o biológicos, tales como la calidad del agua, geomorfología, distribución de las especies, sus hábitats y los potenciales usos del agua por disponibilidad y calidad. Los resultados como promedios, medianas, índices y otros son apropiados para propósitos de planeación de recursos hídricos a escala de sitio o región, además de ser simples, rápidos y económicos. Cuando existe escasez de registros hidrométricos pueden funcionar con estimaciones indirectas como lluvia-escurrimiento, y tienen un potencial de regionalización. También, se utilizan para identificar el nivel de alteraciones hidrológicas en las corrientes.

Los métodos hidrológicos, además, son la base para la aplicación de enfoques o combinaciones de métodos para estudios más detallados, ya sea para la evaluación hidrobiológica, del cauce, hábitat u holística, por lo que son utilizados en más del 90%



del total global de determinaciones de CE con aplicación en todas las regiones del mundo (Tharme, 2003).

Actualmente, la clasificación de métodos considera únicamente una subdivisión entre métodos de evaluación rápida (estadística de los datos) para guiar la planeación de infraestructura hidráulica, por ejemplo, y los métodos detallados que se basan en evaluación de campo para la protección ambiental, pero más aún para la restauración de ríos o sitios individuales, considerando la reversión de los procesos que los han deteriorado y buscando la recolonización de las especies (Poff & Olden, 2017).

Los métodos hidrológicos también resultan muy útiles para estimar la disponibilidad y los porcentajes o valores de referencia que se deben asignar a las corrientes conforme a su objetivo ambiental. Algunas limitaciones son que el enfoque puede resultar simple y de baja resolución, con vínculos ecológicos limitados y considerando la variación natural del régimen solo para el flujo, por lo que deben complementarse en casos cuando debe negociarse la asignación del agua para restaurar corrientes, proteger sitios o especies emblemáticas, etc. A los resultados hidrológicos estadísticos, por lo tanto, se les correlacionan eventos físicos, químicos y biológicos bajo estudios específicos, o hipótesis de respuesta para establecer las estrategias de caudal que ayuden a mantener la integridad biológica y los servicios ambientales.

La NMX-AA-159-SCFI-2012 considera como primer paso revisar el OA de las corrientes y las alteraciones hidrológicas (apéndices A y B). Posteriormente, se reconocen los porcentajes de referencia de un régimen estacional o una reserva de agua anual y se aplican los métodos estadísticos sugeridos (apéndices C y D). Para los ríos con OA que señalen alta importancia ecológica y baja presión de uso pueden aplicarse los métodos hidrobiológicos y de preferencia de hábitat (apéndice E), y cuando exista competencia



por el agua en sitios conservados o se requiera construir grandes proyectos hidráulicos, o bien, sean altas las necesidades de recuperación de los ecosistemas, se recomienda la aplicación de métodos holísticos (apéndice F) (Figura 4.3).

El río Apatlaco, conforme a la norma de caudal ecológico NMX-AA-159-SCFI-2012, se clasificó con el objetivo ambiental "C", asignado a la cuenca del río Amacuzac, que corresponde al nivel geográfico desagregado al que se publica la disponibilidad. Aunque su importancia ecológica se considera muy alta porque comprende especies endémicas, como los peces *Ictalurus balsanus* (bagre del Balsas) y *Cichlasoma istlanum* (Mojarra del Balsas), debido a que su presión de uso también lo es por presentar asignaciones y/o concesiones por el 80% o más de su volumen de escurrimiento medio anual (EMA),

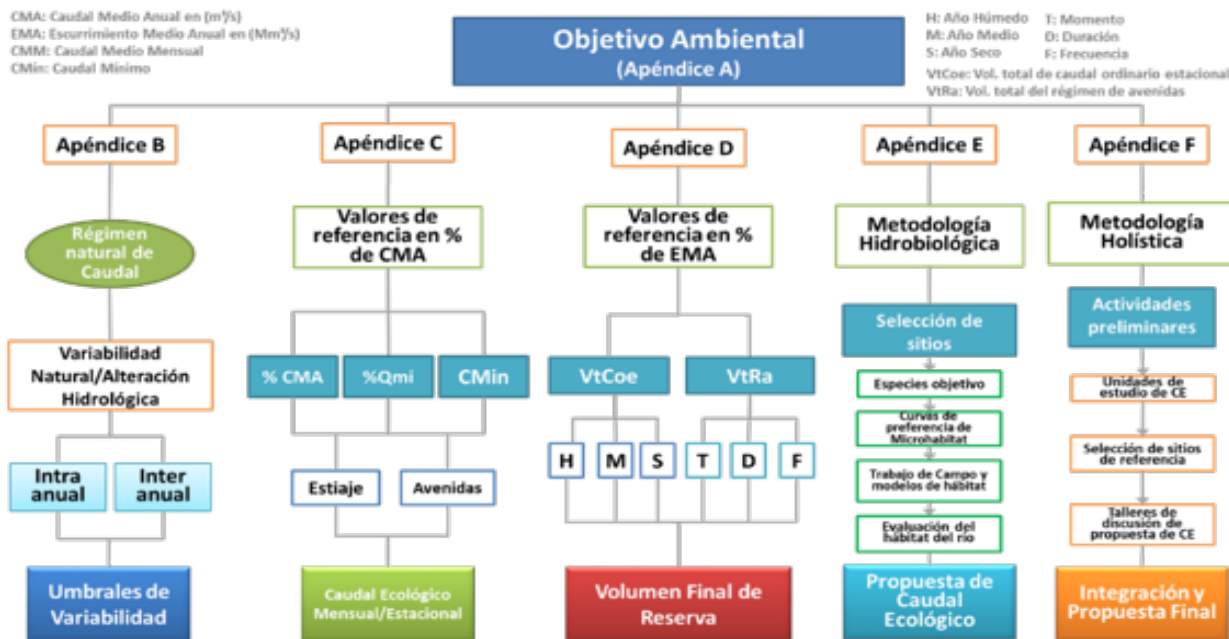


Figura 4.3. Apéndices técnicos de la Norma de Caudal Ecológico NMX-AA-159-SCFI-2012.

su estado de conservación resulta “Moderado”. De esta forma, la estimación de CE que se desarrolla en ese trabajo comprende solamente métodos hidrológicos; esto es, de los apéndices “C” y “D”.

4.4. Régimen de caudal del río Apatlaco

A partir de la localización y descripción de la cuenca del río Apatlaco, mostradas en el capítulo 1 del presente libro, se señala que las microcuencas de la parte alta del río Apatlaco son cerradas, con sus cuerpos de agua como lagunas y sistemas de manantiales, por lo que no fueron consideradas para la estimación del CE. Sin embargo, hacia aguas abajo, se consideró importante definir algunos aspectos del régimen hidrológico en seis microcuencas (Cuadro 4.1), aplicando el método indirecto de lluvia-escurrimiento, ya que estas microcuencas aportan volumen a la corriente principal al irse agregando al río Apatlaco y sus afluentes, permitiendo además su conectividad. El área y porcentaje que ocupan cada microcuenca se presentan en el Cuadro 4.1 y Figura 4.4. Asimismo, se señala el punto de salida de cada microcuenca donde se integró el histograma para determinar su régimen.

Cuadro 4.1. Distribución de las microcuencas.

Microcuenca	Área, km ²	%
Chalchihuapan	60.02	11.30
Tres Marías	46.99	8.85
Apatlaco-Cuernavaca	68.44	12.88
Apatlaco-Xochitepec	71.28	13.42
Apatlaco-Alpuyeca	164.52	30.97
Arroyo Salado	119.97	22.58
Total	531.22	100



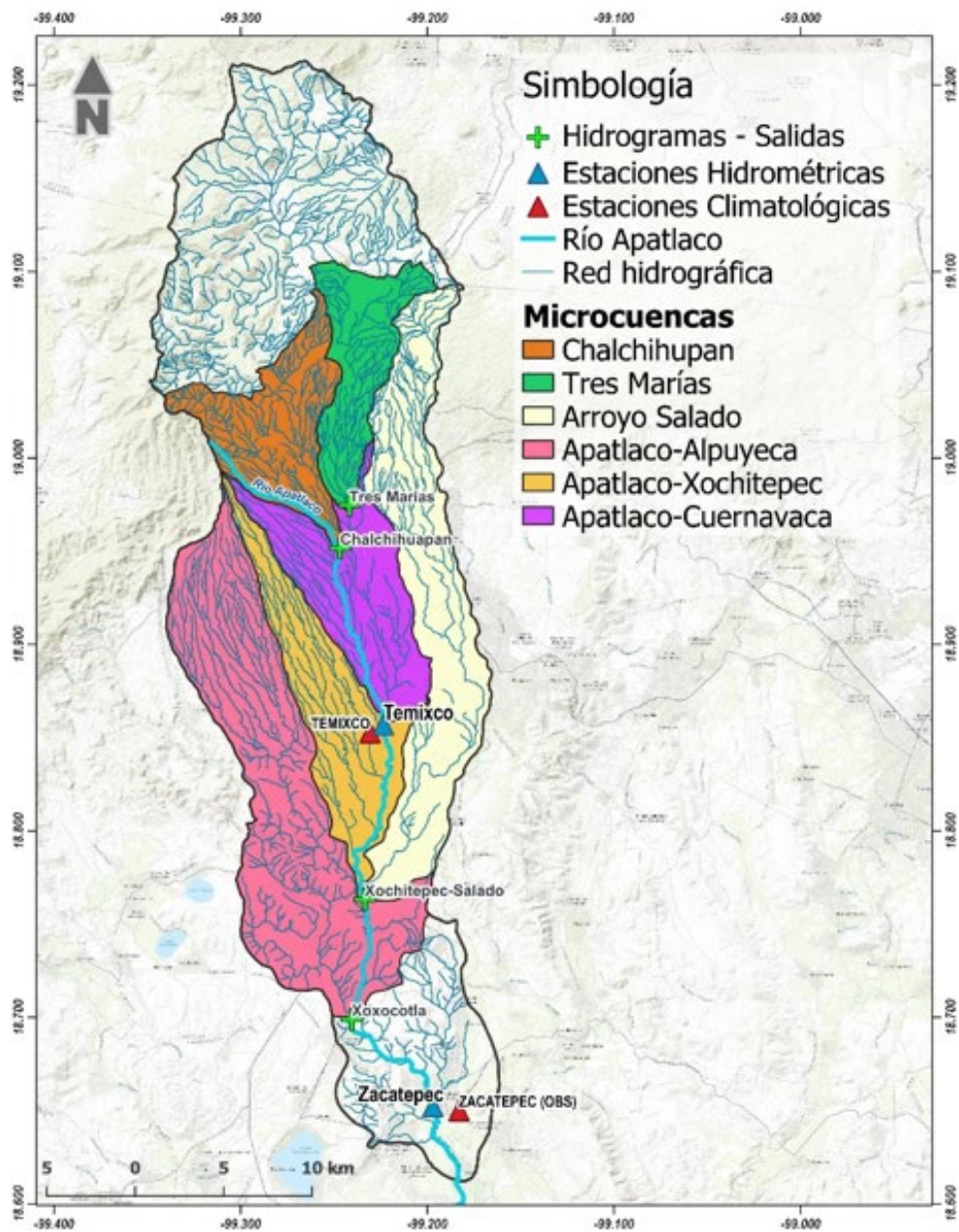


Figura 4.4. Microcuencas y estaciones hidrométricas del río Apatlaco.

El análisis de lluvia-escorrentamiento se realizó con la herramienta *HEC-HMS* (Hydrologic Engineering Center's-Hydrologic Modeling System, USACE), programa de simulación hidrológica tipo evento, lineal y semidistribuido, desarrollado para estimar los caudales de salida en una cuenca, varias subcuencas o microcuencas (caudales máximos y tiempos al pico), a partir de condiciones extremas de lluvias, aplicando para ello algunos de los métodos de cálculo de hietogramas de diseño, pérdidas por infiltración, flujo base y conversión en escorrentía directa. Para esto, se realizó una recopilación de precipitaciones diarias desde 1964 a 2013 de las estaciones climatológicas (Figura 4.5), se estimó la evaporación promedio mensual, se utilizaron mapas temáticos de la zona (uso de suelo y edafología) y el modelo de elevación digital. Dichos datos se analizaron y clasificaron a fin de obtener información necesaria para la modelación de la cuenca.

Se establecieron dos periodos de simulación de 25 años (1964-1988; 1989-2013) y uno integrado de cincuenta años (1964-2013), con los que se ejecutó el programa para obtener la distribución de caudales diarios. Se seleccionó un punto de calibración en la estación hidrométrica de Temixco (ubicada en la salida de microcuenca Apatlaco-Cuernavaca), la cual contiene registros diarios desde 1956 hasta 2011 (Figura 4.4).

En este punto se pudieron calibrar las subcuencas de la parte alta Chalchihuapan, Tres Marías y Apatlaco-Cuernavaca. Otro punto de calibración se localiza aguas abajo en la estación hidrométrica Zacatepec, la cual cuenta con registros diarios desde 1956 hasta 2016 que se utilizaron para calibrar el escurrimiento de las subcuencas de la parte baja (Arroyo Salado, Apatlaco-Xochitepec y Apatlaco-Alpuyeca). Con los resultados del modelo calibrado se obtuvieron los hidrogramas desde 1964 hasta 2013, además de comparar dos periodos 1964-1988 y 1989-2013.



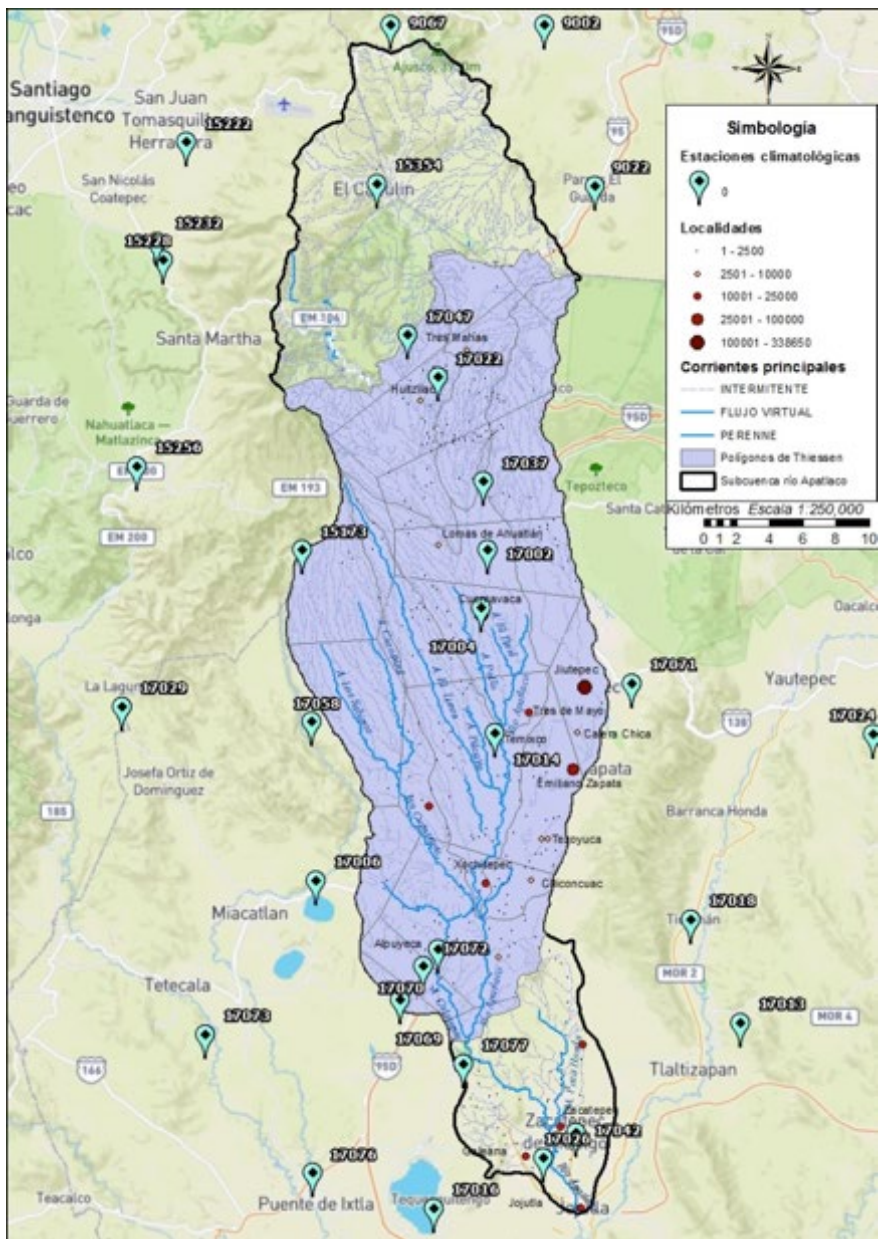


Figura 4.5. Estaciones climatológicas.

Del análisis de 37 estaciones climatológicas con su área de influencia con el *software HEC-HMS*, se obtuvieron la precipitación y volumen acumulado (Figura 4.5). En el Cuadro 4.2 se muestra la precipitación acumulada para cincuenta años de cada microcuenca y de dos periodos de 25 años (1964 a 1988 y de 1989 a 2013) para comparar y observar las variaciones en el régimen de precipitación y volumen acumulado de dos periodos. Dichas variaciones fueron mayores en porcentaje hacia la parte baja.

Cuadro 4.2. Volumen acumulado por microcuenca.

Microcuenca	Precipitación acumulada 1964-1988	Precipitación acumulada 1989-2013	Volumen acumulado 1964-1988	Volumen acumulado 1989-2013	Diferencia de volumen entre periodos
	mm	mm	X106 m3	X106 m3	%
Tres Marías	163 873	174 185	1 628	1 719	5%
Chalchihuapan	168 713	175 915	2 102	2 214	5%
Apatlaco-Cuernavaca	149 296	158 651	2 048	2 214	8%
Apatlaco-Xochitepec	136 714	147 593	1 776	1 993	12%
Apatlaco-Alpuyeca	117 374	135 047	3 889	4 342	12%
Arroyo Salado	225 648	244 757	3 338	3 634	9%

Para determinar el régimen de caudal estacional de la parte alta (Chalchihuapan y Tres Marías) aguas abajo de las cuencas cerradas, se integraron series de datos diarios a partir de lluvia-escurrimiento, obteniéndose la variación intranual en ambas estaciones, como se muestra en la Figura 4.6. Estas microcuencas se clasifican como temporales, ya que exhiben periodos con escurrimiento cero en la época de estiaje.



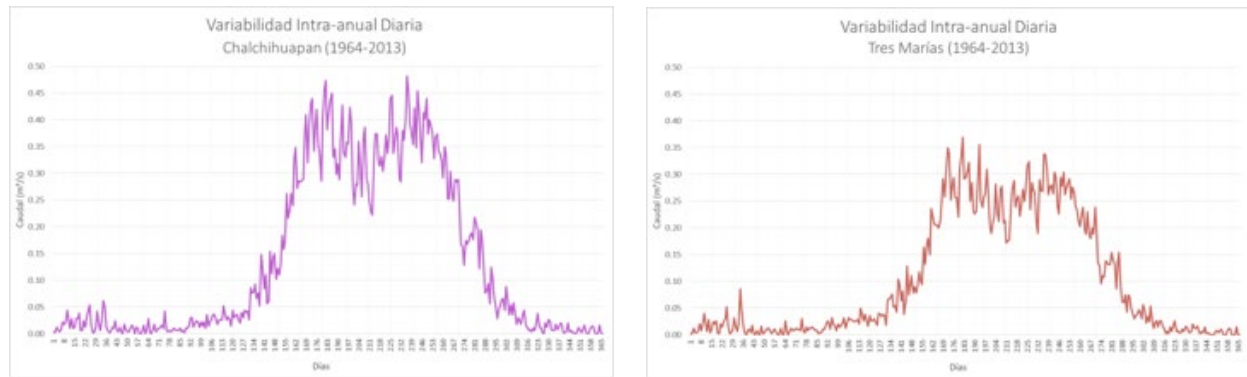


Figura 4.6. Variabilidad intra-anual diaria de las microcuencas Chalchihuapan y Tres Marías.

Hacia la parte media y baja de la cuenca, igualmente con los resultados de la modelación lluvia-escorrentamiento, se obtuvieron los hidrogramas anuales promedio y su régimen estacional para la subcuencas Apatlaco-Alpuyeca y Apatlaco-Xochitepec (Figura 4.7). En las estaciones hidrométricas Temixco y Zacatepec, se obtuvieron los promedios de cada uno de los 365 días de los años de registro para determinar también la variación estacional o intranual, como se muestra en la Figura 4.7.

El régimen presenta una temporada de lluvias que se inicia a finales del mes de mayo con los primeros pulsos altos e inicio de caudales mayores, presentándose las avenidas de mayor periodo de retorno entre los días 220 a 275, que equivalen de los primeros días de agosto a fines de septiembre (Figura 4.9).

El periodo de caudales menores, esto es, bajos extremos, se ubica entre los días 90 a 135, en el mes de abril y mediados de mayo, con valores menores a $1 \text{ m}^3/\text{s}$ en la estación Temixco, que registra los aportes provenientes de la cuenca alta hasta la parte media, toda vez que atraviesan grandes centros de población como Cuernavaca. El caudal se va incrementado con la cuenca del Xochitepec y la confluencia del Arroyo



Salado (Figura 4.7). Por otro lado, también se observa el hidrograma de la subcuenca compuesta por el río Cuentepec en la región Apatlaco-Alpuyeca, medida en el sitio Xoxocotla, donde ya se concentra alrededor del 95% del escurrimiento de la cuenca.

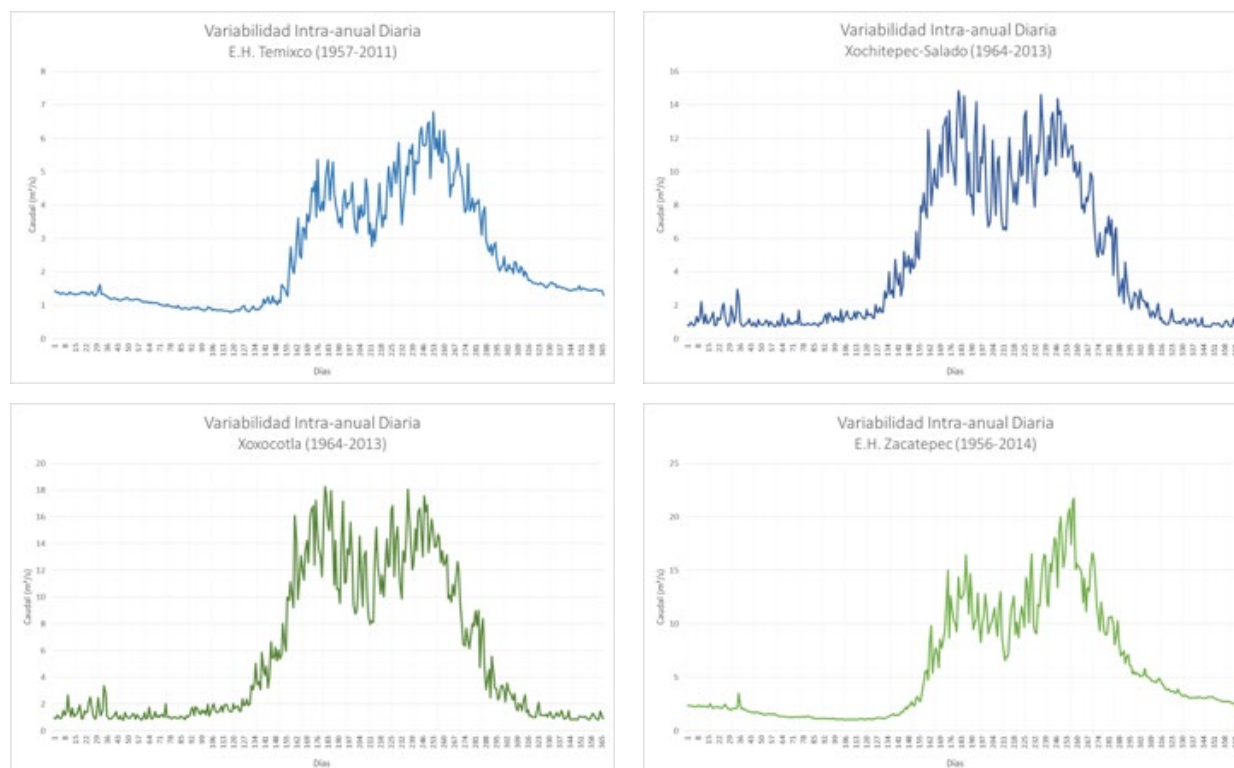


Figura 4.7. Variabilidad intranual cuenca media y baja del Apatlaco.

Ya en la estación Zacatepec, que se encuentra aproximadamente a 30 km aguas abajo de la estación hidrométrica de Temixco y a 15 km antes de la confluencia del río Apatlaco con el río Amacuzac, la variación entre estaciones de estiaje y lluvias va de un caudal mínimo en estiaje de 2 m³/s a 22 m³/s en lluvias.



4.5. Alteraciones hidrológicas

Para el análisis de las alteraciones hidrológicas se aplicaron las herramientas estadísticas del *software IHA-RVA V.7.1 (Indicators of Hydrologic Alteration-Regime of Variability Approach)*, así como el enfoque sugerido por la NMX-AA-159-SCFI-2012. Ambos comprenden la comparación de dos periodos (como mínimo de veinte años) de la serie de datos de las estaciones hidrométricas de Temixco y Zacatepec, tomando el primero como el periodo con un caudal menos alterado y el más reciente como el alterado. En algunas ocasiones la presencia de gran infraestructura, como una presa, puede señalar la división entre estos dos periodos.

Para la estación Temixco, en la Figura 4.8 se observa que los caudales mensuales se han incrementado principalmente en los meses de lluvia, excediendo los límites dentro de los percentiles 25 y 75 representados por las líneas verticales (que bajo el enfoque de *IHA-RVA* se considera una variabilidad natural). El método de la norma de CE amplía estos percentiles a 90 y 10 respectivamente, señalando alteración cuando el 50% de la media de los meses del segundo periodo no cae dentro del intervalo de los percentiles señalados, como es el mes de noviembre en Temixco y los meses de diciembre a abril en Zacatepec, presentándose caudales mayores (Figura 4.8).

El incremento observado hacia Temixco se asocia principalmente al cambio de uso de suelo y la reducción de la infiltración en las zonas urbanas y cuenca de captación hasta la estación hidrométrica; esto es, considerando la ciudad de Cuernavaca y su zona metropolitana dentro de la cuenca del río Apatlaco.

Por otro lado, en la estación Zacatepec, además de estos efectos, el incremento en los meses de estiaje se debe a los retornos de las tierras de cultivo que se



ubican hacia aguas abajo de Temixco y en el área de captación hasta la estación hidrométrica.



Figura 4.8. Alteraciones hidrológicas en las estaciones hidrométricas de Temixco y Zacatepec.

El incremento de los caudales durante la estación de lluvias incrementa el riesgo de inundaciones, tanto en las áreas urbanas como agrícolas, requiriéndose de medidas de control e infraestructura para reducir los daños potenciales a la población y sus bienes; mientras que mayores flujos durante el estiaje pueden inhibir algunos procesos biológicos de las especies, sobre todo los ciclos reproductivos y de reclutamiento de las especies.



4.6. Caudal ecológico

De acuerdo con el objetivo ambiental “C” y los datos disponibles de las estaciones hidrométricas de Temixco y Zacatepec, los porcentajes y valores de referencia de los apéndices “C” y “D” de la NMX-AA-159-SCF-2012, considerando al río Apatlaco como perenne, se muestran en el Cuadro 4.3.

Cuadro 4.3. Valores de referencia, de acuerdo con la NMX-AA-159-SCFI-2012.

Est. Hidrométrica /sitio	Caudal medio anual (CMA) (m ³ /s)	Escorrentamiento medio anual (EMA) (hm ³ /año)	Apéndice “C”		Apéndice “D”			
			Estiaje*	Avenidas**	Corrientes perennes		Corrientes temporales	
			%CMA (m ³ /s) (15%)	% CMA (m ³ /s) (30%)	15-24 % EMA (hm ³ /año)		10-14 % EMA (hm ³ /año)	
Chalchihuapan	0.1	4.3	0.02	0.04			0.4	0.6
Tres Marías	0.1	3.2	0.02	0.03			0.3	0.4
Temixco	2.4	77.3	0.4	0.7	11.6	18.5		
Xochitepec-Salado	4.5	142.9	0.7	1.4	21.4	34.3		
Xoxocotla	5.6	177.2	0.8	1.7	26.6	42.5		
Zacatepec	5.8	184.2	0.9	1.8	27.6	44.2		

*En el periodo de estiaje por el OA “C” aplicaría 60% del caudal medio mensual.

** En el periodo de lluvias por el OA “C” aplicaría 30% del caudal medio mensual.

Cabe resaltar que el apéndice “C” recomienda caudales estacionales basados en el caudal medio anual y el mensual m³/s, con porcentajes mayores en los meses de estiaje cuando se presenta la mayor presión por flujo; mientras que el apéndice “D” de la norma considera una reserva anual en un intervalo de negociación de 15 a 24% del escurrimiento medio anual para corrientes perennes, y del 10 al 14% para temporales en hectómetros cúbicos al año.

En una aproximación más detallada, de acuerdo con la metodología del apéndice normativo “C” de la Norma de Caudal Ecológico (NMX-AA-159-SCFI-2012), el CE se determinó considerando porcentajes estacionales y mensuales para compararlos y definir en forma detallada el criterio final de cada mes. De forma estacional, se determinaron a partir de un año promedio los porcentajes del caudal medio anual CMA (líneas roja y azul en Figura 4.9), correspondiendo 15% del CMA en estiaje (noviembre-mayo) y 30% en lluvias (junio-octubre) (Cuadro 4.4 y Figura 4.9).

Cuadro 4.4. Porcentajes de CMA, Qmi y propuesta de caudal ecológico para Temixco y Zacatepec.

Época	Mes	Temixco (m ³ /s)			Zacatepec (m ³ /s)		
		%CMA	%Qmi	Caudal ecológico	%CMA	%Qmi	Caudal ecológico
Lluvias (30% CMA) (30% de Qmi)	JUN	0.7	0.9	0.7	1.8	2.3	1.8
	JUL	0.7	1.2	1.2	1.8	3.3	3.3
	AGO	0.7	1.4	1.4	1.8	3.6	3.6
	SEP	0.7	1.7	1.7	1.8	4.9	4.9
	OCT	0.7	0.9	0.9	1.8	2.3	2.3
Estiaje (15% CMA) (60% de Qmi)	NOV	0.4	1.1	1.1	0.9	2.5	2.5
	DIC	0.4	1.0	0.4	0.9	1.8	0.9
	ENE	0.4	0.8	0.4	0.9	1.3	0.9
	FEB	0.4	0.7	0.4	0.9	1.1	0.9
	MAR	0.4	0.6	0.4	0.9	0.8	0.8
	ABR	0.4	0.5	0.4	0.9	0.7	0.7
	MAY	0.4	0.6	0.4	0.9	0.9	0.9

De forma mensual se aplicaron los porcentajes del 60% del Qmi en estiaje y 30% del Qmi en los de lluvias (Cuadro 4.4 e histograma marcado con línea negra en la Figura 4.9).

El CE mensual resultante (histograma verde de Figura 9) quedaría entre los porcentajes de ambos periodos (estiaje y avenidas) y los porcentajes mensuales, esperando que



predomine y se aplique este último criterio (histograma línea negra). Cabe señalar que el valor del CE nunca debe ser mayor al caudal medio mensual ni menor al caudal base (mínimos mensuales de toda la serie de datos). Gráficamente, el caudal ecológico se representa para ambas estaciones, como se muestra en la Figura 9.

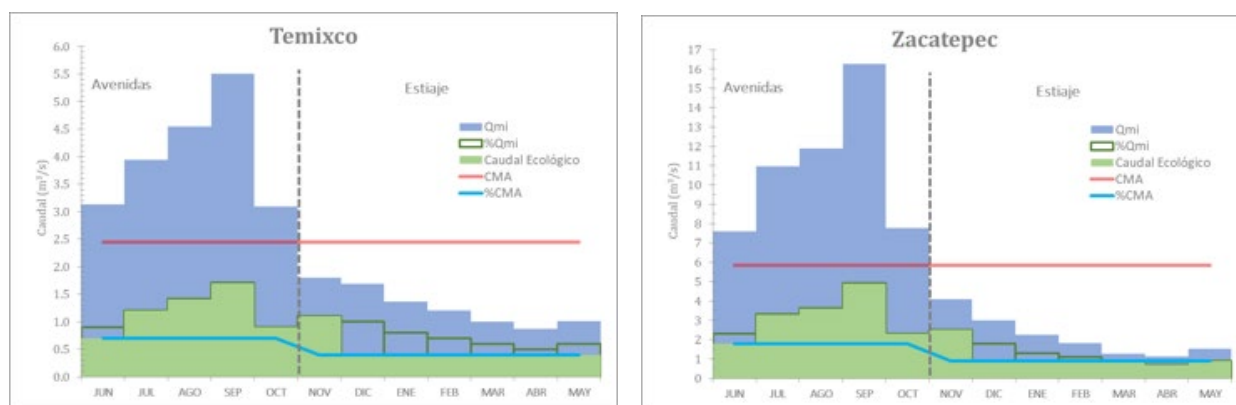


Figura 4.9. Propuesta de caudal ecológico del apéndice normativo "C" (Tennant Modificado).

4.7. Reserva de agua para el ambiente

La aplicación del apéndice "D" de la NMX-AA-159-SCFI-2012 comprende el cálculo específico de un volumen final de reserva para el ambiente (V_{fr}), el cual se integra por un volumen mensual que corresponde al volumen total ordinario (V_{tCoe}), considerando la variación de magnitud de caudal y frecuencia entre años húmedos, medios, secos y muy secos (Cuadro 4.5 y Cuadro 4.6), así como un volumen total del régimen de avenidas (V_{tRa}) obtenido de la magnitud (caudales máximos anuales ajustados a diferentes distribuciones estadísticas), su duración (días que dura el 75% de los eventos de cada categoría) y frecuencia de ocurrencia de tres tipos de avenidas de retorno (1, 1.5 y 5 años) (Cuadro 4.7).

4.7.1. Volumen total de caudal ordinario estacional

El procedimiento de cálculo comprende el producto de la frecuencia de los distintos tipos de años por su volumen, para obtener el caudal ordinario estacional. Las frecuencias aplicadas para un OA "C" solamente incluyen años secos y muy secos (Cuadro 4.5), multiplicados por los volúmenes correspondientes del Cuadro 4.6. Este tratamiento responde al hecho de que el río presenta alta presión de uso.

$$VtCoe = (fCoeH \times VCoeH) + (fCoeM \times VCoeM) + (fCoeS \times VCoeS) + (fCoeMS \times VCoeMS) \quad \text{Ecuación 4.1}$$

En donde:

- $VtCoe$ = volumen total de caudal ordinario estacional;
- $fCoe$ = frecuencia de ocurrencia de un régimen "i";
- $VCoe$ = volumen de caudal ordinario estacional "i";

Siendo "i" las condiciones húmedas, medias, secas y muy secas (H, M, S y MS).

Cuadro 4.5. Frecuencias de ocurrencia de tipos de años por OA.

Objetivo ambiental	Nivel de conservación	Frecuencias de ocurrencia - VtCoe			
		Húmedo	Medio	Seco	Muy seco
A	Muy bueno	0.1	0.4	0.3	0.2
B	Bueno	0.0	0.2	0.4	0.4
C	Moderado	0.0	0.0	0.4	0.6
D	Deficiente	0.0	0.0	0.0	1.0



Cuadro 4.6. Caudal ordinario estacional en hm³, en las estaciones Temixco y Zacatepec.

hm ³	Temixco				Zacatepec			
	HÚMEDOS	MEDIOS	SECOS	MUY SECOS	HÚMEDOS	MEDIOS	SECOS	MUY SECOS
ENE	4.30	2.74	2.54	1.83	7.48	2.39	1.71	1.11
FEB	3.37	2.51	2.11	1.56	5.29	1.57	1.22	0.75
MAR	3.10	2.13	1.95	1.23	4.87	1.10	0.82	0.48
ABR	2.71	1.75	1.52	1.26	3.80	1.08	0.84	0.49
MAY	3.47	1.70	1.42	0.84	5.46	1.61	1.26	0.78
JUN	9.79	5.57	3.79	1.76	26.67	9.54	5.13	2.28
JUL	13.61	6.29	4.83	2.62	40.50	14.36	9.45	3.20
AGO	15.62	7.40	5.80	3.80	45.08	15.88	10.00	4.20
SEP	18.41	9.05	5.78	4.26	51.46	24.96	14.71	7.08
OCT	10.18	4.74	4.07	2.83	30.26	9.51	6.34	3.95
NOV	5.46	3.69	2.98	1.84	12.54	6.18	3.91	3.20
DIC	4.81	3.09	2.86	1.91	9.33	4.76	3.61	1.54
Total	95	51	40	26	243	93	59	29

4.7.2. Volumen total del régimen de avenidas

En este rubro, para el objetivo ambiental “C” que le corresponde al río Apatlaco, se reproducen las avenidas de 15, 25 y 40 m³/s en Temixco y 45, 85 y 135 m³/s en Zacatepec, correspondientes a 1, 1.5 y 5 años de retorno respectivamente, cuya frecuencia en un periodo de diez años también se ve afectada por el objetivo ambiental, reproduciéndose únicamente con la frecuencia señalada en el Cuadro 4.7 y multiplicándose por su duración y volumen, conforme con la siguiente ecuación:

$$VtRa = (faI \times daI \times VaI) + (faII \times daII \times VaII) + (faIII \times daIII \times VaIII) \quad \text{Ecuación 4.2}$$

En donde:

- $VtRa$ = volumen total del régimen de avenidas;
 fa = frecuencia de ocurrencia de una avenida "i";
 da = duración de una avenida "i";
 Va = Volumen de una avenida "i", siendo "i" las avenidas tipo I, II y III.

Cuadro 4.7. Frecuencia de ocurrencia de distintas avenidas.

Objetivo ambiental	Categoría I	Categoría II	Categoría III
A	10	6	2
B	5	3	2
C	3	2	1
D	2	1	1

Cuadro 4.8. Volumen total del régimen de avenidas en hm^3 , en las estaciones Temixco y Zacatepec.

hm ³	Temixco				Zacatepec			
	Mes	HÚMEDOS	MEDIOS	SECOS	MUY SECOS	HÚMEDOS	MEDIOS	SECOS
ENE	4.30	2.74	2.54	1.83	4.30	2.74	2.54	1.83
FEB	3.37	2.51	2.11	1.56	3.37	2.51	2.11	1.56
MAR	3.10	2.13	1.95	1.23	3.10	2.13	1.95	1.23
ABR	2.71	1.75	1.52	1.26	2.71	1.75	1.52	1.26
MAY	3.47	1.70	1.42	0.84	3.47	1.70	1.42	0.84
JUN	9.79	5.57	3.79	1.76	9.79	5.57	3.79	1.76
JUL	13.61	6.29	4.83	2.62	13.61	6.29	4.83	2.62
AGO	15.62	7.40	5.80	3.80	15.62	7.40	5.80	3.80
SEP	18.41	9.05	5.78	4.26	18.41	9.05	5.78	4.26
OCT	10.18	4.74	4.07	2.83	10.18	4.74	4.07	2.83
NOV	5.46	3.69	2.98	1.84	5.46	3.69	2.98	1.84
DIC	4.81	3.09	2.86	1.91	4.81	3.09	2.86	1.91



Los resultados de los $VtCoe$ y $VtRa$, así como el volumen final de reserva ambiental para Temixco y Zacatepec, se muestran en el Cuadro 4.9.

Volumen final de reserva ambiental

$$V_{fr} = V_{tCoe} + V_{tRa} \quad \text{Ecuación 4.3}$$

Cuadro 4.9. Volumen final de reserva ambiental.

	Temixco	Zacatepec
	VtCoe (caudales ordinarios)	
TOTAL (hm ³)	31.3	41.0
% EMA	40.5%	22.3%
VtRa (régimen de avenidas)		
TOTAL (hm ³)	1.2	4.4
% EMA	1.5%	2.4%
VFR (volumen final de reserva) hm ³		
TOTAL (hm ³)	32.5	45.4
% EMA	42.0%	24.6%

Los resultados finales señalan una concordancia con los valores de referencia para la estación Zacatepec al alcanzarse el 24.6% del EMA, mientras que para la estación Temixco se corroboró la situación del incremento de volúmenes en los cauces debido a la urbanización al incrementarse hasta 42% del escurrimiento medio anual.

4.7.3. Variabilidad y cambio climático

En la cuenca del río Apatlaco se presentan tres zonas climáticas definidas (capítulo 1 de este libro). La zona norte o parte alta de la cuenca se considera de transición entre las sierras y los valles, con altitudes de 3 000 a 1 650 msnm y con climas de los tipos semifrío, templado



subhúmedo y semicálido. En la región media, de 1 650 a 1 350 msnm el clima es semicálido, con presencia de canícula, y en la región baja, de 1 350 a 900 msnm el clima es cálido subhúmedo con lluvias en verano (IMTA, 2007). En cuanto a la precipitación media anual, se reportan valores desde 1 600 mm, en la parte alta, a 800 mm en la parte baja de la cuenca.

La distribución de la lluvia ocurre en verano porque ésta inicia generalmente a mediados de mayo y termina en la primera quincena de octubre (concentrándose en esta temporada del 94 al 95% de la precipitación total anual).

Debido a que las variables maestras de cambio climático corresponden a la temperatura máxima y la precipitación, se analizaron y compararon las tendencias de periodos críticos de estos parámetros en las estaciones climatológicas más cercanas a las estaciones hidrométricas analizadas para el régimen de caudal (Figura 4).

Las condiciones críticas para los ecosistemas y usos del agua se presentan durante las épocas de reproducción y maduración de organismos como peces y macroinvertebrados, germinación de semillas en las áreas cubiertas durante las lluvias y desnudas en la época de estiaje; además, cuando existe la menor disponibilidad de agua para las funciones de autodepuración y se presenta la mayor demanda para riego, por lo que se consideró el análisis de las tendencias de la temperatura máxima ($T_{máx}$) de noventa días de la serie de tiempo de cada estación más cercana a las hidrométricas para compararlas con las tendencias del caudal mínimo para el mismo periodo (Figura 10).

Como se observa, la tendencia en la temperatura máxima ha variado en el periodo de registro de sesenta años, en menos de un grado, y el caudal mínimo se ha incrementado, de tal forma que esta reducción de la temperatura, acoplada a los efectos del cambio



de uso del suelo urbano que reducen la infiltración, han incrementado los caudales mínimos. De este resultado podría preverse que el efecto de agudización de las sequías, asociado al cambio climático, sería bajo en esta zona por el incremento del volumen circulante de agua en las corrientes proveniente de la extracción de pozos, tales como fuentes de abastecimiento para el uso público y agrícola en esta subcuenca.

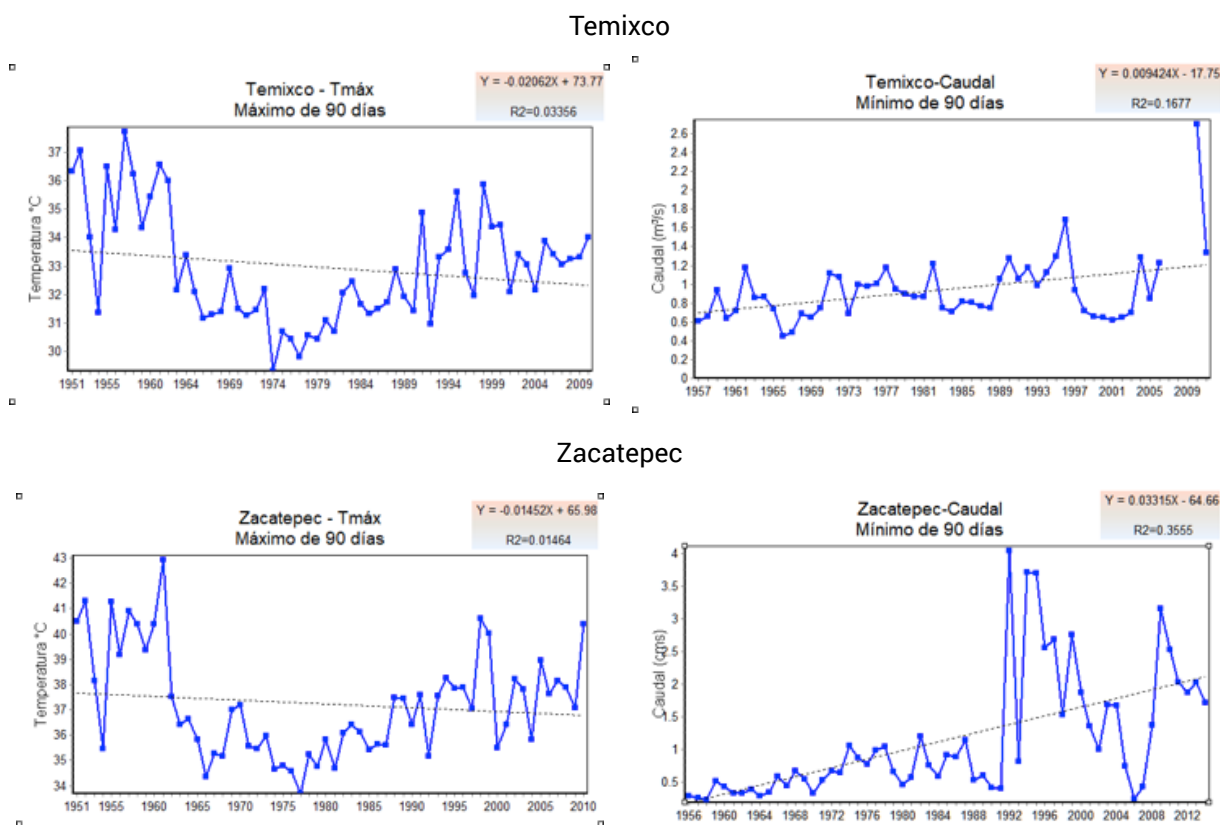


Figura 4.10. Tendencias de temperatura máxima y caudal mínimo de noventa días.

En el caso de la precipitación, aunque la magnitud del escurrimiento también se ve incrementada por los procesos de urbanización que, como se señaló, impiden la infiltración, la tendencia en el periodo de registro señala un incremento en ambos procesos de precipitación y caudales en ambas estaciones de la parte media y baja de la subcuenca del río Apatlaco (Figura 11).

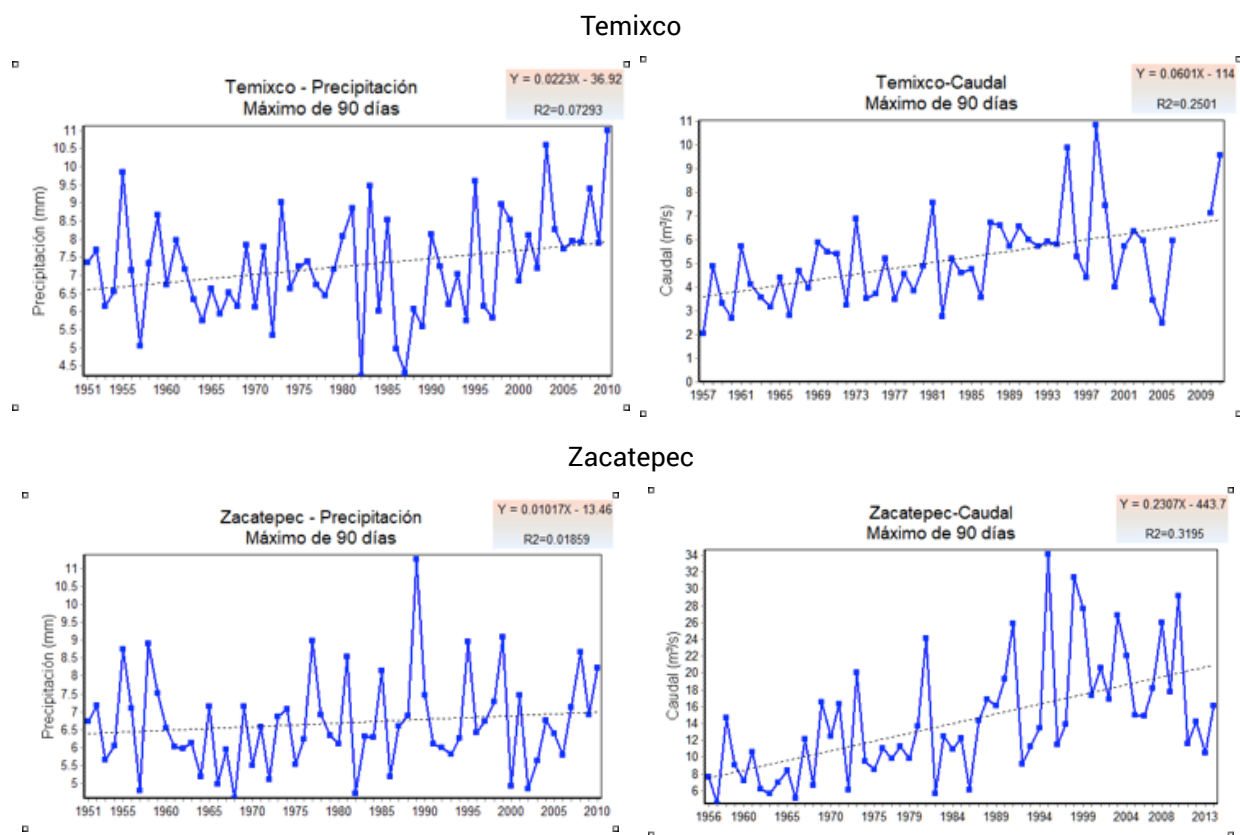


Figura 4.11. Tendencias de precipitación y caudal máximo de noventa días.



De esta forma, el efecto de inundaciones puede verse incrementado no solo por la velocidad con que los escurrimientos dejan las zonas urbanizadas impermeables, sino como consecuencia de esta tendencia de incremento de la precipitación, que habrá de analizarse bajo otros índices de cambio climático regionales, ya que se ha concluido, en general, que eventos extremos como las inundaciones pueden verse incrementados en magnitud y frecuencia.

Para la estación Temixco, la comparación de dos periodos considerando los percentiles, muestran un incremento significativo de 23 A 33% entre ambos periodos, con mayores caudales en el segundo periodo para distintos indicadores hidrológicos de interés en su expresión mínima y máxima (Cuadro 4.10).

Cuadro 4.10. Parámetros hidrológicos (m³/s) E. H. Temixco.

Periodo	1957-1983 (27 años)					1984-2011 (25 años)				
	P10	P25	P50	P75	P90	P10	P25	P50	P75	P90
1-día mínimo	0.27	0.36	0.51	0.61	0.75	0.33	0.44	0.58	0.86	0.96
3-días mínimo	0.30	0.38	0.53	0.63	0.83	0.40	0.48	0.61	0.90	0.98
7-días mínimo	0.34	0.43	0.58	0.72	0.87	0.45	0.54	0.67	0.98	1.04
30-días mínimo	0.42	0.53	0.67	0.85	1.03	0.51	0.59	0.83	1.08	1.18
90-días mínimo	0.58	0.68	0.86	0.99	1.18	0.65	0.71	0.94	1.25	1.47
1-día máximo	13.50	16.89	20.06	27.42	44.60	14.09	22.24	28.20	43.00	49.99
3-días máximo	9.17	11.49	13.41	20.16	28.87	10.89	14.97	20.08	25.08	34.62
7-días máximo	6.25	7.69	10.30	14.42	18.99	8.81	11.23	13.48	18.33	21.44
30-días máximo	4.14	4.77	6.03	8.01	9.91	5.13	6.75	7.86	9.95	13.58
90-días máximo	2.75	3.33	4.14	5.22	6.10	3.52	4.67	5.93	6.67	9.70

Mientras que en la estación Zacatepec el efecto del incremento en los volúmenes del segundo periodo es mucho más significativo, con porcentajes de 46 hasta 257%, que puede estarse incrementando por los retornos de las actividades agrícolas por riego con agua subterránea (Cuadro 4.11).

Cuadro 4.11. Parámetros hidrológicos (m³/s) E. H. Zacatepec.

Periodo	1956-1984 (29 años)					1985-2014 (30 años)				
	P10	P25	P50	P75	P90	P10	P25	P50	P75	P90
1-día mínimo	0.16	0.22	0.33	0.42	0.53	0.18	0.27	0.56	1.40	2.14
3-días mínimo	0.17	0.24	0.34	0.45	0.57	0.20	0.29	0.64	1.62	2.15
7-días mínimo	0.19	0.25	0.36	0.49	0.60	0.24	0.33	0.75	1.66	2.17
30-días mínimo	0.22	0.28	0.48	0.57	0.77	0.35	0.57	1.14	1.83	2.31
90-días mínimo	0.28	0.34	0.54	0.71	1.04	0.42	0.79	1.60	2.53	3.64
1-día máximo	39.98	60.42	79.44	91.62	123.60	69.86	86.84	113.50	155.30	186.70
3-días máximo	27.13	35.19	45.35	55.52	76.17	36.38	51.62	67.69	100.60	113.40
7-días máximo	17.36	23.27	31.86	37.70	53.51	23.98	32.38	45.25	65.72	79.22
30-días máximo	8.83	11.39	15.74	20.85	31.13	14.45	17.48	24.23	31.90	46.53
90-días máximo	5.64	6.79	9.77	12.47	16.55	10.59	13.16	16.44	22.96	29.04

Con respecto a otros indicadores asociados a eventos de interés en la corriente (Cuadro 4.12 y Cuadro 4.13), se observa que los valores de picos extremos bajos correspondientes a los valores por debajo del percentil 10 de toda la serie de datos se mantienen entre ambos periodos y en las dos estaciones, así como las inundaciones de dos años de retorno que se asocian al desborde de la corrientes hacia la zona riparia en la estación Temixco, incrementándose solamente los picos de inundaciones de diez años de retorno (5 a 15% en los percentiles altos). Mientras que en la estación Zacatepec, los incrementos en las inundaciones de diez años de retorno en los mismos percentiles son mayores, lo cual indica una mayor circulación de agua en las corrientes durante estos eventos.



Cuadro 4.12. Percentiles de caudales extremos bajos, pequeñas y grandes inundaciones (m³/s), E. H. Temixco.

Periodo	1957-1983 (27 años)					1984-2011 (25 años)				
Percentil	P10	P25	P50	P75	P90	P10	P25	P50	P75	P90
Caudales extremos bajos	0.5	0.6	0.6	0.6	0.6	0.4	0.5	0.6	0.6	0.6
Pequeñas inundaciones (TR=2 años)	20.1	23.1	25.3	28.7	36.5	21.9	23.0	26.7	30.8	37.8
Grandes inundaciones (TR=10 años)	45.31	45.31	47.64	49.98	49.98	45.23	47.06	49.9	55.21	60.29
CMA (m ³ /s)	2.13					2.87				
EMA (hm ³ /año)	67.17					90.51				

Cuadro 4.13. Percentiles de caudales extremos bajos, pequeñas y grandes inundaciones (m³/s), E. H. Zacatepec.

Periodo	1956-1984 (29 años)					1985-2014 (30 años)				
Percentil	P10	P25	P50	P75	P90	P10	P25	P50	P75	P90
Caudales extremos bajos	0.2	0.3	0.3	0.3	0.4	0.1	0.2	0.3	0.4	0.4
Pequeñas inundaciones (TR=2 años)	81.3	83.9	89.6	94.3	104.9	81.6	88.6	95.3	112.3	116.0
Grandes inundaciones (TR=10 años)	123.6	123.6	133.6	166.7	166.7	127	136.3	153.4	185.5	197.3
CMA (m ³ /s)	4.04					7.52				
EMA (hm ³ /año)	127.41					237.15				



4.8. Conclusiones

El presente trabajo se enfocó a señalar las alternativas para implementar un caudal ecológico y reserva de agua anual para el ambiente bajo escenarios de competencia por el agua superficial, lo cual, de momento, no se da en esta cuenca, aunque sí se reconocieron alteraciones hidrológicas en las partes media y alta asociadas a mayor circulación de volúmenes en la época de estiaje, con efectos principalmente en las comunidades acuáticas.

Las alteraciones o cambios en el régimen de escurrimiento se vuelven “significativas” cuando se incrementa la magnitud, duración o frecuencia de los eventos en un margen superior al 20%, que fue el caso para el volumen entre ambos periodos y en las dos estaciones con datos históricos (Temixco y Zacatepec). Para las avenidas de retorno de diez años se observó un incremento hasta del 15%. Esto, sin embargo, aún puede atribuirse a la propia variabilidad climática y del régimen de caudal. No obstante, ante un aumento del escurrimiento durante la estación húmeda y mayor demanda de agua hacia aguas arriba, se hace indispensable considerar acciones y mecanismos de reúso y captación.

El análisis a escalas de subcuencas y microcuencas se hace indispensable, toda vez que algunos tramos o secciones aún exhiben condiciones menos alteradas y ecosistemas a proteger, como es el caso de las microcuencas cerradas y las de Chalchihuapan y Tres Marías en la parte alta de la cuenca, donde se podría proponer un cambio de clasificación a objetivo ambiental “B”, que significaría una mayor reserva anual de agua para esta zona, así como porcentajes mensuales de caudal ecológico.

Este análisis también refleja cómo los ríos de nuestro país, en las partes altas con urbanizaciones, han cambiado o están cambiando dramáticamente con efectos



en casi todo su recorrido, ya sea que se reduzcan los caudales por extracciones, volviéndose temporales, o se contaminen por descargas superiores a su capacidad de autodepuración, o bien, se incrementen por la abundancia de aguas pluviales de grandes ciudades, importadas de otras fuentes, que reducen la capacidad natural de los sistemas fluviales para adaptarse y absorber las perturbaciones tanto a los recursos bióticos o ecosistemas, como al aprovechamiento que se hace de los mismos. Además, con los cambios esperados en el clima regional y las necesidades de agua, se puede llegar a afectar el propio ciclo hidrológico dentro de estas subcuencas e incrementar los riesgos para los seres humanos debido a las crecientes inundaciones o escasez de agua.

De la comparación de la variabilidad y tendencias de cambio entre indicadores hidrológicos del régimen de caudal (como máximos y mínimos estacionales), con los principales indicadores del cambio climático a escala local (temperatura máxima y precipitación), los resultados señalan que los efectos sobre la disponibilidad y circulación del agua no resultan evidentes, ya que cambios paulatinos, como el cambio del uso de suelo en zonas urbanizadas, han incrementado los caudales en la época de lluvias, principalmente

Los efectos de la temperatura máxima en los periodos analizados no presentaron un efecto en la reducción de los caudales circulantes en el río en la época de estiaje como podría esperarse; esto, además, porque la $T_{máx}$ para el periodo analizado de noventa días tampoco se incrementó en el periodo histórico de análisis (sesenta años); aunque debe resaltarse que se trata de un análisis puntual o local que podría obtener resultados distintos con un análisis de cambio climático a escala de subescalamiento regional.

Con respecto a la precipitación, el incremento fue más evidente en la estación Zacatepec por el efecto acumulativo de las microcuencas, que se ve reflejado en la agregación del



caudal del río Apatlaco en el periodo histórico de registro, sobre todo en el segundo periodo. Estas condiciones se deben reconocer, ante todo, al analizar microcuencas para los estudios de vulnerabilidad, que permiten conocer la disponibilidad de agua para distintas necesidades: abastecimiento público, agricultura y desarrollo en general, y la respuesta temprana ante eventos hidrometeorológicos extremos (sequías e inundaciones) frente a otras acciones, como el cambio de uso suelo y urbanización.

Los balances de agua a escala sub y microcuencas resultan muy útiles para reconocer los cambios que pueden ser atendidos o controlados, además de apoyar la toma de decisiones específicas con respecto a los caudales ecológicos que se asignen a las corrientes y reservas de agua para el ambiente, bajo escenarios de presión por efectos del cambio climático.

De esta forma, se reconoce que aun con una mayor cantidad de agua circulando se puede llegar a producir estrés hídrico por la exportación de agua de subcuencas de las partes altas (caso del Apatlaco), bajo escenarios de cambio climático, ya que los ríos rodeados de un desarrollo intenso, como el Apatlaco, pueden experimentar inundaciones más severas y una mayor erosión debido a la disrupción de los procesos hidrológicos. Además, por otra parte, los organismos acuáticos (incluidos los exóticos) pueden dispersarse más fácilmente y la calidad del agua puede reducirse debido al aumento del flujo de sedimentos, nutrientes y contaminantes.



4.9. Referencias

- Alonso Eguía Lis, P., Gómez Balandra, M. A., & Saldaña Fabela, P. (2007). *Requerimientos para implementar el caudal ambiental en México*. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, Alianza World Wildlife Fund/Fundación Gonzalo Río Arronte. Programa Hidrológico Internacional Unesco, Semarnat.
- Arora, M., Casas-Mulet, R., Costelloe, J. F., Peterson, T. J., McCluskey, A. H., & Stewardson, M. J. (2017). Chapter 6 - Impacts of Hydrological Alterations on Water Quality. In A. C. Horne, J. A. Webb, M. J. Stewardson, B. Richter, & M. B. T. -W. for the E. Acreman (Eds.), (pp. 101-126). Academic Press. <http://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-12-803907-6.00006-1>
- Arreguín Cortés, F. I.; López Pérez, M.; Rodríguez López, O. & Montero Martínez, M. J. (2015). *Atlas de vulnerabilidad hídrica en México ante el cambio climático. Efectos del cambio climático en el recurso hídrico de México*. Retrieved from <http://www.atl.org.mx/atlas-vulnerabilidad-hidrica-cc/>
- Calvo Tortajada, R. (2016). Implementación del lidar terrestre en la caracterización y modelización de análogos de reservorios fluviales: desarrollo y aplicación de nuevas metodologías en afloramientos del abanico fluvial de Huesca (Mioceno de la cuenca del Ebro). Retrieved from <https://dialnet.unirioja.es/servlet/dctes?codigo=81618>
- Declaración de Brisbane. (2007). *Declaración de Brisbane*.
- DOF 06/06/2018. DECRETO por el que se suprime la veda en las cuencas hidrológicas que se indican, se establece zona de veda en las cuencas hidrológicas Arroyo Zarco, río Ñadó, río Galindo, río San Juan 1, río Tecozautla, río San Juan 2, Arroyo El Puerquito o San Bartolo, Pub. L. No. DOF 06/06/2018 (2018). Mexico: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.
- DOF 07/07/2016. ACUERDO por el que se actualiza la disponibilidad media anual de las aguas nacionales superficiales de las 757 cuencas hidrológicas que comprenden las 37 regiones hidrológicas en que se encuentra dividido los Estados Unidos Mexicanos., Pub. L. No. DOF 07/07/2016 (2016). Mexico.



- Döll, P., Fiedler, K., & Zhang, J. (2009). Global-scale analysis of river flow alterations due to water withdrawals and reservoirs. *Hydrology and Earth System Sciences*, 13(12), 2413-2432.
- Dyson, M., Bergkamp, G., Scanlon, J. (2003). *Elementos esenciales de los caudales ambientales*. San José, C. R: UICN-ORMA.
- Garrido, A., Cuevas, M., Cotler, H., González, D., & Tharme, R. (2010). Evaluación del grado de alteración ecohidrológica de los ríos y corrientes superficiales de México. *Investigación Ambiental*, 2(1), 25–46.
- Gaviño Novillo, M. (2017). *Informe de Actividades Marzo 2015-Junio de 2017 del Programa Regional de Ecohidrología para América Latina y El Caribe*. Buenos Aires.
- Gómez-Balandra, M. A., Saldaña-Fabela, M. del P, & Martínez-Jiménez, M. (2014). The Mexican environmental flow standard: scope, application and implementation. *Journal of Environmental Protection*, 5(01), 71.
- Horne, A. C., O'Donnell, E. L., Webb, J. A., Stewardson, M. J., Acreman, M., & Richter, B. (2017). Chapter 1 - The Environmental Water Management Cycle. In A. C. Horne, J. A. Webb, M. J. Stewardson, B. Richter, & M. B. T.-W. for the E. Acreman (Eds.), (pp. 3-16). Academic Press. <http://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-12-803907-6.00001-2>
- Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (2007). *Plan Estratégico para la Recuperación Ambiental de la Cuenca del río Apatlaco*. Jiutepec, Morelos.
- NMX-AA-159-SCFI-2012. (2012). Norma Mexicana. "Que establece el procedimiento para la determinación del caudal ecológico en cuencas hidrológicas". *DOF*, 20 de septiembre de 2012. México.
- Parasiewicz, P., & Dunbar, M. J. (2001). Physical habitat modelling for fish - a developing approach. *River Systems*. <http://doi.org/10.1127/lr/12/2001/239>
- Poff, N. L., & Olden, J. D. (2017). Can dams be designed for sustainability? *Science (New York, N.Y.)*, 358(6368), 1252–1253. <http://doi.org/10.1126/science.aag1422>
- Poff, N. L., Richter, B. D., Arthington, A. H., Bunn, S. E., Naiman, R. J., Kendy, E., Warner, A. (2010). The ecological limits of hydrologic alteration (ELOHA): a new framework for developing regional environmental flow standards. *Freshwater Biology*, 55(1), 147–170. Retrieved from <http://doi.wiley.com/10.1111/j.1365-2427.2009.02204.x>



- Poff, N. L., Tharme, R. E., & Arthington, A. H. (2017). Evolution of environmental flows assessment science, principles, and methodologies. In *Water for the environment* (pp. 203–236). Elsevier.
- Richter, B. D. (2010). Re thinking environmental flows: from allocations and reserves to sustainability boundaries. *River Research and Applications*, 26(8), 1052-1063.
- Richter, B. D., Baumgartner, J. V., Wigington, R., & Braun, D. P. (1997). How much water does a river need? *Freshwater Biology*, 37(1), 231-249.
- Rolls, R. J., & Bond, N. R. (2017). Chapter 4 - Environmental and ecological effects of flow alteration in surface water ecosystems. In A. C. Horne, J. A. Webb, M. J. Stewardson, B. Richter, & M. B. T.- W. for the E. Acreman (Eds.), (pp. 65-82). Academic Press. <http://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-12-803907-6.00004-8>
- Salinas Rodríguez, S. A., Barrios Ordóñez, J. E., Sánchez Navarro, R., & Wickel, A. J. (2018). Environmental flows and water reserves: Principles, strategies, and contributions to water and conservation policies in Mexico. *River Research and Applications*.
- Scott, C. A., & Lutz-Ley, A. N. (2016). Enhancing water governance for climate resilience: Arizona, USA-Sonora, Mexico Comparative Assessment of the Role of Reservoirs in Adaptive Management for Water Security (pp. 15–40). Springer, Singapore. http://doi.org/10.1007/978-981-10-1914-2_2
- Stewardson, M. J., Acreman, M., Costelloe, J. F., Fletcher, T. D., Fowler, K. J. A., Horne, A. C., ... Peel, M. C. (2017). Chapter 3 - Understanding Hydrological Alteration. In A. C. Horne, J. A. Webb, M. J. Stewardson, B. Richter, & M. B. T.-W. for the E. Acreman (Eds.) (pp. 37-64). Academic Press. <http://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-12-803907-6.00003-6>
- Tennant, D. L. (1976). Instream flow regimens for fish, wildlife, recreation and related environmental resources. *Fisheries*, 1(4).
- Tharme, R. E. (2003). A global perspective on environmental flow assessment: emerging trends in the development and application of environmental flow methodologies for rivers. *River Research and Applications*, 19(5-6), 397-441. Retrieved from <http://doi.wiley.com/10.1002/rra.736>

- USGS. (2012). Physical Habitat Simulation (PHABSIM). Retrieved September 27, 2018, from <https://www.usgs.gov/software/physical-habitat-simulation-phabsim-software-windows>
- Vietz, G. J., & Finlayson, B. L. (2017). Chapter 5 - Geomorphological effects of flow alteration on rivers. In A. C. Horne, J. A. Webb, M. J. Stewardson, B. Richter, & M. B. T.-W. for the E. Acreman (Eds.), (pp. 83-100). Academic Press. <http://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-12-803907-6.00005-X>
- Vörösmarty, C. J., McIntyre, P. B., Gessner, M. O., Dudgeon, D., Prusevich, A., Green, P., ... Davies, P. M. (2010). Global threats to human water security and river biodiversity. *Nature*, 467, 555-561. Retrieved from <http://dx.doi.org/10.1038/nature09440>
- WWF, & Fundación Río Arronte (2011). *Guía para la determinación de caudal ecológico en México Sistematización de experiencias de la Alianza WWF – Fundación Gonzalo Río Arronte I.A.P.* Mexico, D.F.
- WWF, Fundación Río Arronte, & Conagua (2012a). *Norma Mexicana de Caudal Ecológico - Una política pública para la gestión del agua a través de la conservación del régimen hidrológico* (Vol. 16). Mexico, D.F.
- WWF, Fundación Río Arronte, & Conagua (2012b). *Programa de reservas de agua*. Mexico, D.F.





INUNDACIONES EN LA CUENCA DEL RÍO APATLACO ¿EFECTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO?

José Avidan Bravo, Citlalli Astudillo, Ernesto Aguilar y María de los Ángeles Suárez



5.1. Resumen

Es de suma importancia conocer la influencia del cambio climático sobre las inundaciones; es decir, si su causa es de origen antrópico o por el aumento de la intensidad de las lluvias. El presente análisis se realizó en la cuenca del río Apatlaco mediante la identificación de las inundaciones históricas sucedidas en localidades de la cuenca, el cambio de uso de suelo por incremento de la urbanización, el cambio en el régimen de los escurrimientos medidos en una estación hidrométrica y los cambios en el régimen de precipitación. Los resultados muestran que la cuenca del río Apatlaco, en su parte baja, ha padecido inundaciones y que esta problemática se debe, principalmente, a los efectos producidos por la actividad humana en el uso de suelo e incremento de desechos sólidos en cauces.

Palabras clave: inundaciones, tormentas, río Apatlaco.



5.2. Introducción

Desde épocas remotas, el ser humano siempre ha buscado habitar lugares cercanos a fuentes de agua como ríos, arroyos y lagunas, a fin de aprovecharlos para actividades agrícolas, consumo humano e, incluso, como medio de transporte. De esta manera, y conforme la población aumenta, sus necesidades e infraestructura desarrollada en partes aledañas a dichos cuerpos de agua también aumenta, acrecentando el riesgo de sufrir inundaciones. La población localizada en la cuenca del río Apatlaco no es la excepción, ya que en algunos de sus centros de población se han presentados inundaciones que pueden clasificarse de tipo natural y antrópico; estas últimas asociadas básicamente con la invasión de cauces y zonas bajas no aptas para asentamientos humanos.



Figura 5.1. río Apatlaco.

En el presente capítulo se busca contestar la siguiente pregunta: ¿Las lluvias se han intensificado a causa del cambio climático y, por consecuencia, hay un aumento en las inundaciones? Para ello, se hizo una recopilación de las inundaciones históricas, se analizó el cambio de uso de suelo, se revisaron las avenidas presentadas en la estación de Temixco y se analizó la intensidad de la lluvia registrada en el periodo 1999-2013, con la intención de observar si existe alguna tendencia que indique el efecto del cambio climático sobre las intensidades de la lluvia.

5.3. Inundaciones históricas en la cuenca

Debido a su localización geográfica, la cuenca del río Apatlaco se ve afectada por fenómenos meteorológicos como sistemas frontales, ondas tropicales provenientes de las zonas ecuatoriales de los océanos Atlántico y Pacífico, y ciclones tropicales que, a pesar de no tener influencia directa, pueden originar precipitaciones intensas que favorecen el desbordamiento de las corrientes superficiales.

Para el desarrollo de este estudio, es importante indicar que no se consideró la cuenca del río Apatlaco de forma completa, debido a que la parte alta de la misma es una cuenca cerrada y no contribuye a los escurrimientos superficiales (Figura 5.2).

En la Figura 5.3 se puede observar que el gradiente topográfico más pronunciado se presenta en la parte alta de la cuenca, entre el poblado de Tres Marías y la parte norte de la localidad de Cuernavaca, donde en aproximadamente 15 km se tiene un desnivel de casi 2 000 m, presentándose un sinnúmero de barrancas profundas o superficiales, lo que da lugar a que los escurrimientos de agua se presenten de manera rápida. Por



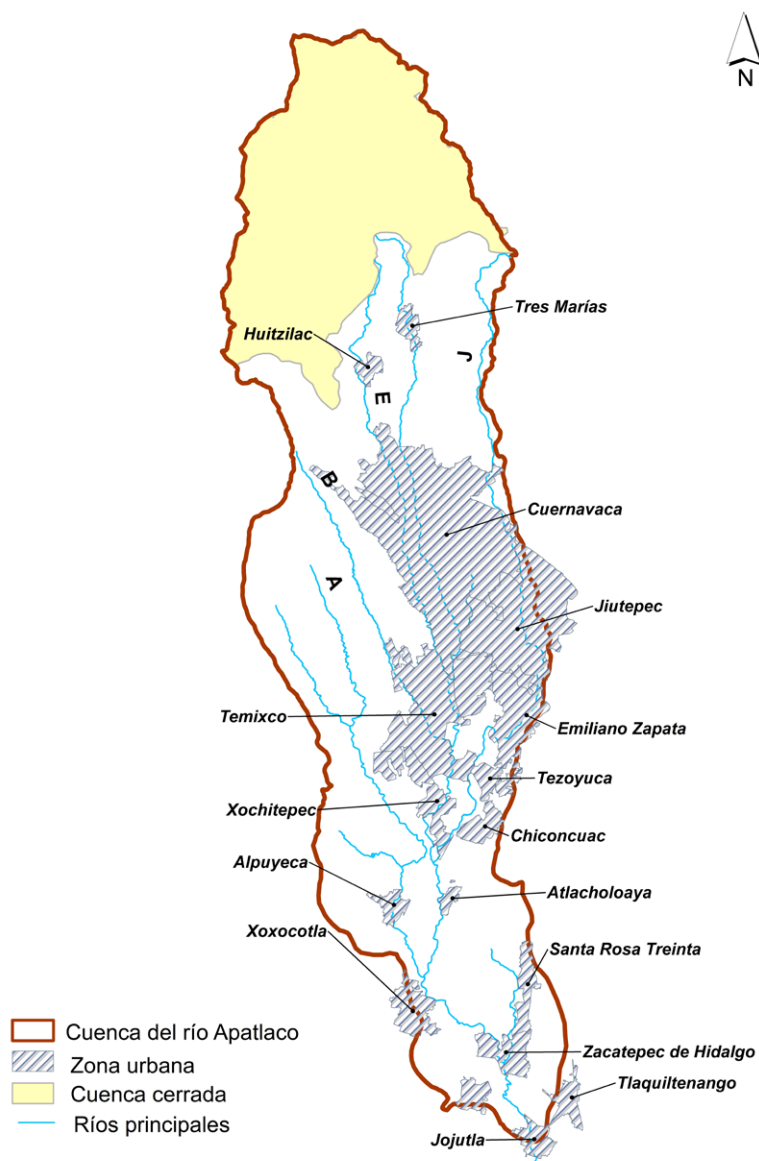


Figura 5.2. Cuenca del río Apatlaco.

otro lado, puede observarse que del valle de Cuernavaca hacia el valle de Jojutla y Zacatepec, la pendiente es menos pronunciada, ya que en casi 35 km se presenta un desnivel de 700 milímetros sobre el nivel del mar.

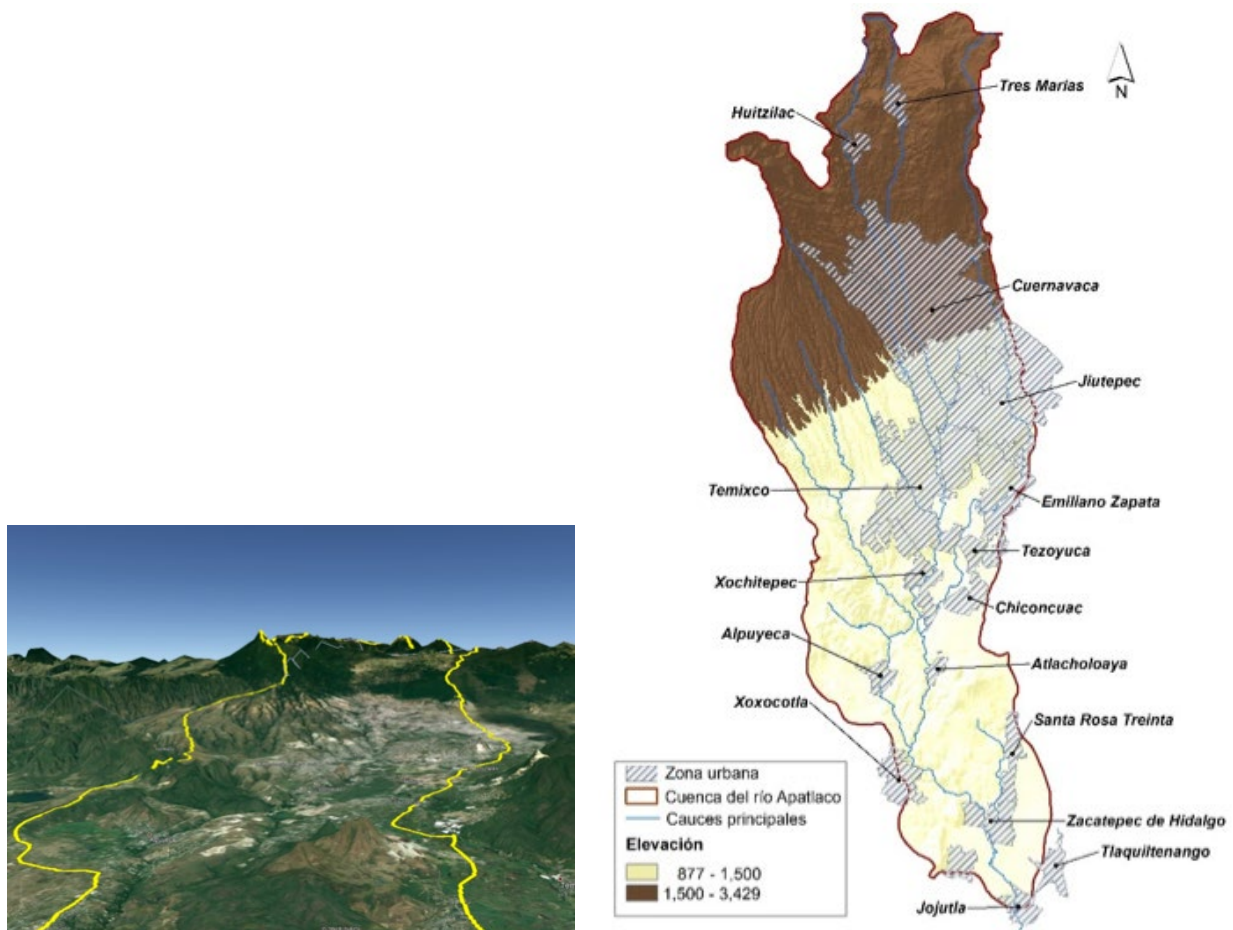


Figura 5.3. Orografía de la cuenca. Elevación en metros sobre el nivel del mar (msnm).



Tomando en cuenta lo anterior, los escurrimientos provenientes de altitudes elevadas como Tres Marías y Huitzilac no encuentran problema en desplazarse hacia los cauces y barrancas que existen en esas zonas debido a la pendiente pronunciada; sin embargo, al llegar a los afluentes del río Apatlaco localizados en zonas más planas, como el valle de Cuernavaca, Jiutepec y Temixco, el volumen que escurre a través de las barrancas, que en muchos casos es mayor a la capacidad de conducción, hace que se presenten desbordamientos.

De acuerdo con el documento *Compendio de identificación de asentamientos humanos en cauces federales*, elaborado por el Organismo de Cuenca Balsas en 2012 y actualizado por la Ceagua en 2014, sólo se tienen registros de eventos de inundaciones en las localidades de Temixco, Xochitepec y Jiutepec, las cuales sufrieron afectaciones por los desbordamientos del río Apatlaco y de las barrancas Puente Blanco y La Gachupina, en 2008. El detalle se puede ver en el Cuadro 5.1.

Cuadro 5.1. Eventos de inundaciones en el área de estudio.

Municipio	Localidad	Evento	Afectaciones	
			Casas	Habitantes
Temixco	Las Ánimas, Las Rosas	Desbordamiento del río Apatlaco	70	350
Xochitepec	Unidad Deportiva Mariano Matamoros	Desbordamiento del río Apatlaco	Sin dato	Sin dato
Jiutepec	Residencial Country, San José, Pedregal de Tejalpa, Lázaro cárdenas	Desbordamiento de las barrancas Puente Blanco y La Gachupina	130	650

Fuente: Conagua, agosto 2012. *Compendio de identificación de asentamientos humanos en cauces federales*.

Las inundaciones fluviales que se propician en la parte alta de la cuenca son súbitas, en general, debido a la rápida respuesta hidrológica y a las características geomorfológicas, situación que favorece la generación de grandes avenidas en tiempos relativamente pequeños.



Figura 5.4. Afectaciones.

Por otro lado, se tienen registros de afectaciones en Cuernavaca debido a inundaciones y tormentas intensas desde 1970 a la fecha, las cuales derivaron en daños a viviendas, menaje, cultivos, centros comerciales, vialidades, propiedad privada, servicio de energía eléctrica y población en general (Ayala, 2017).

La Comisión Estatal del Agua de Morelos (Ceagua) ha identificado las principales zonas afectadas por inundación en los últimos años (Figura 5.5). En la imagen se observa que las afectaciones han ocurrido principalmente en las localidades de Jiutepec, Temixco, Emiliano Zapata, Xochitepec, Zacatepec de Hidalgo y Jojutla. Estas zonas fueron identificadas a partir del *Compendio de identificación de asentamientos humanos en cauces federales*.



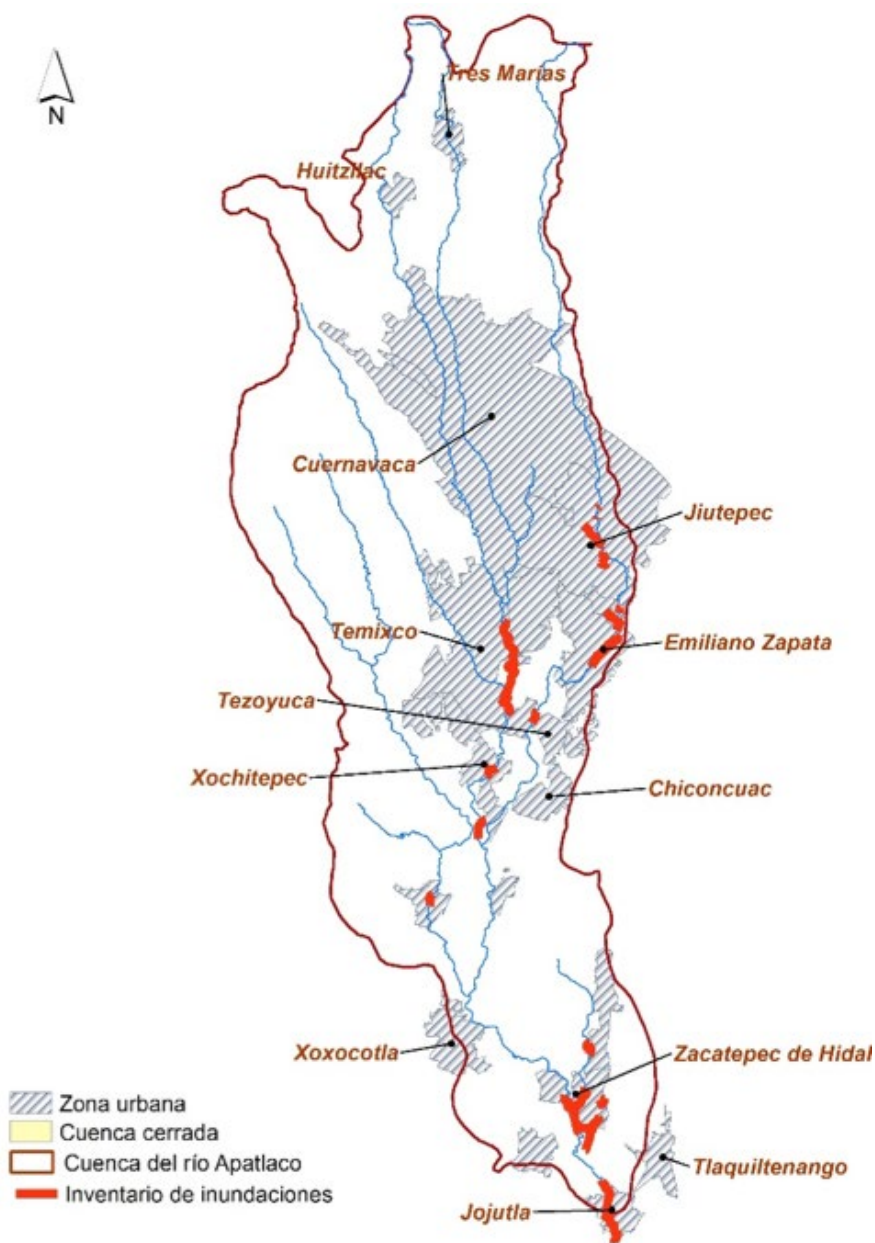


Figura 5.5. Zonas de inundación identificadas

En dichos municipios, se tienen registrados peligro y vulnerabilidad de inundación, mostrados en el Cuadro 5.2.

Cuadro 5.2. Eventos de inundaciones en el área de estudio.

Municipio	Peligro	Vulnerabilidad
Jojutla	Muy Alto	Media
Zacatepec De Hidalgo	Muy Alto	Baja
Jiutepec	Alto	Media
Xochitepec	Alto	Media
Emiliano Zapata	Alto	Media
Temixco	Medio	Media

Fuente: Ceagua Morelos, 2017.

En lo referente a fenómenos hidrometeorológicos, en 2014 la Secretaría de Gobernación declaró zona de desastre natural en los municipios de Tlaquiltenango y Jojutla, Morelos, golpeados fuertemente por las lluvias e inundaciones provocadas por el huracán Ingrid y la tormenta tropical Manuel (Protección Civil Morelos, 2017).

El Centro Nacional de Prevención de Desastres (Cenapred) reportó en el periodo 2000-2016 declaratorias de desastre en los municipios de Tlaquiltenango, Jojutla, Zacatepec de Hidalgo, Xochitepec, Temixco, Jiutepec, Huitzilac, Emiliano Zapata y Cuernavaca, derivadas de lluvias atípicas e inundaciones fluviales (Cuadro 5.3).



Cuadro 5.3. Declaratoria de desastres.

Municipio	Inicio	Término	Fenómeno	Observaciones
Tlaquiltenango	13/09/2013	16/09/2013	Ciclón tropical	Interacción Manuel e Ingrid
Tlaquiltenango	13/09/2013	13/09/2013	Ciclón tropical	Interacción Manuel e Ingrid
Jojutla	13/09/2013	16/09/2013	Ciclón tropical	Interacción Manuel e Ingrid
Jojutla	13/09/2013	13/09/2013	Ciclón tropical	Interacción Manuel e Ingrid
Tlaquiltenango	25/08/2010	25/08/2010	Inundaciones	Inundación fluvial
Tlaquiltenango	24/08/2010	24/08/2010	Inundaciones	Inundación fluvial
Zacatepec de Hidalgo	08/06/2001	12/06/2001	Lluvias	Lluvias atípicas
Xochitepec	08/06/2001	12/06/2001	Lluvias	Lluvias atípicas
Tlaquiltenango	08/06/2001	12/06/2001	Lluvias	Lluvias atípicas
Temixco	08/06/2001	12/06/2001	Lluvias	Lluvias atípicas
Jojutla	08/06/2001	12/06/2001	Lluvias	Lluvias atípicas
Jiutepec	08/06/2001	12/06/2001	Lluvias	Lluvias atípicas
Huitzilac	08/06/2001	12/06/2001	Lluvias	Lluvias atípicas
Emiliano Zapata	08/06/2001	12/06/2001	Lluvias	Lluvias atípicas
Cuernavaca	08/06/2001	12/06/2001	Lluvias	Lluvias atípicas

Fuente: Cenapred, 2017.

Los principales problemas recurrentes que causan las inundaciones en la zona conurbada de Cuernavaca son:

- Asentamientos irregulares o invasión de cauces. Estos se observan prácticamente en toda la zona urbana, pero se acentúa en las colonias La Joya, Los Pinos, Paraíso, Vicente Guerrero,



Maravillas y Calera Chica, municipio de Jiutepec. Al invadir los cauces la capacidad de conducción disminuye.

- Inundación pluvial. Este tipo de inundación se encuentra distribuido en toda la zona urbana y se genera por la baja capacidad de drenaje que, en principio, está pensado como conducción de aguas residuales, además de taponamiento por basura.
- Acumulación de azolves. En todas las corrientes y barrancas que cruzan la zona urbana se acumulan residuos generados de forma natural y por actividad humana. Temixco, usualmente ha presentado este tipo de problemas, generando el desbordamiento del río Apatlaco en su cruce por esta localidad.
- Estrechamiento de cauces por puentes vehiculares. Este problema se localiza principalmente en las zonas inundables identificadas por la Comisión Nacional del Agua (Conagua) y la Ceagua. En conjunto, con la invasión de cauces y acumulación de azolves, se reduce la capacidad de conducción de los ríos provocando así su desbordamiento.

5.4. Características fisiográficas para el análisis de avenidas

Con el fin de estimar el riesgo por inundación en la zona conurbada de Cuernavaca, se delimitaron áreas de drenaje natural que ingresan a la zona urbana. En el Cuadro 5.4 se muestran las características fisiográficas generales y se observa que para la mayor área de aportación el tiempo de concentración es menor a tres horas.



Cuadro 5.4. Características generales de las subcuencas.

Etiqueta	Longitud del cauce principal (m)	Elevación máxima (msnm)	Elevación mínima (msnm)	Diferencia de elevación	Pendiente (Si)	Área (km ²)	Tc (h)	N
A	14 438.06	1 990.00	1 270.97	719.03	0.026	9.40	2.18	63.63
B	17 509.10	2 321.08	1 255.01	1 066.07	0.030	13.01	2.36	71.00
C	12 155.34	1 980.02	1 290.15	689.87	0.020	9.09	2.06	76.69
D	8 126.01	1 905.08	1 375.22	529.86	0.030	5.50	1.34	75.20
E	22 921.89	3 089.88	1 425.02	1 664.86	0.027	79.12	2.92	62.68
F	15 973.04	3 050.78	1 973.89	1 076.89	0.024	31.81	2.35	71.05
G	8 336.44	2 962.14	1 941.36	1 020.78	0.094	5.45	0.94	63.57
H	7 806.77	2 881.50	1 917.87	963.63	0.107	5.92	0.86	62.32
I	7 660.21	2 782.46	1 788.02	994.44	0.115	6.56	0.83	62.32
J	14 563.27	3 251.83	1 869.12	1 382.71	0.035	20.57	1.92	66.74

Tc: tiempo de concentración, N: número de curva.

En la Figura 5.6, y con los datos de el Cuadro 5.4, se observa que la mayoría de los cauces que ingresan a la zona conurbada tienen una pendiente relativamente pequeña que va de 0.02 a 0.03, teniendo un tiempo de concentración entre dos y tres horas. Los escurrimientos que se derivan de la parte alta en la zona de Huitzilac y Tres Marías presentan una pendiente de 0.10, con un tiempo de concentración menor a una hora.

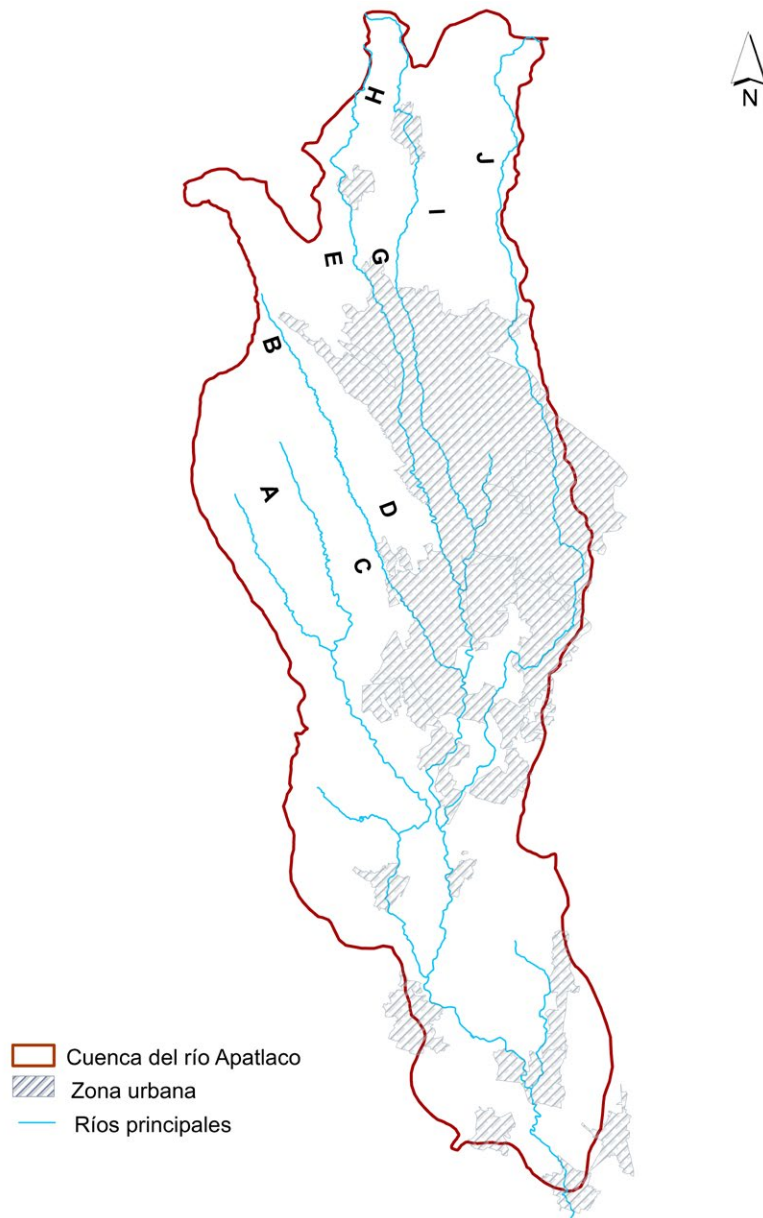


Figura 5.6. Áreas de drenaje natural con aportación de caudal a la zona de estudio.



5.5. Comportamiento de las avenidas

Se considera avenida una elevación rápida y habitualmente breve del nivel de aguas en un río o arroyo hasta un nivel máximo, desde el cual dicho nivel desciende a menor velocidad (Ayala, 2017) provocando, con ese incremento súbito, el desbordamiento del cauce.

Conocer la forma en la que se presentan las avenidas con respecto a la lluvia permite identificar posibles causas de las inundaciones, por lo que en este apartado se muestran los datos registrados por estaciones climatológicas (lluvias), comparados con las avenidas extraídas del Sistema de Información de Aguas Superficiales (SIAS) de la estación hidrométrica de Temixco.

5.6. Avenidas máximas en la estación hidrométrica Temixco (18271)

Del SIAS se extrajeron las avenidas generadas en cinco diferentes eventos, en los cuales se registraron los caudales máximos anuales (Conagua-Bandas, 2013). Estas avenidas se relacionaron con las lluvias máximas en 24 horas registradas en la misma fecha sobre la cuenca del río Apatlaco (Figura 5.7 a la Figura 5.11).



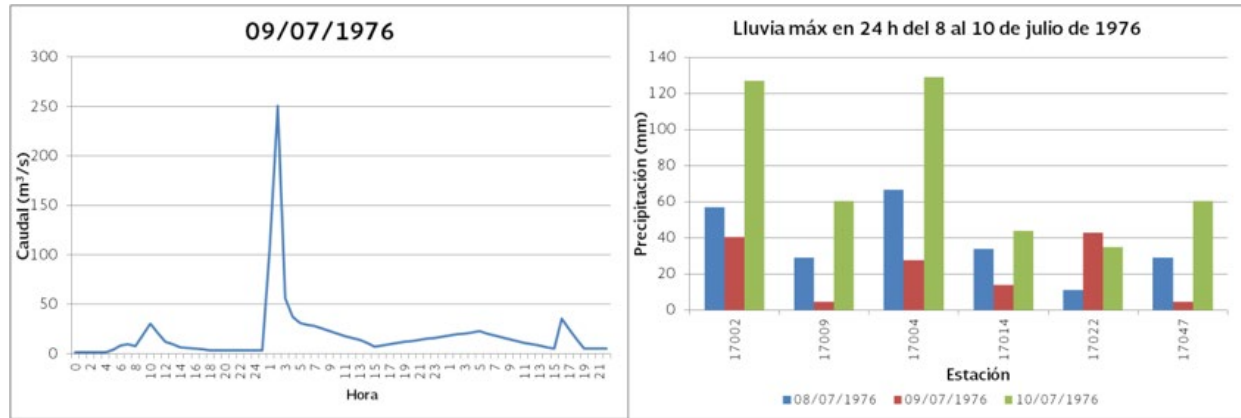


Figura 5.7. Avenida registrada y lluvia del 09/07/1976.

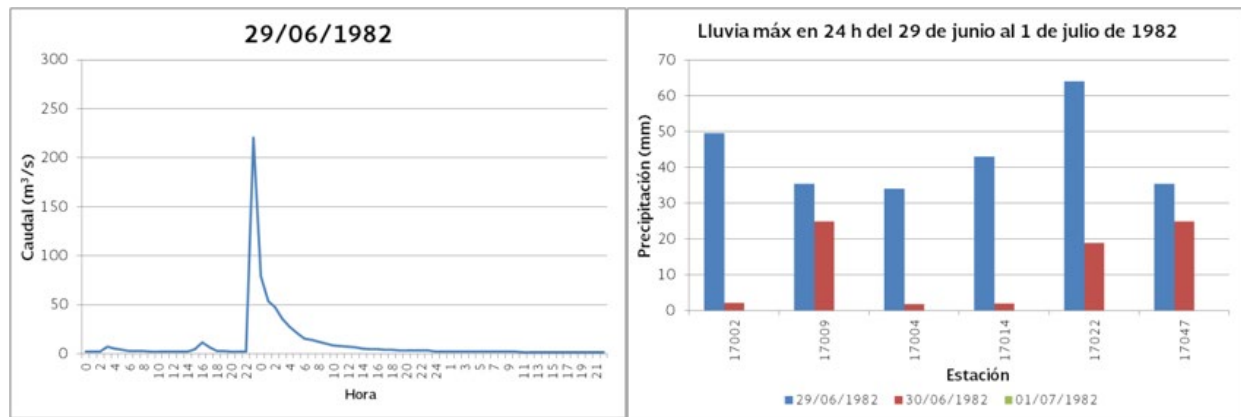


Figura 5.8. Avenida registrada y lluvia del 29/06/1982.



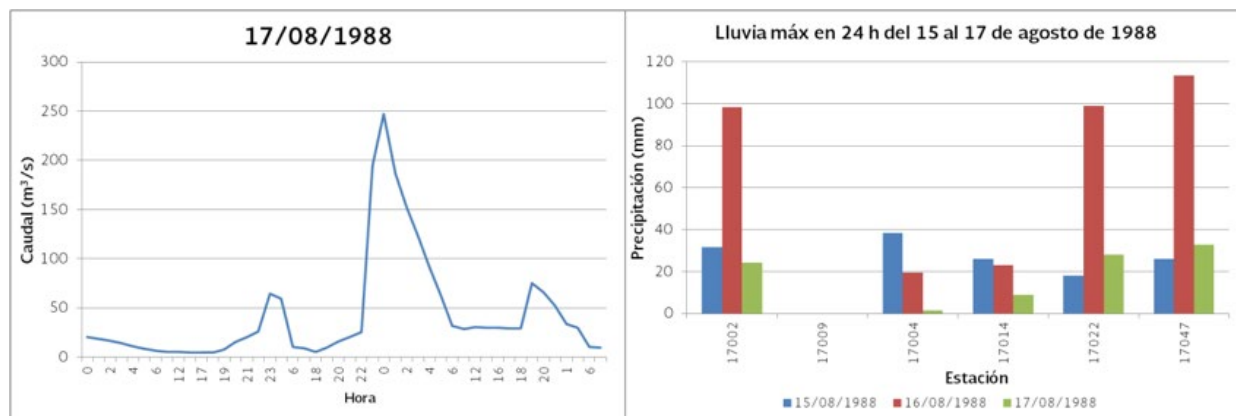


Figura 5.9. Avenida registrada y lluvia del 17/08/1988.

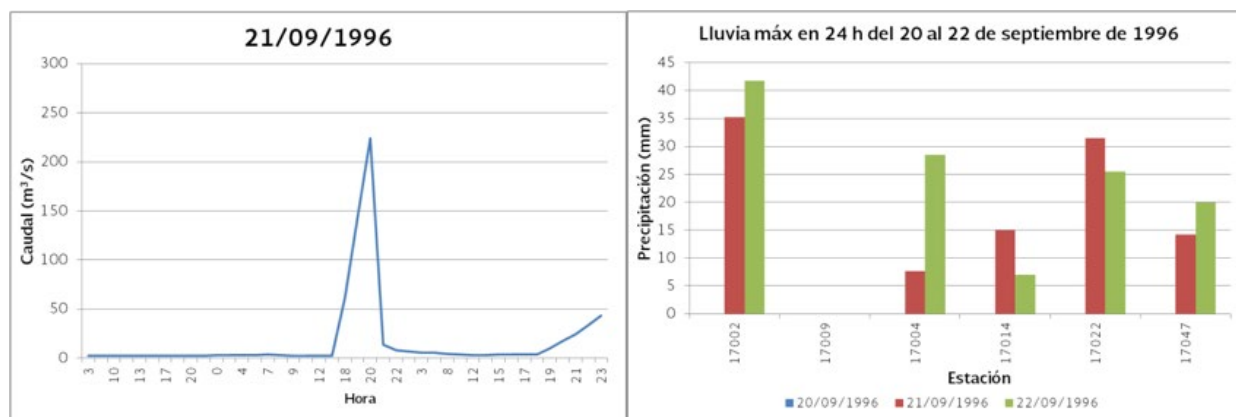


Figura 5.10. Avenida registrada y lluvia del 21/09/1996.

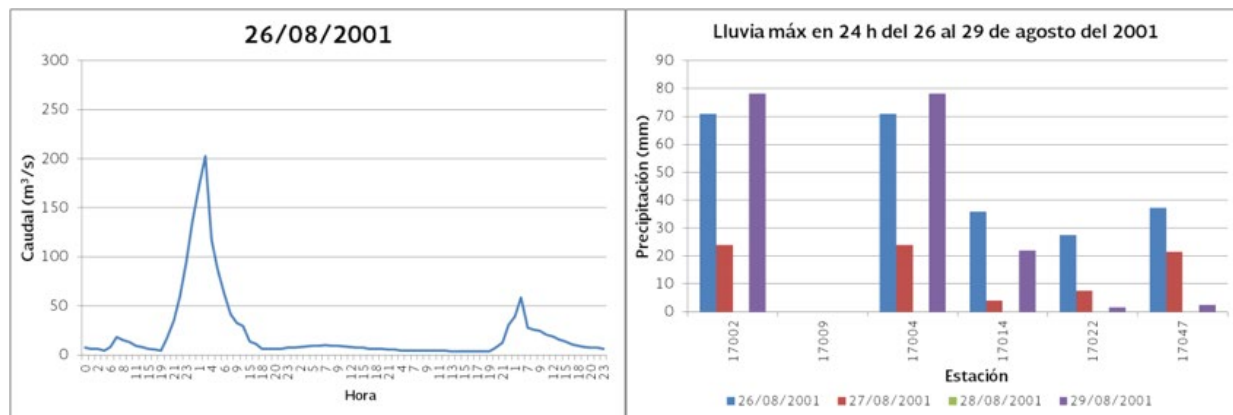


Figura 5.11. Avenida registrada y lluvia del 26/08/2001.

De acuerdo con lo observado en las figuras, en 1976 se registró la avenida máxima histórica (251 m³/s) provocada por una lluvia en 24 h, en promedio de 40 mm, un día antes del evento; posteriormente, el 10 de julio del mismo año se presentan en dos estaciones (17002 y 17004) lluvias mayores a 120 mm, las cuales no generaron escurrimientos importantes.

El 29 de junio de 1982 y el 17 de agosto de 1988 se presentaron avenidas superiores a los 200 m³/s provocadas por las lluvias de la misma fecha, de aproximadamente 40 mm y 80 mm, respectivamente.

El 21 de septiembre de 1996 y el 26 de agosto de 2001 ocurre algo similar a 1976, en donde las avenidas registradas no corresponden al evento de lluvia máximo. En 1996, el primer día de lluvias (30 mm) genera una avenida de 220 m³/s y, al siguiente día, lluvias de 35 mm generan una avenida menor a los 50 m³/s. En 2001 el caso es similar, una avenida de 200 m³/s es provocada por lluvias de 70 mm; dos días después se precipitan casi 80 mm y los escurrimientos resultan de poco más de 50 metros cúbicos por segundo.



Es importante mencionar que las lluvias reportadas corresponden a registros de lluvia acumulada en 24 horas, periodo en el cual se pueden presentar lluvias con gran intensidad y poca duración, o bien, lluvias con baja intensidad y larga duración que, para efectos de inundaciones, las lluvias de alta intensidad son las más desfavorables.

5.7. Proceso de urbanización y deforestación

De acuerdo con el Programa Sectorial de la Secretaría de Desarrollo Sustentable 2013-2018, el estado de Morelos presenta uno de los índices más altos de deforestación, así como de pérdida de biodiversidad y riqueza cultural, ocupando el segundo lugar por el deterioro y transformación de sus ecosistemas naturales. Adicionalmente, la actividad agropecuaria y la seguridad alimentaria se encuentran amenazadas por un crecimiento urbano irracional y desenfrenado (Secretaría de Desarrollo Sustentable de Morelos, 2017).

De acuerdo con imágenes satelitales, de 1984 a 2016 se observa un crecimiento de la mancha urbana en la parte central de la cuenca, identificando que la cobertura forestal se ve reducida, involucrando a los municipios de Jiutepec, Cuernavaca, Emiliano Zapata y Temixco; asimismo, se ve un incremento de la mancha urbana al nororiente de la ciudad de Cuernavaca.



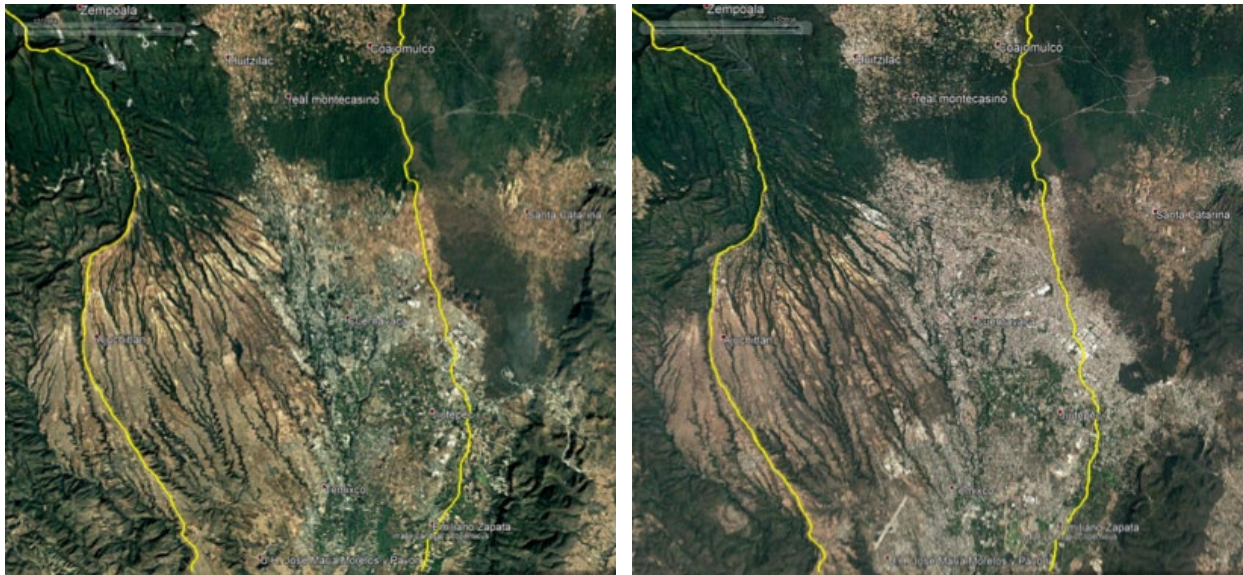


Figura 5.12. Imágenes satelitales de la cuenca del río Apatlaco, 1984 y 2016.

Fuente: Google Earth.

5.8. Caracterización de tormentas

En la cuenca del río Apatlaco se ubican Estaciones Meteorológicas Automáticas (EMA) que registran las precipitaciones a intervalos menores a una hora. Se identificó que la estación con los datos más confiables es la EMA IMTAMR, localizada dentro de las instalaciones del Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, con un periodo de registros de 1999 a 2013.

Del total de registros se eligieron aquellas tormentas con precipitaciones acumuladas mayores o iguales a los 50 mm; el resultado fue de 24 tormentas para diferentes fechas (Cuadro 5.5).



Cuadro 5.5. Tormentas analizadas en la estación automática IMTAMR.

No. tormentas	Intervalo de duración
9	entre 1:40 y 4:00
6	entre 4:00 y 6:00
4	entre 6:00 y 9:00
5	de 9:00 hasta 20:00



Se analizaron nueve tormentas con duración menor a cuatro horas debido a que son las más desfavorables, es decir, que presentan lluvias de mayor intensidad; las otras tormentas de mayor duración presentaron mayor precipitación acumulada pero con menor intensidad. En la Figura 5.13 se tienen las nueve tormentas graficadas en forma de curva masa. Se observa que la tormenta de 2010 alcanza el 100% de lluvia transcurrida en una hora y media, pero también la tormenta de 2001 tiene un comportamiento muy similar. Por otro lado, las tormentas de 2005 y 2011 alcanzan el 100% de lluvia casi a las cuatro horas de iniciada la lluvia.

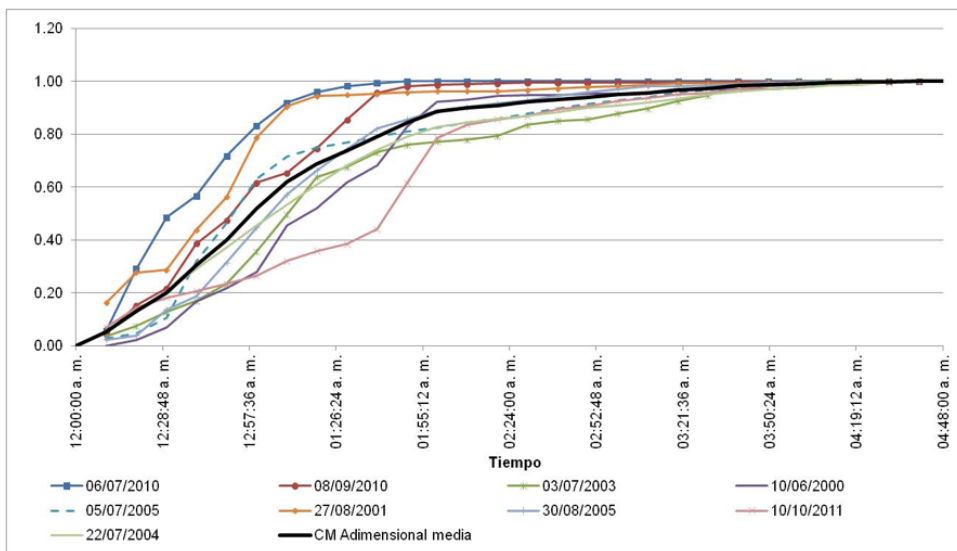


Figura 5.13. Curvas masa adimensionales de tormentas en la EMA IMTAMR.

En la Figura 5.14 se tienen las lluvias máximas por año registradas en un intervalo de 10 min. Como se observa, no hay un comportamiento a la alza; éste es variable.

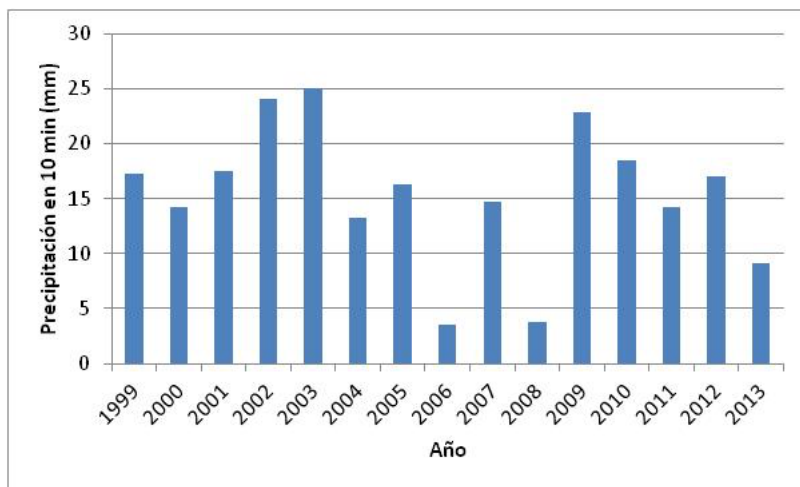


Figura 5.14. Lluvias máximas en 10 min por año de registro.



5.9. Conclusiones

La cuenca del río Apatlaco responde muy rápido a las lluvias por cuestiones naturales de pendiente, ya que el tiempo de concentración en la mayor cuenca de aportación no rebasa las tres horas.

El crecimiento de la mancha urbana a los alrededores de la Zona Conurbada de Cuernavaca, así como de Zacatepec y Jojutla, ha causado cambios en el uso de suelo y algunas zonas deforestadas, lo que ocasiona un mayor arrastre de sedimentos de las zonas altas de la cuenca, disminuyendo los tiempos de concentración de los escurrimientos e intensificando y acelerando los procesos lluvia-escurrimiento, así como el azolvamiento excesivo de los cauces, lo que puede limitar de forma significativa la capacidad de conducción.

Por otro lado, la falta de cultura de la sociedad en cuanto al manejo de desechos, ha provocado taponamientos en las corrientes superficiales debido al depósito y arrastre de los desechos.

Finalmente, la intensidad de las tormentas registradas en la EMA IMTAMR no presenta un incremento en el periodo 1999-2013; este último año, con la presencia de los huracanes Ingrid, Manuel y Raymond.

Sólo se tiene información de lluvia con duración menor a 24 horas con inicios de registros desde 1999, fecha en que inició la operación de las EMA en la zona de estudio.



5.10. Bibliografía

- Ayala, R. B. (2017). *Índice de resiliencia en ciudades ante fenómenos hidrometeorológicos*. Ciudad de México: Universidad Nacional Autónoma de México.
- Cenapred (2017). *datos.gob.mx*. Obtenido de Cenapred: <https://datos.gob.mx/busca/dataset/declaratorias-sobre-emergencia-desastre-y-contingencia-climatologica/resource/1dba3584-c391-4014-b799-9983e7a07f51>
- Comisión Estatal del Agua Morelos. (2017). *Estadísticas del agua en el Estado de Morelos, 2017*. Cuernavaca: Comisión Estatal del Agua Morelos.
- Comisión Nacional del Agua (2008). *La cuenca del río Apatlaco. Recuperemos el patrimonio ambiental de los morelenses*. México, DF: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales/Comisión Nacional del Agua
- Comisión Nacional del Agua (2013). *Bandas*. México, DF: Comisión Nacional del Agua.
- Comisión Nacional del Agua (2017). *Registro Público de Derechos de Agua (Repda)*. Ciudad de México: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales/Comisión Nacional del Agua.
- Comisión Nacional del Agua (2013). *Banco Nacional de Datos de Aguas Superficiales (Bandas)*. México, DF: Comisión Nacional del Agua.
- Instituto Mexicano de Tecnología del Agua-Fundación Gonzalo Río Arronte (2007). *Plan Estratégico para la Recuperación Ambiental de la Cuenca del río Apatlaco*. Jiutepec, Morelos: Instituto Mexicano de Tecnología del Agua/Fundación Gonzalo Río Arronte.
- Protección Civil Morelos (2017). *Atlas de peligros y riesgo del estado de Morelos 2017*. Cuernavaca: Gobierno del Estado de Morelos.
- Secretaría de Desarrollo Sustentable de Morelos (2017). *Programa Sectorial de la Secretaría de Desarrollo Sustentable 2013-2018*. Cuernavaca: Gobierno del Estado de Morelos.





TENDENCIAS DE LA FRECUENCIA, DURACIÓN E INTENSIDAD DEL PERIODO HÚMEDO Y LA CANÍCULA AGRONÓMICA EN LOS CULTIVOS DE TEMPORAL EN LA CUENCA DEL RÍO APATLACO

Ramiro Vega y Nora Patricia González



6.1. Resumen

En la cuenca del río Apatlaco, el 75% de la superficie agrícola es de temporal y el principal cultivo, el maíz. La precipitación escasa reduce su rendimiento es ocasionada por la sequía intraestival o canícula. Se determinó la frecuencia, duración, intensidad y severidad de la canícula sobre el maíz, utilizando la metodología de Vega (2018a) para los periodos 1951-2010 y 2011-2013, de cinco estaciones con registros diarios de temperatura y precipitación. Se compararon los valores de los índices e indicadores agroclimáticos y las fechas de ocurrencia de inicio y fin del periodo húmedo (PH) y la canícula agronómica (CA) para detectar tendencias del cambio climático.



Los resultados muestran un ligero calentamiento y desecación de la cuenca, aunque el cambio en los valores promedios, frecuencia y duración no sean significativos, pero sí en intensidad y fechas de ocurrencia del PH y la CA, presentando un retraso de cinco y veinte días, respectivamente. El PH es más seco y la CA es más intensa y severa, reduciendo hasta el 40% del rendimiento. El PH y CA desenmascaran el efecto promedio y muestran las tendencias climáticas actuales. Cuernavaca es la estación que, analizada individualmente, muestra ya los efectos del calentamiento global.

Palabras clave: periodo húmedo, canícula agronómica, severidad, indicadores de cambio climático.

6.2. Introducción

El país cuenta con 15.5 millones de hectáreas (ha) dedicadas al cultivo de varias especies agrícolas y de frutales de temporal, y representa el 70% de la superficie agrícola nacional, que en total es de 22.2 millones de ha. En el caso de la agricultura bajo riego, la superficie es de 6.5 millones de ha (Conagua, 2016). Los cultivos de temporal son más vulnerables ante el cambio climático ya que su siembra, desarrollo y producción dependen completamente del establecimiento y comportamiento de la temporada de lluvias (Vega, 2017).

De acuerdo con la información contenida en el Programa Estatal Hídrico 2014-2018, en el estado de Morelos: "Aproximadamente el 55% del territorio morelense es utilizado para el cultivo, y se produce principalmente cebolla, calabacita, arroz y pepino; cultivos de temporal como sorgo, maíz, jitomate, tomate y avena, caña de azúcar, durazno, alfalfa, nopal y aguacate".

El 40.76% de la superficie del territorio estatal se destina a la agricultura de temporal (198 890 ha) y representa el 72% de la superficie agrícola, considerando que la superficie con riego es de 55 079 ha, de las cuales el 51% pertenecen al Distrito de Riego 016 (28 471 ha) y las restantes (27 319 ha) a 257 asociaciones de usuarios (Ceagua, 2014).

Ávila (2001) describe y analiza el comportamiento histórico de la agricultura en el estado y menciona que: “La entidad ha contado históricamente con una vocación agrícola debido [...] a la potencialidad de sus condiciones naturales”. En su trabajo destaca la importancia de la agricultura ligada al desarrollo político y social de Morelos, y que el maíz de temporal es el cultivo más importante del estado.

En el Cuadro 6.1 se presentan los resultados de la consulta de los cultivos de temporal y la superficie sembrada al 31 de agosto de 2018 en Morelos, en el ciclo agrícola 2018, de acuerdo con el Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP).



Cuadro 6.1. Resultados de consulta del SIAP en avance de siembras y cosechas para el año agrícola 2018, de los cultivos de temporal en el estado de Morelos, al 31 de agosto de 2018.

AÑO AGRÍCOLA 2018			
Avance de siembras y cosechas			
ESTADO MORELOS, CULTIVOS TEMPORAL			
Producto	Superficie (ha)		
	Sembrada	Siniestrada	Cosechada
AMARANTO	6		
AVENA FORRAJERA EN VERDE	2 897		
BERENJENA	2		
CALABACITA	178		
CEBOLLA	92		
CHILE VERDE	63		
ELOTE	400		
FRIJOL	575		
GLADIOLA (Gruesa)	46		
MAÍZ GRANO	30 990		
PEPINO	440		
SANDÍA	71		
SORGO FORRAJERO EN VERDE	20		
SORGO GRANO	26 667		
TOMATE ROJO (JITOMATE)	1 442		
TOMATE VERDE	932		
TRIGO GRANO	106		
TOTAL	64 925		

Fuente: elaborado por el SIAP, <http://infosiap.siap.gob.mx>

De acuerdo con el cuadro anterior, el principal cultivo de temporal es el maíz, con una superficie sembrada de 30 990 ha; seguido por el sorgo, con 26 667 ha y, en tercer lugar, la avena forrajera, con 2 897 ha. En conjunto, estos tres cultivos suman 60 554 ha, lo que representa un 93% de la superficie total sembrada de temporal.

Con respecto a la agricultura en la cuenca del río Apatlaco, la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (Semarnat, 2008) menciona que:

En 1996, el agua del río Apatlaco se utilizaba para el riego de 2,985 ha a través de diez tomas, con lo cual se beneficiaba a 2,148 usuarios del estado de Morelos. Los cultivos principales eran los rosales, arroz, maíz, caña, calabaza, tomate, jícama y pasto.

En la misma publicación reporta que con aguas extraídas del río Apatlaco se riega una superficie de 6 291.5 ha y se extrae un volumen anual de 92 670 millares de metros cúbicos.

Como no se encontró ninguna información congruente y de fuente confiable sobre la superficie de la cuenca destinada a la siembra y producción de cultivos de temporal, se estimó la superficie de temporal considerando que la superficie de riego representa el 25% de la superficie agrícola total de la cuenca (dato de Ceagua, 2014), resultando entonces aquella contemplada en 25 855.7 ha. Dicha superficie se siembra estrictamente en función del establecimiento del temporal o estación lluviosa.

La distribución temporal de la precipitación en la cuenca del río Apatlaco es de régimen monzónico, ya que de junio a septiembre (solo cuatro meses) se registra el 82% de la precipitación total anual (Figura 6.2), y es en estos meses cuando se establecen los cultivos de temporal (Vega, 2017).



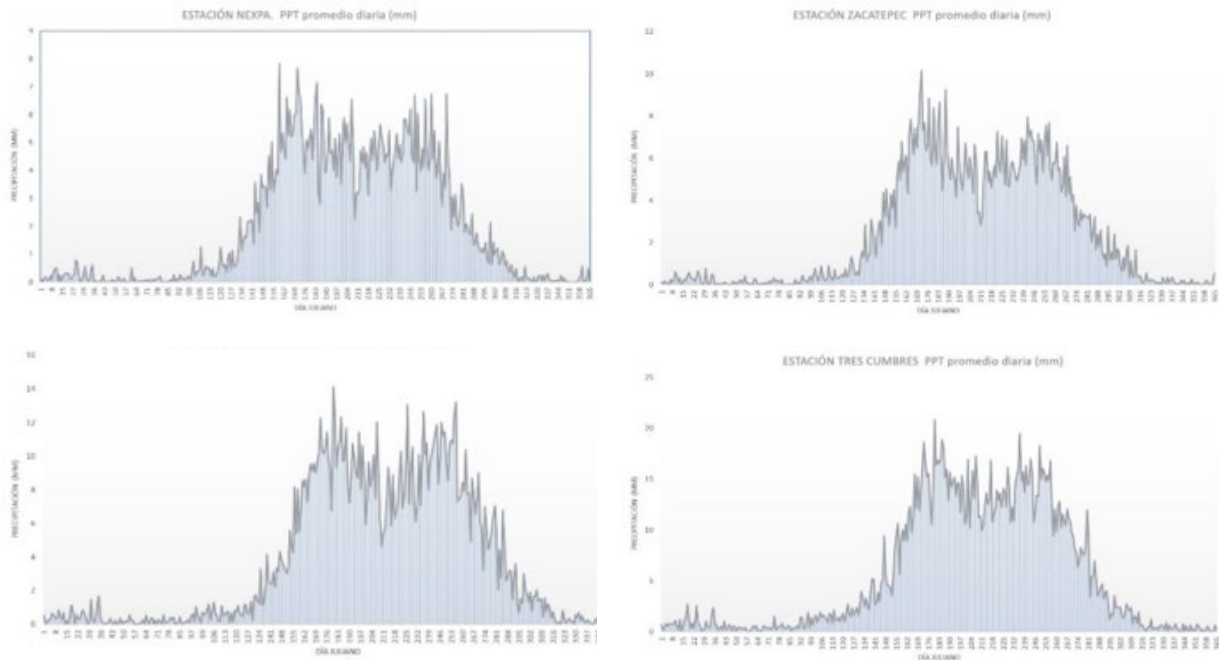


Figura 6.2. Distribución de la precipitación promedio diaria durante el año, en cuatro estaciones de la cuenca del río Apatlaco de 1951 a 2010.
Fuente: elaboración propia.

La lámina precipitada de junio a octubre en la cuenca del río Apatlaco, en promedio, supera los requerimientos hídricos de los cultivos de temporal establecidos como maíz, sorgo, frijol, cacahuate, jamaica, ajonjolí, calabaza, nopal y algunas especies de frutales. Aunque se acumule la cantidad de agua requerida, no asegura una buena distribución durante el ciclo del cultivo, ya que la falta o exceso del agua en ciertas especies cultivadas y en algunas etapas del desarrollo de las mismas pueden ser de nocivas, sobre todo las de floración, amarre de fruto y llenado de grano (Vega, 2017). En la mayoría de los años, a mediados del periodo lluvioso (julio-agosto) se presenta una disminución considerable de la precipitación denominada sequía intraestival, o sea, el



periodo seco que se presenta dentro de la estación lluviosa. Si esta sequía coincide con el periodo de días de las temperaturas más altas del año, generalmente se le conoce como “canícula” o “veranillo” (Vega, 2016).

Taboada y Oliver (2009) mencionan que aparte de la variación normal de las lluvias, esta variación se ha visto incrementada por los efectos ocasionados por el calentamiento global, afectando severamente en conjunto las actividades agrícolas y ecológicas de las diferentes regiones climáticas del país. Los mismos autores utilizaron el procedimiento de Mosiño y García (1968) para determinar la duración e intensidad de la canícula, tomando en cuenta la lluvia mensual acumulada y concluyen que la duración e intensidad de este fenómeno afectan a toda forma de vida, y que la variación en la duración e intensidad de la canícula pueden ser una manifestación del cambio climático.



Fotografía 6.1. Cultivo de maíz en etapa desarrollo vegetativo afectado por sequía (canícula), localizado a 7 km de la estación Progreso IMTA, Jiutepec, Morelos (22 de julio 2018).

Vega (2018) desarrolló y validó una metodología para evaluar la frecuencia, duración, intensidad y severidad de la canícula en los cultivos de temporal y aquellos con riego parcial o de punteo, la cual aplicó a la cuenca del río Apatlaco. Incluyó el concepto “periodo húmedo” (PH), definido como el periodo de días donde se satisfacen las condiciones de humedad del suelo requeridas para la siembra, germinación, desarrollo vegetativo, floración, fructificación y madurez fisiológica de los cultivos. El inicio del PH considera que en esa fecha el suelo ya cuenta con humedad suficiente para que se realice la siembra y se presente la germinación, o para plantar cultivos frutales o especies perennes (Vega, 2016). El fin del PH ocurre cinco días después de cuando se suspende la lluvia (considerando una capacidad de almacenaje del suelo mínima de 10 cm), o bien, si la lámina es menor de 20 mm y le precede un periodo seco mayor a diez días consecutivos. Un año seco es aquel donde no existe el PH o si éste es menor o igual a 45 días. Normalmente, el inicio del PH ocurre de cinco a siete días (una semana) después de haber iniciado la temporada de lluvias y se hayan acumulado 60 mm en tres días consecutivos, si se suspende la lluvia; o bien, si la precipitación continúa hasta por cinco días y se superan los 60 mm necesarios para iniciar la siembra (Vega, 2018).

De acuerdo con Vega (2018a), la canícula agronómica (CA) permite analizar simultáneamente la precipitación histórica a escala diaria para definir: promedio de días de inicio y fin de la estación lluviosa e inicio del PH; frecuencia, inicio, fin y duración de la canícula en días; intensidad en grados día de desarrollo (GDD) y unidades fototérmicas (Ufoto) para los cultivos involucrados; lámina de lluvia acumulada durante este periodo y lámina acumulada que demandan las condiciones climáticas (ETP) y su déficit (ETP-PPT) acumulado; intensidad de la radiación solar y cultivos establecidos, así como los días después de la siembra y la etapa de desarrollo en la que se encuentra cuando se presenta la canícula.



El objetivo del presente trabajo fue analizar los valores de los índices e indicadores agroclimáticos utilizados por Vega (2018a) para determinar la CA y el PH en dos diferentes periodos: "histórico pasado" e "histórico reciente" o actual, y evaluar las tendencias de los valores, frecuencia, duración, intensidad y severidad como indicadores del cambio climático, en la cuenca del río Apatlaco.

6.3. Materiales y métodos

6.3.1. Selección del área de estudio

Se seleccionó la cuenca del río Apatlaco, perteneciente a la Región Hidrológica-Administrativa del río Balsas, descrita y delimitada en capítulos anteriores. Esta cuenca es la más poblada del estado; por lo tanto, una de las más contaminadas y afectadas por la actividad humana y el calentamiento global. De las 44 estaciones localizadas dentro o con influencia climática de la cuenca, solo 15 de ellas tienen datos completos. Se eligieron cuatro estaciones con datos históricos completos, alineadas longitudinalmente, pero ubicadas a diferente altitud y latitud: Nexpa, Zacatepec, Cuernavaca y Tres Cumbres, en Morelos, presentadas en el Cuadro 6.2. Todas las estaciones cuentan con datos diarios de precipitación y temperatura del periodo 1951 a 2013 (63 años), de la base de datos del Clicom, proporcionados en archivos digitales estandarizados y homogenizados por Montero y Pita (2018).

En el mismo cuadro se presenta la estación Progreso IMTA, incluida por tener registrados sin interrupción y completos los datos diarios de temperaturas y precipitación, además de contar con datos de evaporación diaria desde 2013 a la fecha, y cercanía con los terrenos donde se siembran cultivos de temporal y parcelas de observación de las últimas cuatro canículas.

Cuadro 6.2. Estaciones seleccionadas para determinar el PH y la CA en maíz, en la cuenca del río Apatlaco.

Estación	Clave	Latitud (grados)	Longitud (grados)	Altitud (msnm)	PPT (mm)	Tmáx (°C)	Tmín (°C)
NEXPA	17038	18.52	-99.145	800	730.9	32.57	17.54
ZACATEPEC (OBS)	17042	18.65	-99.183	918	881.2	33.69	15.45
CUERNAVACA	17004	18.92	-99.234	1 510	1 308.95	26.74	16.17
TRES CUMBRES	17022	19.04	-99.258	2 639	1 980.69	18.57	5.04
PROGRESO IMTA		18.88	-99.159	1 372	1 224.1	28.85	14.40

(Fuente: Vega, 2018a).

6.3.2. Obtener información del sitio, clima, suelo y cultivo

Los datos históricos de las estaciones se dividieron en dos periodos. El primero, de 1951 a 2010 y, el segundo, de 2011 a 2013, incluyendo este último los datos de la estación Progreso IMTA.

Suelo. Vertisol, textura arcillosa y profundidad de 80 cm sobre lecho basáltico, con pendiente del 8%. La capacidad de almacenaje del suelo mínima es igual a 100 milímetros.

Cultivo. Para dar seguimiento al cultivo de maíz en la localidad Campo El Copalar, Yautepec, Morelos (18°51'09" latitud norte, -99°06'03" longitud oeste y altitud de 1 169 msnm). Variedad "mexicano de junio" de ciclo intermedio (140 días) plenamente adaptado a la zona. Requiere temperaturas superiores a los 10 °C y menores de los 40 °C



con un óptimo de 28 a 32 °C, una lámina neta de 550 mm y no cuenta con modelo fenológico, solo con los requerimientos de 1 700 GDD base10, desde la siembra hasta la madurez fisiológica.

Labores culturales y de manejo del cultivo. Antes de la siembra, se dio un cruce de rastra el 6 de julio de 2018. La siembra se realizó el día 23 de junio, dos días después aplicar glifosato contra la maleza. La germinación se presentó el 28 de junio y las primeras hojas verdaderas el 1 de julio. Se realizó la primera escarda mecánica (remoción 10 cm de suelo) el 13 de julio. Aplicación de urea el 8 de agosto y el aporque el 10 de agosto, mediante el cultivo con tracción animal. Se presentó la etapa de hoja bandera el 23 de agosto (Foto 2), la floración plena el 31 agosto y el 17 de septiembre el grano lechoso. Ultima etapa verificada.



Fotografía 6.2. Seguimiento a las etapas fenológicas del cultivo de maíz en el Campo El Copalar, Yautepec, Morelos.

6.3.3. Cálculo de índices e indicadores para determinar el PH y la CA

Se realizaron los cálculos de 28 índices e indicadores agroclimáticos mediante la metodología de Vega (2018) para cada año, y mediante análisis se determinó el PH y la CA en las cuatro estaciones y se dio seguimiento puntual a la canícula 2018, con datos de la estación Progreso IMTA, administrada por la Comisión Nacional del Agua.

6.3.4. Comparación de índices e indicadores agroclimáticos del PH y la CA, como manifestación y efecto del cambio climático en los cultivos de la cuenca del río Apatlaco

Se compararon 28 índices e indicadores calculados o determinados entre sí, considerando que se analizaron dos periodos. El primero, de 1951 a 2010 y, el segundo, más reciente, de 2011 a 2013. En este último se incluyen datos de temperatura, precipitación y evaporación registrados en la estación Progreso IMTA.

6.4. Resultados y discusión

6.4.1. De las variables climáticas utilizadas

Se constató que las temperaturas en la cuenca dependen de la altura de cada estación. Con la comparación de los datos de los promedios anuales de las temperaturas máxima, mínima y media no fue posible determinar un cambio significativo en los promedios, a pesar de que se observó que toda la cuenca se está calentando; por ejemplo, el 2011 fue el año más caluroso, tal como lo señalan Montero y Pita (2018), corroborado con



datos del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (Inegi, 2017). En la Figura 6.3 y el Cuadro 6.5 se muestra que los promedios de las temperaturas medias en ambos periodos son muy similares: menos de 3 centésimas de grado. Específicamente para la estación de Cuernavaca, se observa un calentamiento casi de medio grado y, en el caso de las temperaturas mínimas, el valor promedio supera esta cifra (Cuadro 6.6).

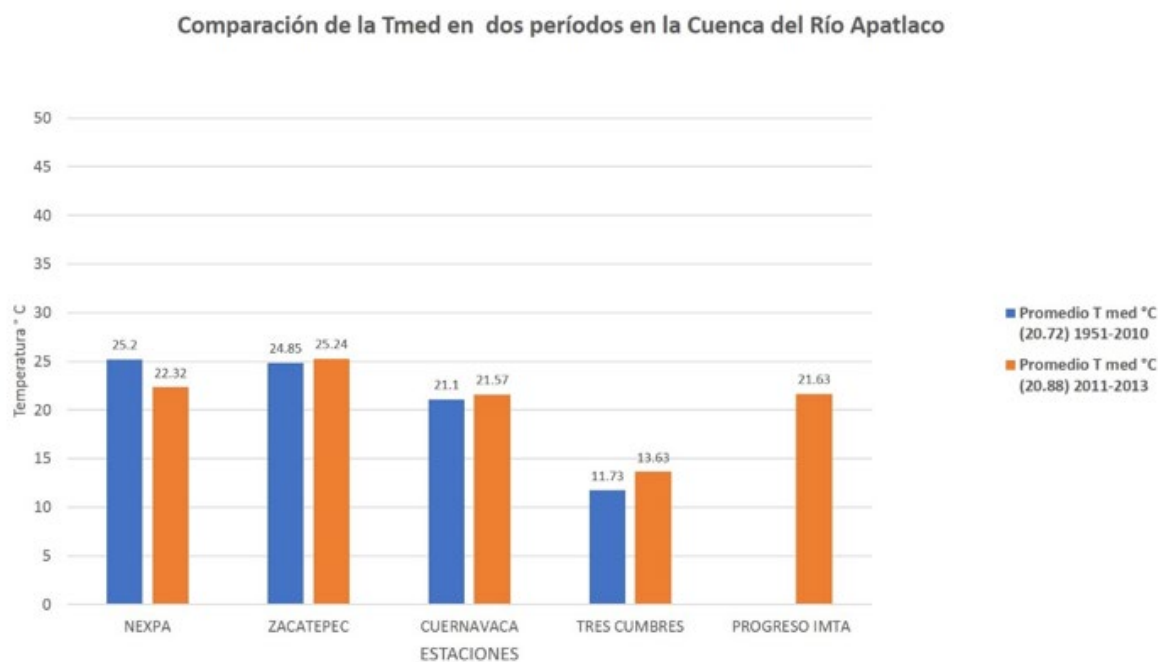


Figura 6.3. Comparación de los promedios de la temperatura media de los periodos 1951-2010 y 2011-2013, en la cuenca del río Apatlaco.

La precipitación también sigue un patrón espacial. En función de la altitud y la distribución temporal dibuja un patrón bimodal, donde la lluvia se concentra de junio a septiembre (monzónico). En la Figura 6.4, el valle intermedio entre las dos crestas

de la gráfica está representado por la disminución o ausencia de la lluvia conocida, sequía intermedia, intraestival o canícula. Tampoco es posible apreciar un cambio en los promedios anuales de la precipitación acumulada en los dos periodos comparados, ya que el porcentaje entre estos no supera el 2% del valor de la precipitación, tal como se muestra en la Figura 6.5

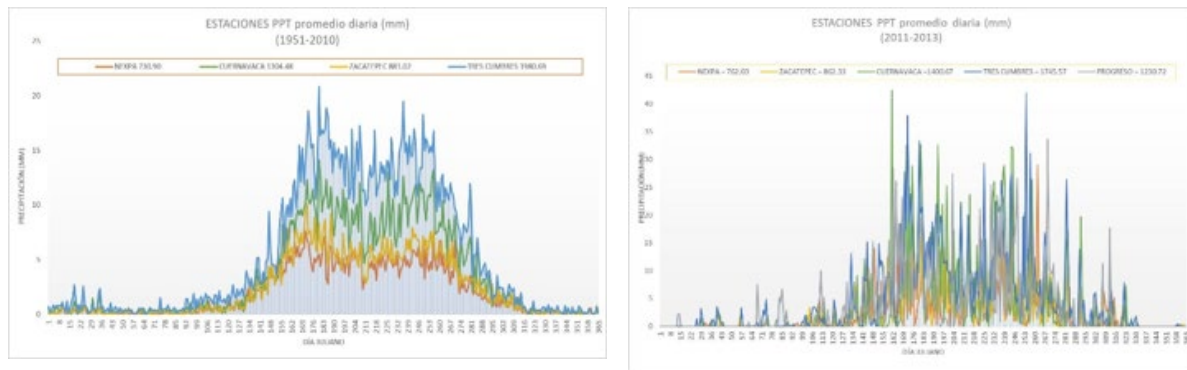


Figura 6.4. Comparación de la precipitación promedio diaria entre los periodos 1951-2010 y 2011-2013, en la cuenca del río Apatlaco.

Fuente: elaboración propia.

Como puede observarse, los promedios de todas las estaciones tienden a disminuir. Nuevamente, la estación de Cuernavaca es la única donde la precipitación aumentó en el periodo reciente. Se asume que esta excepción puede ser producto del incremento de partículas higroscópicas suspendidas en la atmósfera, producto de la contaminación del aire, como suele ocurrir en la Ciudad de México (Figura 6.6).

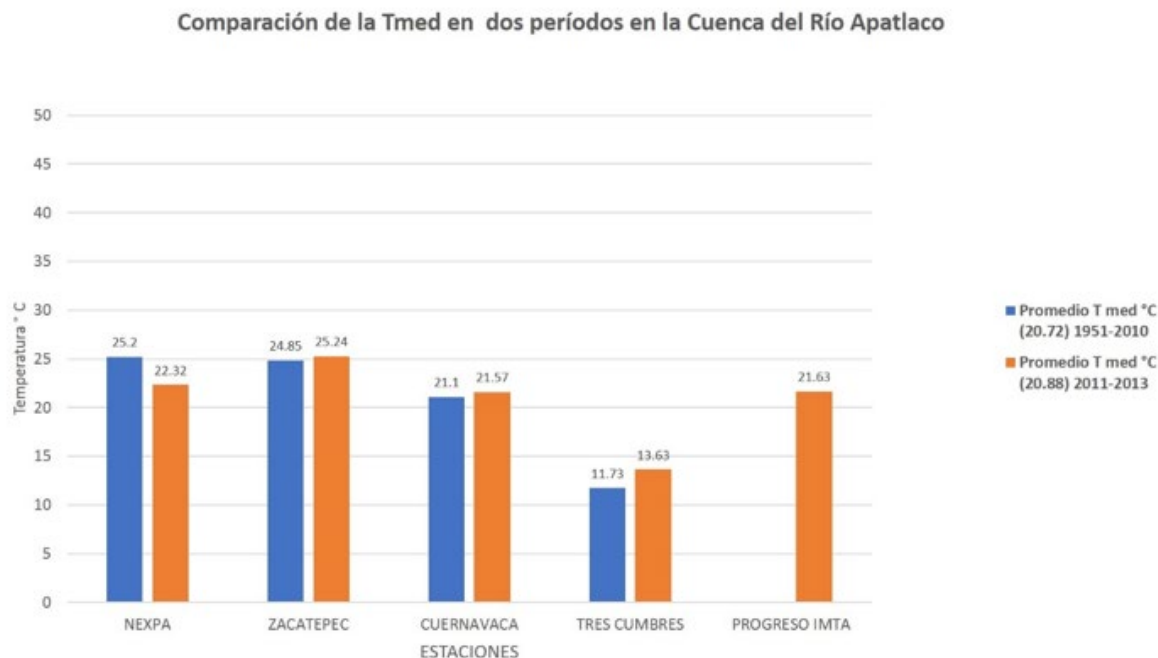


Figura 6.5. Comparación de los promedios anuales de la precipitación acumulada de los periodos 1951-2010 y 2011-2013, en la cuenca del río Apatlaco.

Fuente: elaboración propia.

En cuanto a la evaporación, se observó que está muy ligada a la radiación recibida y a la temperatura, sobre todo las temperaturas máximas y todas las variables asociadas con la altura. Tampoco existen evidencias de un cambio considerable de los promedios de la evaporación entre ambos periodos como para concluir que es por efecto del cambio climático. En 2011 y 2017 se registraron los valores más altos de la evaporación: 2 130 y 2 028.41 mm, respectivamente, en la estación Progreso IMTA.

6.4.2. Cálculo de índices e indicadores para determinar el PH y la CA

Los resultados de los cálculos y análisis de los índices e indicadores agroclimáticos para determinar el PH y la CA para los dos periodos, se muestran en el Cuadro 6.3 y Cuadro 6.4. Como se observa en el Cuadro 6.3, tanto la temperatura como la precipitación en la cuenca del río Apatlaco dependen de un gradiente altitudinal. Las partes más altas son más frescas y lluviosas, mientras que las bajas son más calientes y secas. Como los demás índices e indicadores utilizan en su mayoría estas variables de entrada para su cálculo, siguen el mismo patrón altimétrico, tal como se muestra en este mismo

Cuadro 6.3. Valores de los índices e indicadores agroclimáticos determinados para definir el inicio, fin y duración del PH y la CA, en el cultivo de maíz en cuatro estaciones de la cuenca del río Apatlaco (1951-2010).

ESTACIÓN	NEXPA	ZACATEPEC	CUERNAVACA	TRES CUMBRES	PROMEDIO
Inicio del PH (fecha)	30-jun	20-jun	13-jun	10-jun	19-jun
Inicio de CA (fecha)	17-jul	6-jul	10-jul	03-jul	09-jul
Fin de la CA (fecha)	6-ago	24-jul	27-jul	17-jul	26-jul
Duración de la CA (días)	21	17	16	14	17 días
Número de años con CA	56	59	49	21	46 años
Fin PH (fecha)	9-sep	29-sep	3-oct	10-oct	28-sep
Duración PH (días)	72	101	112	124	102 días
PPT promedio anual (mm)	730.9	881.02	1 308.95	1 980.69	1 225.39
PPT (may-oct) promedio	694.61	838.74	1 240.98	1 855.82	1 157.54



Cuadro 6.3 Valores de los índices e indicadores agroclimáticos determinados para definir el inicio, fin y duración del PH y la CA, en el cultivo de maíz en cuatro estaciones de la cuenca del río Apatlaco (1951-2010), (Continuación).

ESTACIÓN	NEXPA	ZACATEPEC	CUERNAVACA	TRES CUMBRES	PROMEDIO
Inicio del PH (fecha)	30-jun	20-jun	13-jun	10-jun	19-jun
PPT (PH) promedio mm	403.49	630.31	1 027.76	1 665.3	931.72
PPT CA promedio mm	93.54	109.32	165.23	227.37	148.87
Número de años secos (No hay periodo húmedo o ≤ 45 días)	15	1	0	0	4 años
Años húmedos (PH ≥ 45 Días)	45	59	60	60	56 años
Promedio Tmáx °C	32.57	33.69	26.74	18.57	27.89
Promedio Tmín °C	17.81	16.02	15.45	4.92	13.55
Promedio Tmed °C	25.2	24.85	21.1	11.73	20.72
Promedio Tmáx del PH °C	29.04	32.61	25.69	17.73	26.27
Promedio Tmín del PH °C	18.68	18.75	16.62	7.05	15.28
Promedio Tmed del PH °C	23.82	25.68	21.16	12.4	20.77
Promedio GDD2 (Tb = 10°C)	15.2	14.85	11.1	1.73	10.72
Promedio GDD2 del PH	13.82	15.68	11.16	2.4	10.77
Promedio GDD2 de CA	304.71	266.56	178.56	33.32	195.79
Promedio UFoto2	181.7	179.76	134.25	22.38	129.52
Fotoperiodo promedio CA (horas)	12.89	13.03	12.98	13.08	12.99

Cuadro 6.3 Valores de los índices e indicadores agroclimáticos determinados para definir el inicio, fin y duración del PH y la CA, en el cultivo de maíz en cuatro estaciones de la cuenca del río Apatlaco (1951-2010), (Continuación).

ESTACIÓN	NEXPA	ZACATEPEC	CUERNAVACA	TRES CUMBRES	PROMEDIO
Inicio del PH (fecha)	30-jun	20-jun	13-jun	10-jun	19-jun
Radiación neta estimada Rn en mm	186.36	136.85	126.88	99.68	137.44
Evaporación estimada Ev mm	186.36	136.85	126.88	99.68	137.44
Evapotranspiración potencial ETP estimada mm	149.10	109.48	104.5	79.74	110.0
Déficit hídrico (ETP-PPT) de CA	53.76	0.16	-60.73	-141.63	-37.11

Cuadro 6.4. Valores de los índices e indicadores agroclimáticos determinados para definir el inicio, fin y duración del PH y la CA en el cultivo de maíz, en la cuenca del río Apatlaco para el periodo de 2011-2013.

ESTACIÓN	NEXPA	ZACATEPEC	CUERNAVACA	TRES CUMBRES	PROGRESO IMTA	PROMEDIO
Inicio del PH (fecha)	11-jul	21-jun	18-jun	10-jun	25-jun	23-jun
Inicio de CA (fecha)	24-jul	3-ago	1-ago	4-ago	20-jul	29-jul
Fin de la CA (fecha)	17-ago	19-ago	16-ago	14-ago	6-ago	14-ago
Duración de la CA (días)	25	17	16	11	18	17 días
Número de años con CA	2	2	2	2	2	2
Fin PH (fecha)	17-sep	17-sep	22-oct	18-oct	3-oct	3-oct



Cuadro 6.4 Valores de los índices e indicadores agroclimáticos determinados para definir el inicio, fin y duración del PH y la CA en el cultivo de maíz, en la cuenca del río Apatlaco para el periodo de 2011-2013., (Continuación).

ESTACIÓN	NEXPA	ZACATEPEC	CUERNAVACA	TRES CUMBRES	PROGRESO IMTA	PROMEDIO
Duración PH (días)	69	89	127	131	101	103 días
PPT promedio anual (mm)	762.03	862.33	1 400.67	1 745.57	1 230.72	1 200.26
PPT (may-oct) promedio	712	819	1 345	1 648	1 144	1 133.60
PPT (PH) promedio mm	421	552	1 150	1 111	811	809.00
PPT CA promedio mm	87.73	66.57	101.93	101.43	83.7	89.42
Número de años secos (No hay PH o ≤ 45 días)	1	0	0	0	0	0.2 años
Años húmedos (PH = >45 días)	2	3	3	3	3	2. 8 años
Promedio Tmáx °C	31.81	34.44	27.05	18.34	28.85	28.10
Promedio Tmín °C	12.83	16.03	16.09	8.91	14.40	13.65
Promedio Tmed °C	22.32	25.24	21.57	13.63	21.63	20.88
Promedio Tmáx del PH °C	29.34	32.79	25.89	18.0	29.34	26.50
Promedio Tmín del PH °C	15.67	18.7	16.88	11.77	17.79	15.76
Promedio Tmed del PH °C	22.5	25.75	21.38	14.87	23.57	21.13
Promedio GDD2 (Tb = 10 °C)	12.50	15.75	11.38	4.87	13.57	10.48
Promedio GDD2 de CA	307.5	266.56	183.04	47.74	243	209.568

Cuadro 6.4 Valores de los índices e indicadores agroclimáticos determinados para definir el inicio, fin y duración del PH y la CA en el cultivo de maíz, en la cuenca del río Apatlaco para el periodo de 2011-2013., (Continuación).

ESTACIÓN	NEXPA	ZACATEPEC	CUERNAVACA	TRES CUMBRES	PROGRESO IMTA	PROMEDIO
Promedio UFoto2	97.22	202.16	152.68	54.43	177.42	126.62
Radiación neta estimada Rn en mm	193.33	148.54	109.79	78.75	124.4	130.96
Evaporación estimada Ev mm	196.24	149.76	122.00	89.75	131.68	137.88
Evapotranspiración potencial ETP estimada mm	156.99	119.80	97.60	71.80	105.34	110.31
Déficit hídrico (ETP-PPT) de CA mm	69.26	53.23	-4.33	-29.63	21.64	22.03

cuadro.

6.4.3. Tendencias de la frecuencia, duración e intensidad del PH y la CA, como manifestación del cambio climático

Los índices e indicadores agroclimáticos determinados para ambos periodos se compararon para ver las tendencias en el tiempo o cambio en los valores, fechas y proporciones que indiquen o muestren cambios significativos atribuibles al cambio climático o evidenciar eventos agrometeorológicos clave. Los resultados se muestran en el Cuadro 6.5.



Cuadro 6.5. Comparación de valores de índices e indicadores agroclimáticos determinados para los dos periodos analizados y observaciones de cambios, tendencias y variaciones del inicio, fin y duración del PH y la CA en el cultivo de maíz, en la cuenca del río Apatlaco.

ÍNDICE O INDICADOR	PROMEDIO 1951-2010	PROMEDIO 2011-2013	VARIACIÓN EN % O TIEMPO	OBSERVACIÓN
Inicio del PH (fecha)	19-jun	23-jun	4 días	Retraso
Inicio de CA (fecha)	9-jul	29-jul	20 días	Retraso
Fin de la CA (fecha)	26-jul	14-ago	20 días	Retraso
Duración de la CA (días)	17 días	17 días	Ninguna	Misma duración
Número de años con CA	46/60 años	11/15 años	Ninguna	Misma proporción
Fin PH (fecha)	28-sep	3-oct	5 días	Retraso
Duración PH (días)	102 días	103 días	Ninguna	Misma duración
PPT promedio anual (mm)	1 225.39	1 200.26	25 .13 mm	Bajó 2%
PPT (may-oct) promedio	1 157.54	1 133.60	23.94 mm	Bajó 2%
PPT (PH) promedio mm	931.72	891.93	122.73 mm	13% bajó
PPT CA promedio mm	148.87	89.42	59.45 mm	40% bajó
Número de años secos (no hay PH o ≤ 45 días)	4 años	0.2 años	(6.6 y 6.6%)	Misma proporción
Años húmedos (PH ≥ 45 Días)	56 años	2. 8 años	Se mantiene proporción	93.4 y 93.4%
Promedio anual T _{máx} °C	27.89	28.10	0.21	Sube la oscilación térmica de 14.34 a 14.45 = 0.11 °C
Promedio anual T _{mín} °C	13.55	13.65	0.10	Sube ligeramente
Promedio anual T _{med} °C	20.72	20.88	0.16	Sube ligeramente
Promedio T_{máx} °C del PH	26.27	26.50	0.23	Sube ligeramente
Promedio T _{mín} °C del PH	15.28	15.76	0.48 C	Sube casi medio grado
Promedio T _{med} °C del PH	20.77	21.13	0.36 C	Sube ligeramente
Promedio GDD2 (T _b = 10°C)	10.72	10.88	0.16	Sube ligeramente

Cuadro 6.5 Comparación de valores de índices e indicadores agroclimáticos determinados para los dos periodos analizados y observaciones de cambios, tendencias y variaciones del inicio, fin y duración del PH y la CA en el cultivo de maíz, en la cuenca del río Apatlaco.

ÍNDICE O INDICADOR	PROMEDIO 1951-2010	PROMEDIO 2011-2013	VARIACIÓN EN % O TIEMPO	OBSERVACIÓN
Promedio GDD2 del PH	10.77	11.45	0.52 C	Sube medio GDD
Promedio UFoto2	129.52	126.62	2.8 Baja	Baja ligeramente
Promedio GDD2 de CA	195.79	209.57	13.78 GDD	Sube ligeramente
Fotoperiodo promedio CA (horas)	12.99	12.67	0.32	Baja ligeramente
Radiación neta estimada Rn en mm	137.44	137.88	0.44	Se mantiene
Evaporación estimada Ev mm	137.44	137.88	0.44	Se mantiene
Evapotranspiración potencial ETP estimada mm	110.0	110.31	0.31	Se mantiene
Déficit hídrico (ETP-PPT) de CA mm	-37.11	22.03	59.14	Aumento significativo, casi 60 mm

Fuente: elaboración propia.

Con las estaciones, datos y periodos analizados, los promedios anuales de las temperaturas máxima, mínima y media se incrementan ligeramente en 0.21, 0.1 y 0.16 °C, respectivamente. La oscilación térmica también tiene un ligero incremento de 0.11 °C, propiciado por el aumento de las temperaturas máximas, principalmente. Los promedios de la precipitación anual acumulada y la lluvia de mayo a octubre han disminuido ligeramente en un 2% (25.13 y 23.94 mm). Se observó que los promedios anuales y mensuales enmascaran el comportamiento de las mismas variables en periodos clave, como el PH y la CA; sobre todo en las fechas de ocurrencia de los



meteoros y la respuesta diferenciada de las plantas y los cultivos a la duración e intensidad.

La frecuencia y duración en días del PH y la CA, en promedio, no han variado, pero si han cambiado las fechas de ocurrencia, mostrando un retraso generalizado. El inicio del PH y la CA se retrasó en cinco y veinte días, respectivamente. Esto significa que las lluvias se presentan cinco días más tarde y la sequía veinte días después del inicio tardío del PH, y coincide con las fechas cuando el cultivo se encuentra en pleno desarrollo de follaje y encañe, una etapa más sensible a la falta de agua que la formación de hojas verdaderas. Además del retraso de las fechas de ocurrencia, los periodos en que se presentan el PH y la CA son más secos, ya que la lluvia disminuyó entre 13 y 40%. También aumentaron las temperaturas, sobre todo la mínima, de casi medio grado, tal como se muestra en el Cuadro 6.5. En la CA, al ser los días más secos y cálidos los GDD, se incrementan casi medio GDD diario; la radiación prácticamente es la misma

Cuadro 6.6. Comparación de los índices e indicadores calculados para los periodos 1951-2010 y 2011-2013, relacionados con la temperatura y la precipitación que definen el PH y la CA en Cuernavaca, Morelos.

CUERNAVACA	1951-2010	2011-2013	VARIACIÓN EN % O TIEMPO	OBSERVACIÓN
PPT promedio anual (mm)	1 308.95	1 400.67	91.72	Sube 7%
PPT (may-oct) promedio mm	1 240.98	1 345	104.02	Sube 8%
PPT (PH) promedio mm	1 027.76	1 150	122.24	Sube 12%
PPT CA promedio mm	165.23	101.93	-63.3	Baja 38%
Promedio anual Tmáx °C	26.74	27.05	0.31	Sube 0.31 °C
Promedio anual Tmín °C	15.45	16.09	0.64	Sube 0.64 °C

Cuadro 6.6 Comparación de valores de índices e indicadores agroclimáticos determinados para los dos periodos analizados y observaciones de cambios, tendencias y variaciones del inicio, fin y duración del PH y la CA en el cultivo de maíz, en la cuenca del río Apatlaco. (Continuación).

CUERNAVACA	1951-2010	2011-2013	VARIACIÓN EN % O TIEMPO	OBSERVACIÓN
Promedio anual Tmed °C	21.1	21.57	0.47	Sube 0.47 °C
Promedio Tmáx °C del PH	25.69	25.89	0.2	Sube ligeramente
Promedio Tmín °C del PH	16.62	16.88	0.26	Sube ligeramente
Promedio Tmed °C del PH	21.16	21.38	0.22	Sube ligeramente
Promedio GDD2 (Tb = 10 °C)	11.1	11.38	0.28	Sube ligeramente
Evaporación estimada Ev mm	126.88	122	-4.88	Baja ligeramente
Evapotranspiración potencial ETP estimada mm	104.5	97.6	-6.9	Baja ligeramente
Déficit hídrico (ETP-PPT) de CA mm	-60.73	-4.33	56.3	Aumento significativo de 56 mm

pero la evapotranspiración ligeramente se incrementa, lo que ocasiona que el déficit hídrico sea muy alto, de casi 60 milímetros.

Toda vez realizado el análisis agroclimático y observar que los promedios entre estaciones enmascaran la manifestación del cambio climático, se procedió a separar la estación de Cuernavaca por presentar los cambios más notables y evidentes, de los que anteriormente se mencionan, y que se muestran en el Cuadro 6.6.

Aunque los promedios de la precipitación anual, de mayo a octubre, y el PH aumenten 7, 8 y 9% respectivamente, durante los días de la canícula la lluvia baja hasta un 38%. El promedio de las temperaturas en todos sube casi medio grado, quizá sea debido al



aumento de la mancha urbana. El caso más significativo es que la canícula es más seca, ya que el déficit durante el tiempo que dura la CA supera los 56 milímetros.

A pesar de que la duración promedio en días de la CA en todas las estaciones es la misma, es más intensa en calor y mucho más seca, lo que significa que la severidad pasa de intermedia a alta y puede ocasionar pérdidas del 40 al 60% del rendimiento en maíz, y del 20 al 40% en sorgo (Figura 6.6). De seguir con esta tendencia, se deberán seguir las recomendaciones realizadas por Vega (2017), entre las que destacan: cambio de cultivo, retraso de fecha de siembra, deshierbes y remoción de la primera capa del suelo (cultivo) como práctica de conservación de la humedad del suelo. Es muy frecuente que en las estaciones con una duración del PH menor a noventa días no se cultive el maíz, pero sí siembren otro cultivo más resistente a la sequía o de ciclo más corto. Como información adicional, se registró en 2018 la duración de la CA en

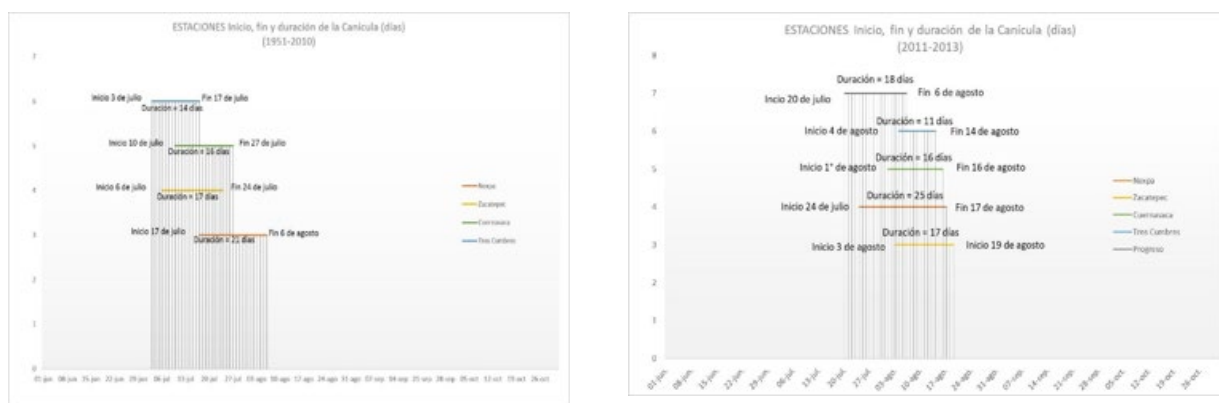


Figura 6.6. Comparación del inicio, fin y duración promedio de la CA en la cuenca del río Apatlaco, para los periodos 1951-2010 y 2011-2013.



Fotografía 6.1. Seguimiento a las etapas fenológicas del cultivo de maíz en el Campo El Copalar, Yautepec, Morelos.

la estación Progreso IMTA de 35 días, iniciando el 31 de junio y terminando el día 4 de agosto, pero aplicando las recomendaciones anteriores, el cultivo se recuperó y el rendimiento sólo se redujo en un 20 por ciento.

6.5. Conclusiones

Se aplicó satisfactoriamente la metodología utilizada en los dos periodos seleccionados para determinar los índices e indicadores del PH y la CA en todas las estaciones.

En la cuenca del río Apatlaco, tanto el relieve como la orografía, definen la pendiente y la altura de las estaciones. Las temperaturas, precipitación, radiación neta, evaporación y la ETo, y los índices e indicadores agroclimáticos calculados con estas variables de entrada, dependen de la altitud de la estación.



Con la comparación de los datos de los promedios anuales de las temperaturas máxima, mínima y media no fue posible determinar un cambio significativo en los promedios, a pesar de que se observó que toda la cuenca se está calentando.

Tampoco fue posible apreciar un cambio en los promedios anuales y mensuales de la precipitación acumulada en los dos periodos comparados, ya que el porcentaje entre estos no supera el 2%, pero se observó que en la cuenca la lluvia está disminuyendo, excepto en la mancha urbana de Cuernavaca, donde la precipitación tiene un ligero incremento de 7 por ciento.

Los índices e indicadores agroclimáticos para determinar el PH y la CA son mejores parámetros y más sensibles para detectar las tendencias de los datos climáticos sobre los cultivos y el ambiente, desenmascaran los promedios y dan información más objetiva.

De acuerdo con los resultados del estudio en la cuenca de río Apatlaco, el inicio de la temporada de lluvias, el inicio del PH y la CA se han retrasado, y ya no coinciden con el 21 de junio, fecha elegida por los productores para iniciar la siembra de cultivos de temporal.

Se observó que los promedios enmascaran el comportamiento de las mismas variables en periodos clave como el PH y la CA, sobre todo en las fechas de ocurrencia de los meteoros y la respuesta diferenciada de las plantas y los cultivos a la duración e intensidad.

La frecuencia y duración en días del PH y la CA, en promedio, no ha variado, pero sí han cambiado las fechas de ocurrencia, mostrando un retraso generalizado. Esto significa



que las lluvias se presentan una semana más tarde (18 de junio), cinco después el PH (23 de junio), y cinco semanas más tarde la sequía (29 de julio). Esta última fecha coincide cuando el cultivo se encuentra en pleno desarrollo de follaje y encañe; una etapa más sensible a la falta de agua que la etapa de formación de hojas verdaderas.

Además del retraso de las fechas de ocurrencia, los periodos en que se presentan el PH y la CA son más secos, ya que la lluvia disminuyó entre 13 y 40%. También, aumentaron las temperaturas, sobre todo la mínima, casi medio grado. En la CA, al ser los días más secos y cálidos, los GDD se incrementan casi medio GDD diario. La radiación prácticamente es la misma, pero la evapotranspiración ligeramente se incrementa, lo que ocasiona que el déficit hídrico sea muy alto, de casi 60 milímetros.

A pesar de que la duración promedio en días de la CA en todas las estaciones es la misma, es más intensa en calor y aridez, y la severidad, de intermedia pasa a alta y puede ocasionar pérdidas del 40 al 60% del rendimiento, en maíz, y del 20 al 40% en sorgo.

En el caso de Cuernavaca, donde la temperatura media ha aumentado casi medio grado y la mínima un poco más, sí se detecta el efecto del calentamiento antrópico. Al igual que la temperatura, también ha aumentado la precipitación un 7%; este incremento puede estar ligado a la actividad humana. Lo preocupante es que durante el periodo canicular la precipitación prácticamente se suspende, ya que el déficit hídrico es de 54 mm, aumentando con ello la severidad de la sequía en maíz, de ligera a intermedia.



La duración del PH es de casi cuatro meses y, en ese periodo, en promedio, la precipitación es suficiente para satisfacer la cantidad de agua requerida por los cultivos, pero no satisface la oportunidad, ya que en la mayoría de los años (80%), dentro del periodo lluvioso, se presenta sequía.

6.6. Referencias bibliográficas

- Ávila, H. (2001). *La agricultura y la industria en la estructuración-territorial de Morelos*. Cuernavaca: UNAM, Centro Regional de Investigaciones Multidisciplinarias, 2001, 79 p.
- Ceagua, Morelos (2014). Programa Estatal Hídrico de Morelos 2014-2018. Publicado en el *Periódico Oficial Tierra y Libertad*, No. 5208, 2014/07/30. Cuernavaca: Consejería Jurídica del Poder Ejecutivo del Estado de Morelos. Dirección General de Legislación. Subdirección de Jurismática.
- Conagua (2016). *Estadísticas del Agua en México*, México, DF: Semarnat-Conagua. www.conagua.gob.mx.
- Inegi (2017). *Anuario estadístico y geográfico de Morelos 2017* (2017). México, DF: Instituto Nacional de Estadística y Geografía.
- Montero, J. M. y Pita, O. (2018). *Análisis de índices de cambio climático en la cuenca del río Apatlaco*. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (en prensa).
- Semarnat (2008). *La cuenca del río Apatlaco. Recuperemos el patrimonio ambiental de los morelenses*. México, DF: Conagua-IMTA, 117 p.
- Taboada, M. y Oliver, R. (2009). La sequía intraestival, una manifestación de cambio climático en el estado de Morelos, *Investigación Agropecuaria*. 6(1), p. 51-62.
- Vega, R. (2016). Duración de la sequía intraestival (canícula o verano) para el cultivo de maíz en la zona media del estado de Morelos. *Memoria del II Congreso Nacional de Riego y Drenaje COMEII 2016*. Chapingo: COMEII.
- Vega, R. (2017). Severidad de la sequía intraestival (canícula) en dos cultivos bajo temporal y

medio riego en el estado de Morelos. *Memoria técnica del XXIV Congreso Nacional de Hidráulica*. México, DF: AMH.

Vega, R. (2018a). ¿Qué es el periodo húmedo y la canícula agronómica y cómo se determinan? Estudio de caso cuenca del río Apatlaco. *Memorias del IV Congreso Nacional de Riego y Drenaje COMEII 2018*. Chapingo: IV Congreso Nacional de Riego y Drenaje COMEII 2018. Artículo COMEII-18044.

Vega, R. (2018). Metodología para determinar la frecuencia duración, intensidad y severidad de la sequía intraestival (canícula), con fines de manejo agronómico y adaptación al cambio climático de los cultivos de temporal. Jiutepec, Mor.: IMTA. Capítulo de libro (en prensa).





CALIDAD DEL AGUA EN LA CUENCA DEL RÍO APATLACO ANTE LOS EFECTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO

7

María del Pilar Saldaña, María Antonieta Gómez y Rubén Darío Hernández

7.1. Resumen

La cuenca del río Apatlaco enfrenta desafíos relacionados con el crecimiento poblacional, proceso de urbanización e incremento en la demanda agrícola, que deterioran la calidad del agua para los diversos usos. Aunado a estos desafíos existen otros asociados con los efectos del cambio climático.

A fin de estudiar dichos efectos, se analizó la base de datos de calidad del agua de la Red Nacional de Monitoreo, proporcionada por la Comisión Nacional del Agua (Conagua), para identificar posibles tendencias relacionadas con factores propios del cambio climático: incremento en temperatura, cambios en precipitación e inundaciones, entre otros. Se eligieron cinco variables indicadoras de la calidad del agua que se verían seriamente afectadas por el incremento en la temperatura del aire o ambiental, ya que la temperatura del agua está en equilibrio con la del ambiente y los procesos físicos, químicos y biológicos dependen de las variaciones en la temperatura del cuerpo de agua.

Los resultados obtenidos para el periodo evaluado en las 26 estaciones de monitoreo del río Apatlaco revelaron que, para los parámetros asociados con el aporte de materia orgánica biodegradable, el cuerpo de agua se considera aceptable, así como para el parámetro de aporte de sólidos; mientras que para el aporte de materia orgánica no biodegradable, en el 48% de los datos el río Apatlaco se considera contaminado.

El análisis clúster agrupa, a través de un dendograma, las estaciones de monitoreo cercanas a las plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR). La base de datos presenta, de forma sistemática y confiable, los resultados de calidad del agua. Sin embargo, el periodo evaluado es corto como para establecer una tendencia con respecto a los cambios en la temperatura ambiente del Sistema Meteorológico Nacional, que tiene cerca de cincuenta años de mediciones. Por ello, es indispensable mantener un flujo regular de datos comparables que puedan usarse para monitorear tendencias de diferentes parámetros a lo largo del tiempo, siendo recomendable dar continuidad a la Red de Monitoreo en la cuenca.

Si bien existen modelos que complementan vacíos de información de los datos, la calidad de la información se vuelve dependiente de tener suficientes datos de campo y laboratorio para calibrar y “fundamentar la verdad” de lo que el modelo arroja.

Palabras clave: Apatlaco, calidad del agua, Red Nacional de Monitoreo, cambio climático



7.2. Introducción

Los ecosistemas acuáticos a escala mundial son uno de los principales sistemas que se han deteriorado en cuanto a calidad y cantidad del agua debido a los incrementos poblacional, industrial y agrícola, ya que las continuas descargas de aguas residuales, junto con la entrada de diversos compuestos tóxicos, han generado serios problemas para el uso del agua tanto para suministro como para la sobrevivencia de la fauna y flora de ríos, lagos, estuarios y zonas costeras (Lorenz *et al.* 1997; Chapman, 1996; Li Jin, *et al.* 2013; WWAP, 2017).

El incremento de la población es una de las principales amenazas de los cuerpos de agua, ya que el constante aumento en la demanda de agua dulce provoca la disminución de los recursos hídricos en cantidad y calidad, aunado a la contaminación y el cambio climático.

Por tal motivo, los retos a la protección de los ecosistemas acuáticos son parte fundamental de diversas acciones que en el ámbito mundial se abordan, como lo plasmado en el Programa Hidrológico Internacional, en referencia a la atención de los problemas de calidad del agua y contaminación, bajo un enfoque de manejo integrado del recurso (Jiménez Cisneros, 2015).

El impacto del cambio climático, que incluye cambios en temperatura, precipitaciones y aumento del nivel del mar, tienen distintas consecuencias para la disponibilidad de agua dulce en todo el planeta. El cambio climático impacta el ciclo hidrológico y, por tanto, impacta la gestión de los recursos de agua dulce (PHI, 2011).



Las aguas corrientes abarcan una amplia gama de hábitats que abarcan un continuo, desde pequeños manantiales de montaña hasta inmensos ríos de tierras bajas. La susceptibilidad de los sistemas lóticos a las actividades antrópicas se incrementa por su naturaleza lineal y unidireccional. Casi cualquier actividad dentro de una cuenca fluvial tiene el potencial de causar un cambio ambiental que lo ramifique, y cualquier contaminante que ingrese a un río puede ejercer efectos a gran distancia río abajo (N. Polunin. 2008) afectando la calidad del agua, que puede verse afectada también por el incremento en la temperatura, tanto ambiental como del agua, así como por eventos de sequía e inundaciones. Las características físicas, químicas y microbiológicas pueden ser alteradas por el cambio climático, siendo importante el registro de los parámetros que determinen la calidad del agua para los diversos usos. La mayoría de las reacciones químicas y procesos bacteriológicos corren más rápido a temperaturas más altas (P. G. Whitehead, *et al.* 2009).

Para conocer la calidad del agua del río Apatlaco, Morelos, y las posibles alteraciones relacionadas con los efectos del cambio climático, el análisis de información disponible de las variables que determinan la calidad del agua en el río y las climáticas fueron evaluadas.

7.3. Antecedentes

En México, la calidad del recurso hídrico se mide sistemáticamente a través de la Red Nacional de Monitoreo (RNM) de la Comisión Nacional del Agua (Conagua) desde el año 2000, y de forma más sistemática desde el 2012. En este año la RNM contaba con 3 957 sitios de monitoreo en aguas superficiales, de los cuales 2 517 estaban ubicados en cuerpos de agua superficiales y 1 045 en zonas costeras. Los sitios con monitoreo



de calidad del agua se ubican en los principales cuerpos de agua del país, incluyendo zonas con alta influencia antrópica (Conagua, 2017a).

La RNM comprende las actividades de muestreo, análisis de las muestras en el laboratorio, recopilación y procesamiento de datos para obtener información sobre las propiedades físicas, químicas y biológicas del cuerpo de agua monitoreado.

La cuenca del río Apatlaco tiene un área de aproximadamente 679.92 km². El río tiene su origen en la abrupta serranía de Zempoala y Huitzilac, en el lugar conocido como Hoya del Tepeite, en donde afluyen numerosos arroyos alimentados por igual número de manantiales que forman la barranca de Tepeite. Esta barranca recorre terrenos comunales de Santa María, donde se le une la denominada barranca La Canoa, continuando por tierras ejidales de los pueblos de Tetela y Tlaltenango, en que toma los nombres de Tetela, Tlaltenango y Apatlaco. Luego, pasa por tierras del rancho de Atzingo y de los ejidos del pueblo de San Antón, donde toma el nombre de río El Pollo, hasta el puente de El Pollo, recorriendo propiedades de la ciudad de Cuernavaca y del mismo municipio, y atraviesa terrenos de la ex Hacienda de Temixco. Pasa por terrenos de la ex Hacienda de El Puente, por tierras comunales de la Villa de Xochitepec, en que toma este nombre. Desde su origen se clasifica de orden 1 hasta la salida de la cuenca y unión con el río Yautepec, que es de orden 6 (Figura 7.1). El cauce principal tiene una longitud aproximada de 63 kilómetros. En la Ley Federal de Derechos en Materia de Agua, en el artículo 278-A, el río Apatlaco se clasifica como Tipo B, cuerpo de agua de propiedad de la nación. El principal uso del agua es de abastecimiento como fuente de agua potable, además de ser receptor de las descargas de agua residuales (Conagua, 2017). La clasificación es desde la parte alta de la cuenca hasta Temixco y, en la parte media y baja, como Tipo A, con uso en riego agrícola.



El río Apatlaco se abastece de dos afluentes principales: El Pollo y Chapultepec, aunque también confluyen los arroyos permanentes El Salto y Ojo de Agua, los manantiales El Limón, Chapultepec, Santa María Tepeiti y El Túnel. Nace ya como cauce continuo en los manantiales de Chapultepec y recibe las aguas de las barrancas del centro y occidente de Cuernavaca, destacándose El Túnel, El Pollo (drenaje natural del poniente de la ciudad), Pilcaya, Amanalco, El Limón, Tlazala y Los Sabinos. Aumenta su caudal gracias al río Cuentepec y a los aportes de los arroyos Salado, Fría, Salto de Agua, Colotepec y Poza Honda (Conagua, s/f).

El análisis de la información sobre calidad del agua en la cuenca del río Apatlaco se realizó con la información proporcionada por la Conagua, en el periodo de evaluación de 2012-2017. La periodicidad de los monitoreo es bimensual en las 26 estaciones ubicadas en la cuenca (Figura 7.1), así como de la información recabada en el estudio especial que la Conagua realizó en 2008, denominado *Estaciones proyecto especial*. En la Figura 7.1 y Cuadro 7.1 se presentan las claves y nombres correspondientes.

En la Figura 7.1 se incluyen las estaciones climáticas y su ubicación, las cuales fueron analizadas para temperatura y precipitación del periodo 1964-2013, relacionadas con la tendencia que se pudiera observar por el posible aumento en temperatura y fenómenos asociados con el cambio climático.



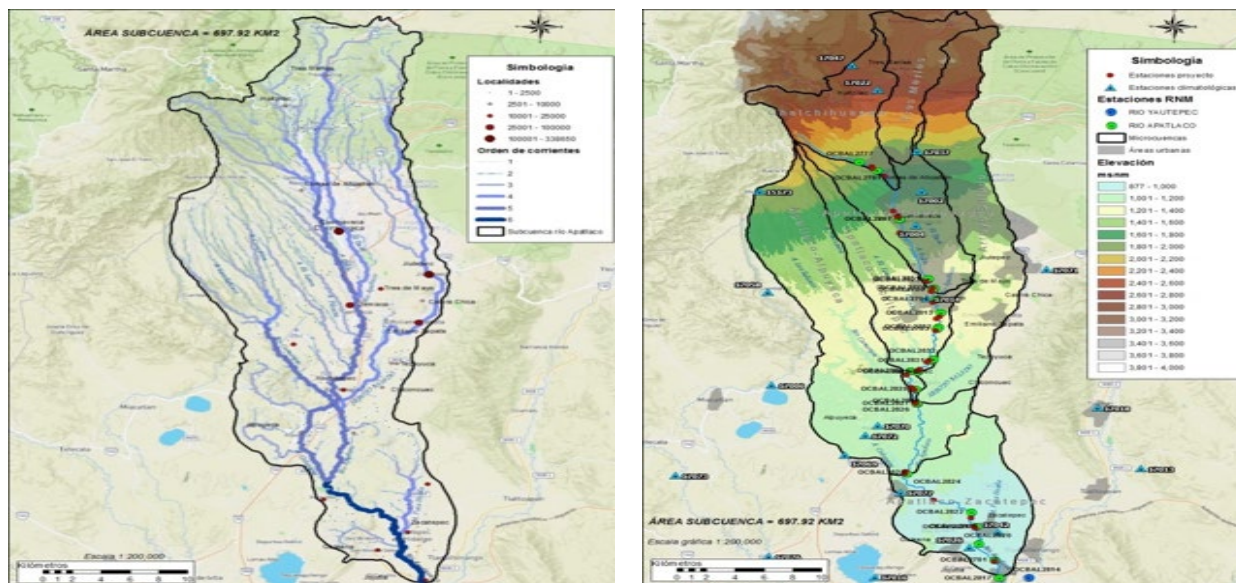


Figura 7.1. Cuenca del río Apatlaco, Morelos. Área de cuenca y orden del río (izq.). Ubicación de las estaciones de monitoreo de la Red Nacional, estaciones climatológicas, microcuencas y población (der.)

La información de la temperatura ambiental y del agua en las estaciones de monitoreo en el periodo evaluado fueron analizadas aplicando estadística descriptiva, así como los parámetros de oxígeno disuelto, demanda bioquímica de oxígeno, demanda química de oxígeno y sólidos suspendidos totales; parámetros considerados indicadores de las condiciones de calidad del agua por la Conagua para las estaciones de la Red Nacional de Monitoreo.



Cuadro 7.1. Estaciones de monitoreo en el río Apatlaco, clave de identificación y nombre.

ESTACIONES RNM		ESTACIONES PROYECTO ESPECIAL	
CLAVE	NOMBRE	CLAVE	NOMBRE
OCBAL2777	R1 RÍO APATLACO, ABAJO CHALCHIHUAPAN	R1	RÍO APATLACO, ABAJO CHALCHIHUAPAN
OCBAL2787	R2 RÍO APATLACO, ANTES DESCARGA MUNICIPAL TETELA	R2	RÍO APATLACO, ANTES DESCARGA MUNICIPAL TETELA
OCBAL2797	R3-B RÍO APATLACO, ANTES CÁRCAMO DE SAN ANTÓN	R3-b	RÍO APATLACO, ANTES CÁRCAMO DE SAN ANTÓN
OCBAL2807	R3-C RÍO APATLACO, DESPUÉS DEL CÁRCAMO DE SAN ANTÓN	R3-c	RÍO APATLACO, DESPUÉS DEL CÁRCAMO DE SAN ANTÓN
OCBAL2851	APATLACO ARRIBA, PTAR CHIPITLÁN		
OCBAL2823	APATLACO ABAJO, PTAR CHIPITLÁN	R5	RÍO APATLACO, ANTES DESCARGA ALTA PALMIRA
OCBAL2779	R5B RÍO APATLACO, ANTES ARROYO CHAPULTEPEC	R5b	RÍO APATLACO, ANTES ARROYO CHAPULTEPEC
OCBAL2780	R5C RÍO APATLACO, DESPUÉS ARROYO CHAPULTEPEC	R5c	RÍO APATLACO, DESPUÉS ARROYO CHAPULTEPEC
OCBAL2794	R6 RÍO APATLACO, AGUAS ABAJO 2 DERIVADORA	R6	RÍO APATLACO, AGUAS ABAJO 2° DERIVADORA
OCBAL2813	PUENTE TEMIXCO	R7	RÍO APATLACO, ANTES DESCARGA TEMIXCO
OCBAL2782	RÍO APATLACO, ARRIBA PTAR EL RAYO		
OCBAL2783	RÍO APATLACO, ABAJO PTAR EL RAYO	R8	RÍO APATLACO, ANTES BARRANCA ACATLIPA
OCBAL2832	R8B RÍO APATLACO, ANTES ARROYO PANOCHERAS	R8b	RÍO APATLACO, ANTES ARROYO PANOCHERAS
OCBAL2831	R8C RÍO APATLACO, DESPUÉS ARROYO PANOCHERAS	R8c	RÍO APATLACO, DESPUÉS ARROYO PANOCHERAS
OCBAL2830	R9 RÍO APATLACO, ANTES DE LA CASCADA REAL DEL PUENTE	R9	RÍO APATLACO, ANTES LA CASCADA REAL DEL PUENTE

OCBAL2829	R9B RÍO APATLACO, DESPUÉS DE LA CASCADA REAL DEL PUENTE	R9b	RÍO APATLACO, DESPUÉS LA CASCADA REAL DEL PUENTE
OCBAL2828	RÍO APATLACO-XOCHITEPEC	R10c	RÍO APATLACO, DESPUÉS PRODUCTOS AROMÁTICOS DEL SUR
OCBAL2827	R10D RÍO APATLACO, ANTES ARROYO PALO ESCRITO	R10d	RÍO APATLACO, ANTES ARROYO PALO ESCRITO
OCBAL2826	R10E RÍO APATLACO, DESPUÉS ARROYO PALO ESCRITO	R10e	RÍO APATLACO, DESPUÉS ARROYO PALO ESCRITO
OCBAL2824	R10G RÍO APATLACO, DESPUÉS ARROYO TETLAMA REPRESA	R10g	RÍO APATLACO, DESPUÉS ARROYO TETLAMA
OCBAL2822	R12 RÍO APATLACO, ANTES DESCARGA TETELPA	R12	RÍO APATLACO, ANTES DESCARGA TETELPA
OCBAL2821	R12C RÍO APATLACO, DESPUÉS BARRANCA POZA HONDA	R12c	RÍO APATLACO, DESPUÉS BARRANCA POZA HONDA
OCBAL2820	APATLACO, ABAJO PTAR ZACATEPEC		
OCBAL2781	R13 RÍO APATLACO, ANTES 9-DERIVADORA	R13	RÍO APATLACO, ANTES 9ª. DERIVADORA
OCBAL2817	RÍO APATLACO-TLATENCHI		
OCBAL2818	RÍO YAUTEPEC, ABAJO PTAR JOJUTLA	R14b	RÍO APATLACO, DESPUÉS RÍO YAUTEPEC

7.4. Resultados

La temperatura ambiente en la cuenca del río Apatlaco, en el periodo analizado (2012-2017), osciló de 16 hasta 36.5 °C, con un promedio de 27.28 °C, coincidiendo con los resultados de la temperatura ambiente analizados en el capítulo 3 del presente libro (autoría de Martín Montero y Oscar Pita), donde las zonas más cálidas se encuentran en la parte baja de la cuenca, y las más frías en la zona alta, con una temperatura máxima registrada de casi 33 °C, en la parte baja de la cuenca y, en la parte más alta, se encuentra el mínimo de 16.3 °C; mientras que la temperatura del agua en las 26 estaciones de monitoreo osciló de 13.7 hasta 35.4 °C y un promedio de 21.97 °C (Figura 7.2).



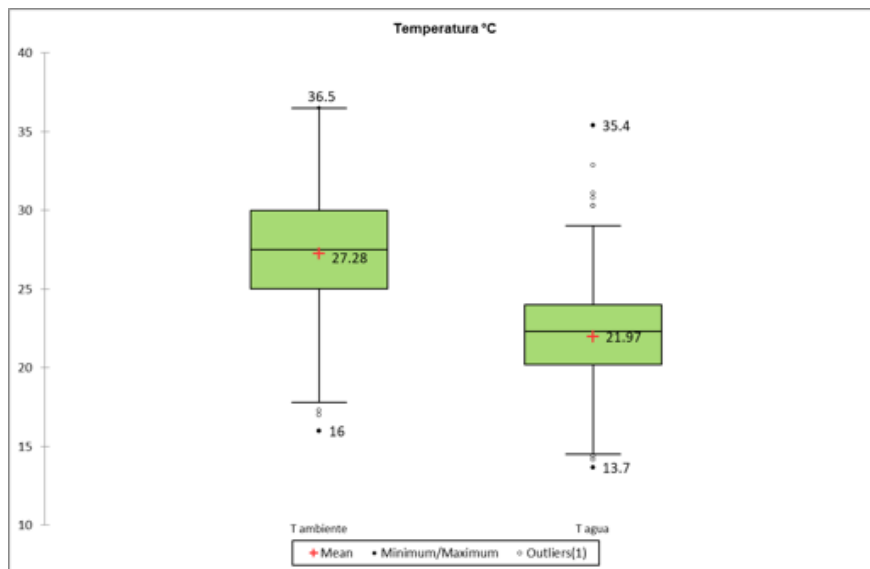


Figura 7.2. Concentraciones máximas, mínimas y promedio de temperatura ambiente y del agua en la cuenca del río Apatlaco, Morelos.

En la Figura 7.3 se presenta la temperatura promedio para cada una de las estaciones de monitoreo desde la cuenca alta (clave OCBAL2777) hasta la confluencia con el río Yautepec en la cuenca baja (clave OCBAL2818), observándose variaciones en el comportamiento de la temperatura ambiente y del agua, desde altitudes de 1 200 msnm hasta 877 msnm y en donde, a partir de la segunda estación (OCBAL2787), se incrementan en aproximadamente 2°C las temperaturas, relacionadas con el incremento poblacional de Cuernavaca y las características climáticas. El comportamiento de cada una de las estaciones de monitoreo y la variación, tanto en temperatura ambiente como del agua, se presenta en la Figura 7.4, observándose un comportamiento similar en las variaciones del conjunto de datos en las cerca de 873 mediciones llevadas a cabo y el aumento de temperatura, hacia la parte baja de la cuenca.

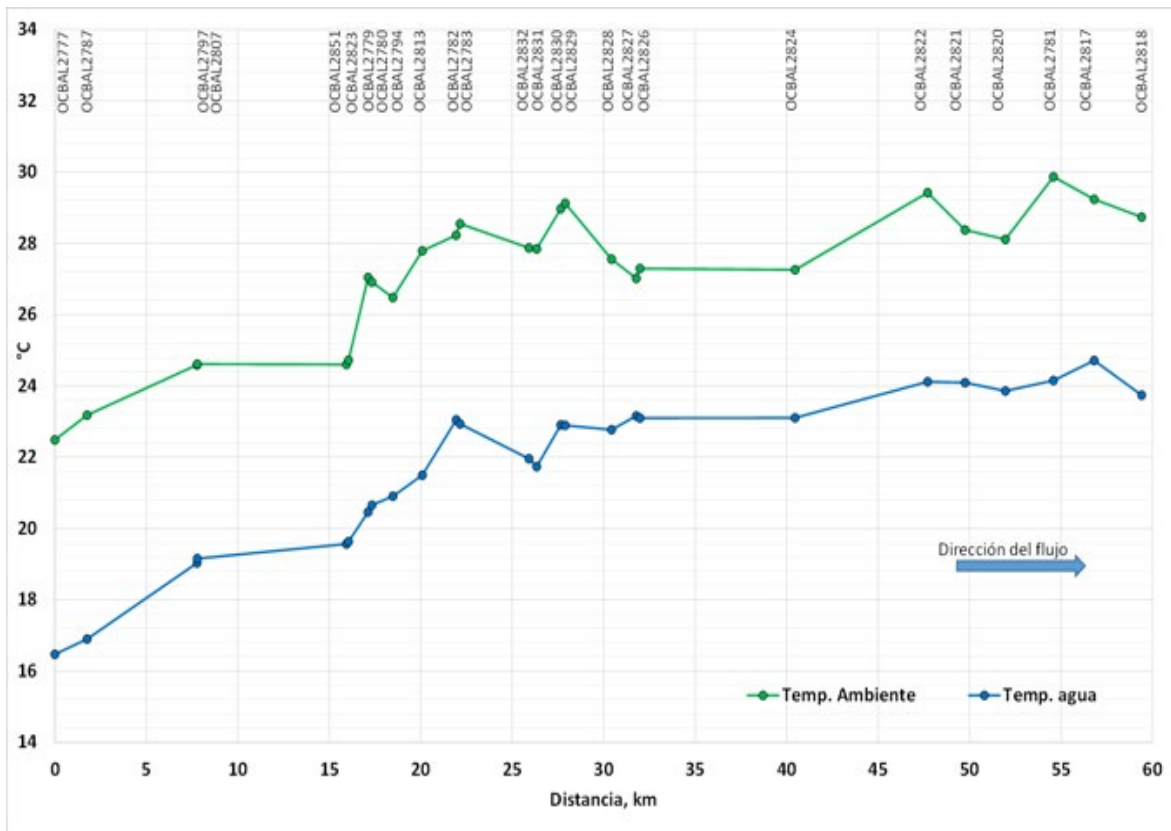


Figura 7.3. Temperatura ambiente y temperatura del agua, promedio de seis años (2012-2017), en cada estación de calidad del agua de la RNM en el río Apatlaco.

La temperatura del agua está influenciada directamente por la latitud, longitud, hora del día y la estacionalidad. Este parámetro es muy importante porque afecta los procesos físicos, químicos y biológicos del cuerpo de agua y, por tanto, la concentración de otras variables, las cuales en conjunto y de acuerdo con el uso del agua, puede ser clasificada desde “excelente calidad” a “fuertemente contaminada”. Cuando la temperatura aumenta, la tasa de reacción química generalmente incrementa



junto con la evaporación y la volatilización de las sustancias. Por otro lado también, cuando incrementa la temperatura del agua, disminuye la solubilidad de los gases como el oxígeno (O_2), dióxido de carbono (CO_2), nitrógeno (N_2) y metano (CH_4), entre otros. La tasa metabólica de los organismos acuáticos se ve también afectada por la temperatura en las zonas tropicales, ya que la respiración incrementa y consumen más oxígeno, aumentando la descomposición de la materia orgánica (Chapman, 1996, WMO, 2013). Así, un incremento en la temperatura impacta en todos los procesos dentro del ecosistema acuático.

En estudios efectuados en los ríos Rin y Danubio (EEE, 2007a) en P. G. Whitehead *et al.* (2009), mencionan que ha habido un aumento de la temperatura de 1-3 °C en los últimos cien años en los grandes ríos europeos, debido a que las temperaturas del agua de estos están en estrecho equilibrio con la temperatura del aire y, a medida que aumenta la temperatura del aire, también lo harán las temperaturas del río. Este efecto podría llegar a presentarse en el río Apatlaco; sin embargo, hace falta contar con una base de datos continua de al menos veinte años de mediciones, por lo que es muy importante que a escala nacional y, por consiguiente, local, se siga contando con la Red Nacional de Monitoreo.

Tomando en cuenta el comportamiento de la temperatura del agua en la cuenca y los cambios que se pudieran presentar en las variables indicadoras de las condiciones de calidad del agua, el análisis del oxígeno disuelto, la demanda bioquímica y química de oxígeno, que determina el aporte de materia orgánica al río proveniente de descargas municipales e industriales, así como los sólidos suspendidos totales, que determinan el aporte por erosión en la cuenca, presentaron el siguiente comportamiento durante el periodo evaluado.



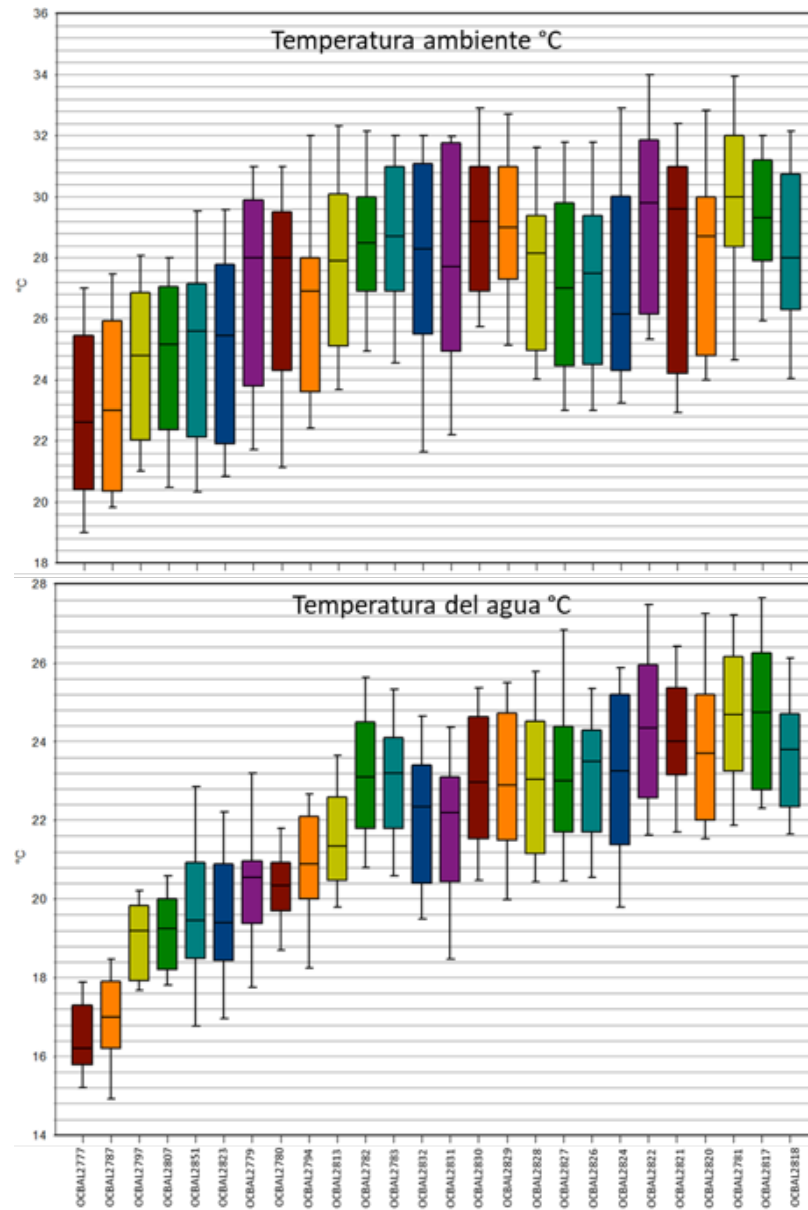


Figura 7.4. Comportamiento de la temperatura ambiente y del agua por estación de monitoreo.



La concentración del oxígeno disuelto esencial para la vida acuática y determinado en las 26 estaciones de monitoreo sobre el cauce principal del río Apatlaco osciló de 3.68 mg/L hasta 9.72 mg/L, con un promedio de 6.79 mg/L (Figura 7.5a y Cuadro 7.2).

La concentración de la demanda bioquímica de oxígeno en el río, que representa el aporte de materia orgánica proveniente de aguas residuales, principalmente de origen municipal, osciló de 1 hasta 15.7 mg/L, con un valor extremo de 202.8 mg/L y un promedio de 7.0 mg/L (Figura 7.5b y Cuadro 7.2); mientras que la concentración de la demanda química de oxígeno, que representa el aporte de descargas de aguas residuales de origen industrial, presentaron valores de 7.52 hasta 88.35 mg/L, con un promedio de 43.3 mg/L y un valor extremo de 792 mg/L (Figura 7.5c y Cuadro 7.2).

En cuanto a las concentraciones de sólidos suspendidos totales, que representan el aporte de sólidos provenientes de la erosión, principalmente en la época de avenidas, presentaron valores de 10 hasta 70 mg/L, con un promedio de 49.64 mg/L y un valor extremo de 1 850 mg/L, identificado en la cuenca baja en la estación OCBAL2818 (Río Yautepec, abajo de la PTAR de Jojutla) (Figura 7.5d y Cuadro 7.2).

Las variaciones del oxígeno disuelto (OD), demanda bioquímica (DBO) y química de oxígeno (DQO), así como en los sólidos suspendidos totales (SST) en el río, se ven principalmente afectadas por la contaminación causada por actividades humanas, más que por el cambio climático en la cuenca (Figura 7.6 y Figura 7.7) por lo que sería importante seguir haciendo el análisis con más años de mediciones de las variables, ya que una conclusión similar fue obtenida por Xia *et al.* (2010) en dos cuencas de China.



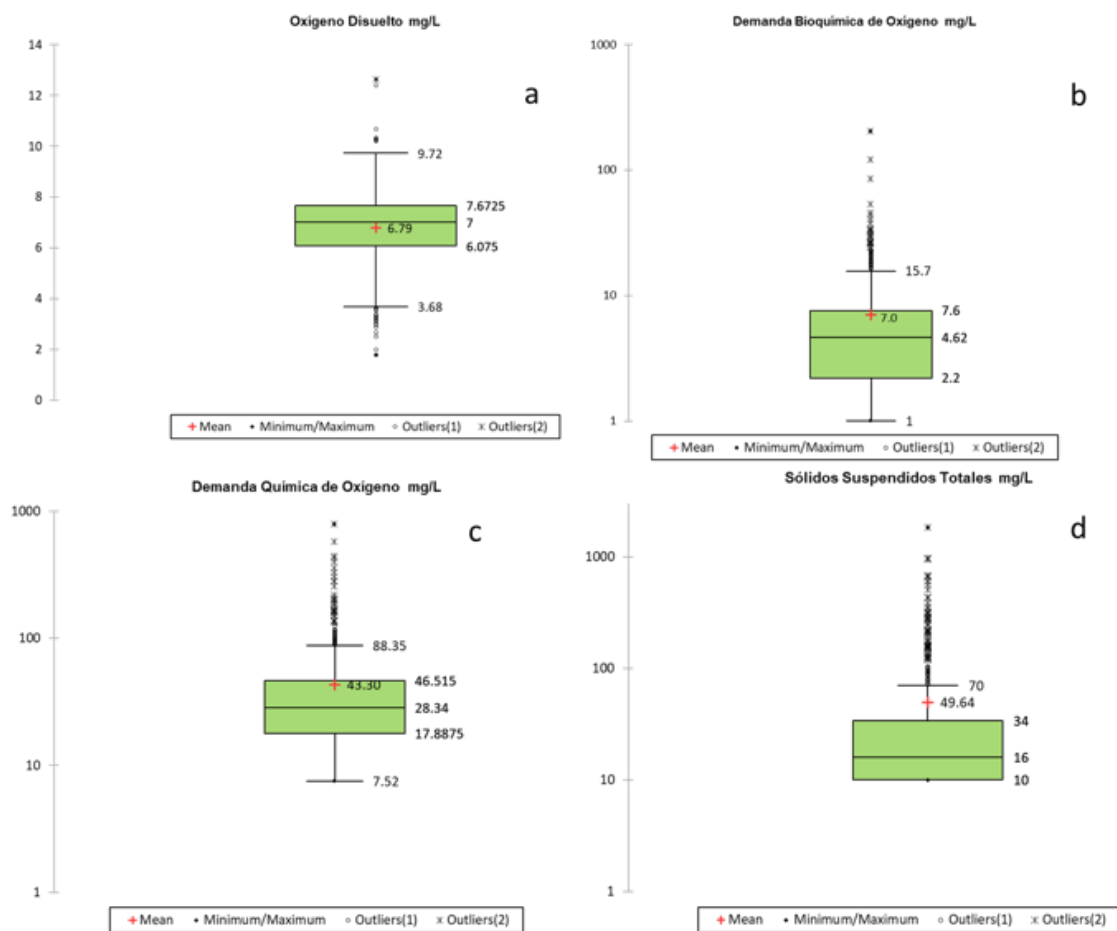


Figura 7.5. Concentraciones máximas, mínimas y promedio de: a) oxígeno disuelto, b) demanda bioquímica de oxígeno, c) demanda química de oxígeno y d) sólidos suspendidos totales en el río Apatlaco, Morelos.



Cuadro 7.2. Estadística descriptiva de las variables analizadas.

Estadísticas	OD	DBO	DQO	SST	Temperatura ambiente °C	Temperatura agua °C
No. de observaciones	740	740	740	740	873	873
Mínimo	1.79	1.00	7.52	10.00	16.00	13.70
Máximo	12.62	202.80	792.00	1850.00	36.50	35.40
1er. cuartil (25%)	6.08	2.20	17.89	10.00	25.00	20.20
Mediana	7.00	4.62	28.34	16.00	27.50	22.30
3er. cuartil (75%)	7.67	7.60	46.52	34.00	30.00	24.00
Promedio (50%)	6.79	7.01	43.30	49.64	27.28	21.98
Varianza (n-1)	1.93	117.64	3371.94	14493.15	13.21	8.48
Desviación estándar (n-1)	1.39	10.85	58.07	120.39	3.63	2.91
Coeficiente de variación	0.20	1.55	1.34	2.42	0.13	0.13

Se considera que el río Apatlaco presenta condiciones aceptables, ya que en promedio la concentración de oxígeno disuelto es mayor a 7 mg/L, valor por arriba del criterio de 5 mg/L considerado como aceptable para la protección de vida acuática, de acuerdo con los criterios ecológicos (CE-CCA-001/86), y que representa el 92% de las mediciones.

Por lo que respecta a la demanda bioquímica de oxígeno, se considera que el río Apatlaco en el periodo evaluado presenta una calidad de “excelente”, en la cuenca alta, a “aceptable” hasta la cuenca baja, ya que las concentraciones de DBO en el 98% se encuentran en el intervalo de <2 hasta 30 miligramos por litro.

En cuanto a la demanda química de oxígeno, y tomando en cuenta el indicador de calidad del agua (>40 mg/L = contaminado, Conagua, 2017), el 51% de los datos se presentan por abajo del indicador de contaminación, por lo que la calidad del agua



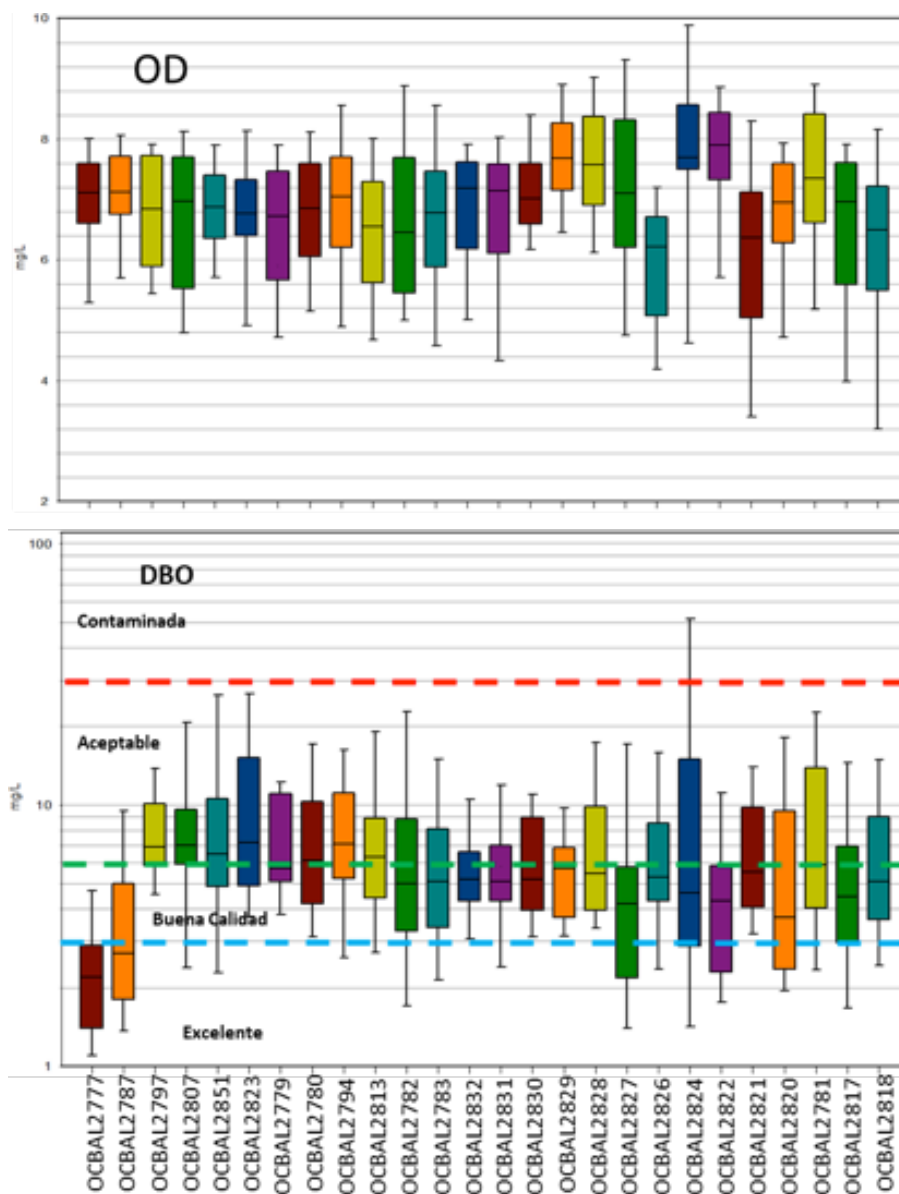


Figura 7.6. Variaciones de oxígeno disuelto y demanda bioquímica de oxígeno en las estaciones de monitoreo de la Red Nacional.



es “aceptable”; sin embargo, el 48% de las mediciones indican concentraciones por arriba del indicador, lo cual representan que el río está recibiendo aportes de aguas residuales, principalmente de origen industrial.

En cuanto a los sólidos suspendidos totales, que representan el aporte de sólidos por erosión en la cuenca, el 92% de las mediciones se encuentran en el intervalo de <10 hasta 140 mg/L, por lo que se considera de una calidad aceptable.

El análisis de la agrupación jerárquica se realizó para formar grupos homogéneos de objetos (clases) sobre la base de la descripción mediante el conjunto de variables evaluadas, de tal forma que se describe la similitud o disimilitud entre los objetos. Uno de los resultados es el dendrograma, que muestra el agrupamiento progresivo de los datos y es posible tener una idea de un número adecuado de clases en las que se pueden agrupar los datos.

En este caso, el análisis efectuado de similitud se presenta en la Figura 7.7, la cual agrupa a las 26 estaciones de monitoreo, de acuerdo con las cinco variables de calidad del agua estudiadas (T, OD, DBO, DQO y SST).



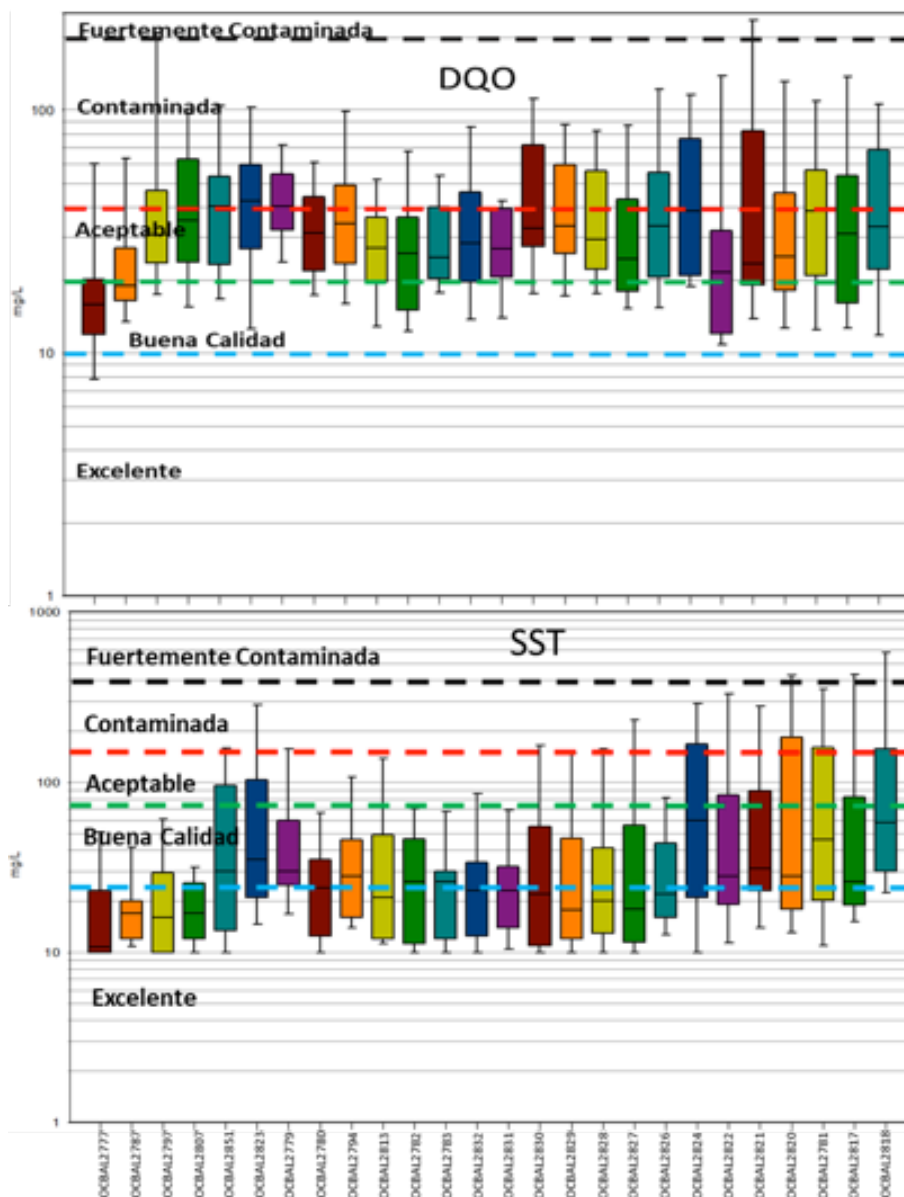


Figura 7.7. Variaciones de demanda química de oxígeno y sólidos suspendidos totales en las estaciones de monitoreo de la Red Nacional.



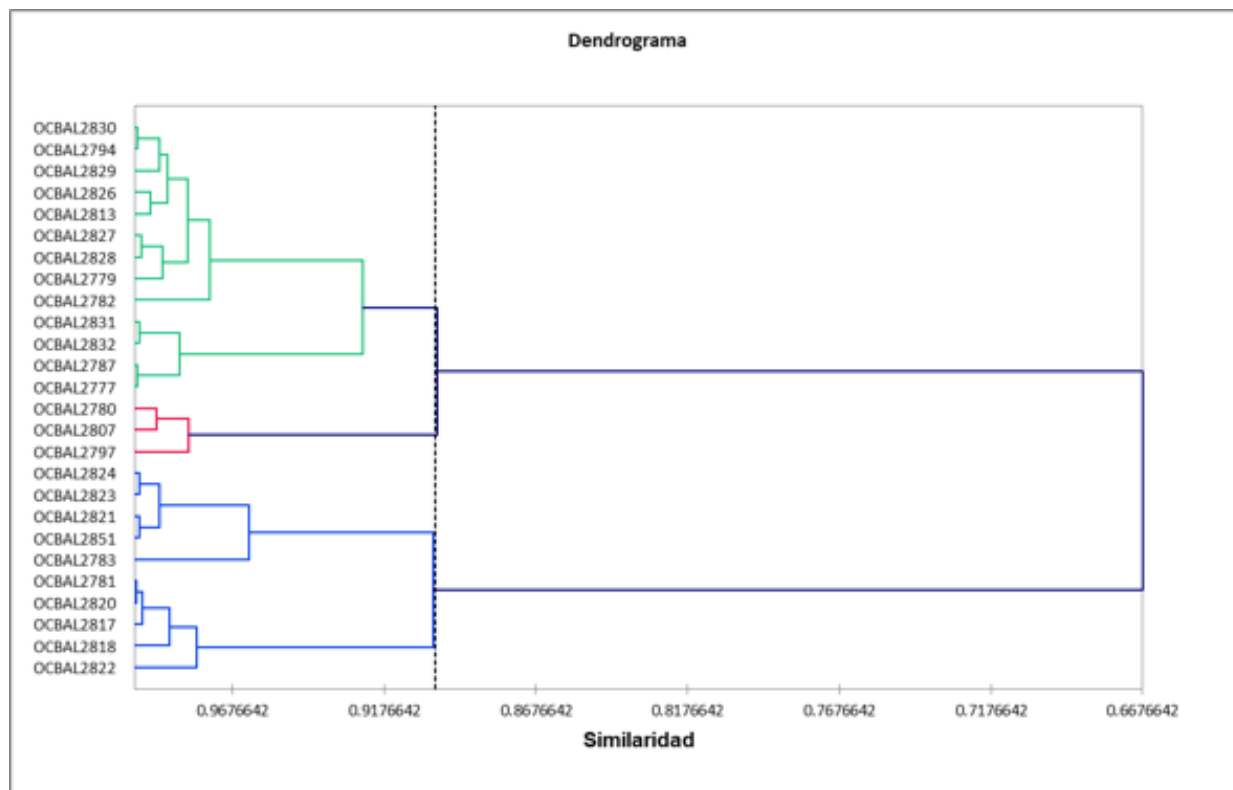


Figura 7.8. Dendrograma de similitud entre las estaciones de monitoreo de la Red Nacional.

El dendrograma agrupa las estaciones de monitoreo, de acuerdo con la similitud de las concentraciones promedio de las variables analizadas, observándose que el conjunto de estaciones indicadas con línea azul corresponden principalmente a las estaciones que tienen influencia con descargas de aguas residuales de tipo municipal, como son las PTAR que descargan al cauce principal del río, como son: PTAR Chipitlán, El Rayo, Zacatepec y Jojutla.

7.5. Discusión

Los efectos del cambio climático en la cuenca del río Apatlaco, relacionado particularmente con aumentos en la temperatura ambiental y del agua, aún no son perceptibles por medio del análisis llevado a cabo, debido a que se cuenta con pocos datos de forma sistemática (periodo de siete años), mientras que el análisis de precipitación, que tiene una base de datos más robusta y ya presentado en el capítulo 4 de este libro (autoría de María Antonieta Gómez Balandra *et al.*), indicó que la variación en el flujo ha aumentado el volumen en aproximadamente 5% en las microcuencas de Chalchihuapan y Tres Marías (parte alta), 9% en Arroyo Salado y 12% en las de Alpuyeca y Xochitepec (parte media de la cuenca).

Los principales indicadores de calidad del agua en el río Apatlaco, en las 26 estaciones de monitoreo en el periodo evaluado, mostraron que la calidad del agua es aceptable para las variables de OD, DBO y SST, ya que las concentraciones se encuentran en el intervalo de calidad aceptable por la Conagua, mientras que del conjunto de mediciones la DQO, en el 48% de las mediciones realizadas en el cauce principal del río Apatlaco presentaron concentraciones que determinan que la calidad del agua se encuentra contaminada para este parámetro, indicando el aporte de aguas residuales principalmente de origen industrial, o bien, de la mezcla de industrial con municipal. Aunado a lo anterior y considerando que el volumen que transita por el río, desde la parte alta a la baja ha aumentado, ello ha ocasionado un efecto de dilución en el río que mejora la calidad del agua, parcialmente.

Debido a que el cambio climático también implica periodos en donde la cantidad de agua disminuye (sequías), tal vez se esperaría que en periodos futuros la calidad del agua en la cuenca del río Apatlaco cambie y se continúe deteriorando, ya que habrá



menos agua disponible para la dilución de las aguas residuales, lo que se espera sea identificado por la Red Nacional de Monitoreo de la Conagua. Esto hace necesario el seguimiento y continuidad de la generación de una base de datos más robusta, sistemática y confiable, a escalas de cuenca, regional y nacional.

De acuerdo con Russi (2013), se espera que los problemas del agua aumenten en los próximos años a causa del aumento de los niveles de población, procesos de urbanización, crecimiento económico y cambio climático. Cabe señalar que en la última década, en la cuenca del río Apatlaco, el crecimiento de población y la urbanización se han incrementado.

Por último, tal y como en 2012 lo describió el Programa Mundial de Evaluación de los Recursos Hídricos de las Naciones Unidas (WWAP), es indispensable mantener un flujo regular de datos comparables que puedan utilizarse para monitorear tendencias de diferentes parámetros a lo largo del tiempo. Si bien los vacíos de información en los datos a menudo se complementan con el uso de modelos, la calidad de la información se vuelve dependiente de tener suficientes datos de campo y laboratorio para calibrar y “fundamentar la verdad” de lo que el modelo arroja.

7.6. Conclusiones

La información obtenida de calidad del agua en la cuenca del río Apatlaco en el periodo evaluado para las variables analizadas relacionadas con el cambio climático, indican que aun cuando la calidad del agua es aceptable, de acuerdo con los indicadores de calidad, no se puede identificar una tendencia, principalmente por efectos



de la temperatura ambiente y del agua, debido a que el periodo analizado es de siete años.

El efecto de la precipitación en la cuenca presenta una ligera tendencia en cuanto al aumento en el volumen de agua, desde la cuenca alta hasta la baja, lo que podría estar generando un efecto de dilución, importante de seguir analizando en las estaciones de monitoreo de la Red Nacional, lo cual implica dar continuidad al monitoreo del río Apatlaco para contar una base de datos más robusta que permita identificar, en la época de sequías, las alteraciones en la calidad del agua.

El análisis clúster identificó el conjunto de estaciones de monitoreo que tienen influencia con el aporte de aguas residuales de las plantas de tratamiento municipales, por lo que es necesario dar un seguimiento al cumplimiento de la normatividad vigente.

Debido al creciente aumento en la población y a la urbanización, no sólo en la cuenca del río Apatlaco, sino también en el estado de Morelos, se espera que la demanda de agua para los diversos usos se incremente, y por lo tanto, es necesario contar con soluciones ambientales sostenibles que controlen la degradación de los recursos hídricos, no nada más en calidad, sino también en cantidad a mediano y largo plazos.



7.7. Bibliografía

- Conagua-Semarnat (2018). *Ley Federal de Derechos*. Disposiciones Aplicables en Materia de Aguas Nacionales 2017, pp. 166.
- Conagua-Semarnat (2017a). *Estadísticas del Agua en México. Edición 2017*. México: Conagua-Semarnat.
- C. M. Lorenz, G. M. Van Dijk, A. G. M. Van Hattum, and W. P. Cofino (1997). Concepts in river ecology: implications for indicator development. *Regulated Rivers: Research & Management*, 13: 501-516.
- Chapman, Deborah (1996). *Water quality assessments - A guide to use of biota, sediments and water in environmental monitoring*. Second Edition. Unesco/WHO/UNEP, 609 pp.
- Jiménez-Cisneros, Blanca (2015). Seguridad hídrica: retos y respuestas. La Fase VIII del Programa Hidrológico Internacional de la Unesco (2014-2021). *Aqua-LAC*, 7(1), pp. 20- 27.
- Nicholas V. C. Polunin (2008). *Aquatic ecosystems: trends and global prospects*. Cambridge University Press, pp. 499.
- Li Jin, Paul Whitehead, Michalis Hadjikakou (2013). A study of the Yesilirmak River catchment in northern Turkey: spatial patterns and temporal trends in water quality. *Journal of Environmental Protection*, 4, pp. 104-120. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.4236/jep.2013.47A013>
- PHI-Unesco (2011). *The impact of global change on water resources: the response of Unesco's International Hydrology Programme*, pp. 24.
- P. G. Whitehead , R. L. Wilby , R. W. Battarbee , M. Kernan & A. J. Wade (2009). A review of the potential impacts of climate change on surface water quality. *Hydrological Sciences Journal*, 54(1), pp. 101-123, DOI: 10.1623/hysj.54.1.101
- Pittock, Jamie (2011). National climate change policies and sustainable water management: conflicts and synergies. *Ecology and Society* 16(2): 25. Disponible en: <http://www.ecologyandsociety.org/vol16/iss2/art25/>



- Russi D. and Ten Brink P. (2013). *Natural capital accounting and water quality: commitments, benefits, needs and progress. A briefing note*. The Economics of Ecosystems and Biodiversity, pp. 20.
- WWAP (Programa Mundial de Evaluación de los Recursos Hídricos de las Naciones Unidas) (2017). *Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos 2017. Aguas residuales: El recurso desaprovechado*. París: Unesco.
- World Meteorological Organization (2013). *Planning of water quality monitoring systems*. WMO-No. 1113. Technical Report Series No. 3, pp. 128.
- XIA Jun, Cheng Shubo, Hao Xiuping, Xia Rui and Liu Xiaojie (2010). Potential impacts and challenges of climate change on water quality and ecosystem: case studies in representative rivers in China. *J. Resour. Ecol.*, 1(1) 31-35. DOI:10.3969/j.issn.1674-764x.2010.01.004





EMISIONES DE GASES DE EFECTO INVERNADERO DE AGUAS RESIDUALES MUNICIPALES EN LA CUENCA DEL RÍO APATLACO

Gabriela Mantilla y Norma Hernández

8

8.1. Resumen

En este capítulo se presenta la estimación de las emisiones de los gases de efecto invernadero generadas por las descargas de aguas residuales municipales en la cuenca del río Apatlaco, con el propósito de conocer el aporte de emisiones que se originan debido al contenido de materia orgánica y a la forma de disposición. Las estimaciones se realizaron conforme a los lineamientos del Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC, por sus siglas en inglés).

En el contexto de impactos del cambio climático, las emisiones generadas por descargas de aguas residuales pueden ser disminuidas mediante una mejor disposición de las aguas residuales, por lo que es importante conocer las emisiones actuales en las condiciones actuales de tratamiento en la cuenca.

Palabras clave: aguas residuales, tratamiento, gases de efecto invernadero.

8.2. Introducción

Los gases de efecto invernadero (GEI) reciben este nombre debido a que un mayor poder calorífico conduce al aumento de la temperatura de la superficie de la Tierra al interactuar con la energía proveniente del sol. En general, gran parte de las actividades humanas (quema de combustibles fósiles, producción de energía, prácticas agrícolas, ganadería, deforestación de los bosques y selvas, entre otras) intensifican el efecto invernadero natural, al incrementar las emisiones de GEI y modificar con ello la composición de la atmósfera del planeta.

El efecto invernadero es un fenómeno natural y ha permitido la existencia de la vida en la Tierra, tal y como se le conoce, ya que de otro modo la temperatura promedio del planeta sería inferior a los $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$ (INECC, 2015).

Estos gases, a pesar de solamente representar menos del 0.1% de la atmósfera terrestre, tienen un papel de vital importancia en el sistema climático del planeta. El IPCC define los GEI:

... como el componente gaseoso de la atmósfera –ya sea de origen natural o antropogénico–, que absorbe y emite radiación en determinadas longitudes de onda del espectro de radiación infrarroja térmica emitida por la superficie de la Tierra, por la propia atmósfera y por las nubes. Esta propiedad da lugar al efecto invernadero.

Los principales gases responsables del efecto invernadero natural son:

- El vapor de agua (H_2O) producido por la evaporación del agua.
- El bióxido de carbono (CO_2) generado a partir de la respiración de los seres vivos, la descomposición de la materia orgánica muerta y los incendios naturales.



- El metano (CH_4) emitido por los humedales, por la descomposición anaerobia de la materia orgánica y los rumiantes durante su proceso digestivo.
- El óxido nitroso (N_2O) producido por la descomposición bacteriana de la materia orgánica.
- El ozono (O_3), cuando resulta de la unión natural de tres átomos de oxígeno.

El desarrollo industrial y tecnológico que se ha dado desde finales del siglo XVIII, sobre todo a partir de un consumo más importante de combustibles fósiles para la producción de energía, ha generado una mayor cantidad de emisiones de GEI, lo que ha propiciado el incremento promedio de temperatura en el planeta.

En el campo de las aguas residuales, los principales GEI que se generan por diversos procesos son el dióxido de carbono, el metano y el óxido de nitrógeno.

El dióxido de carbono es uno de los subproductos de los combustibles fósiles en combustión y de la biomasa, pero también se genera como resultado de los procesos aerobios de tratamiento de las aguas residuales. Contra este gas se miden todos los demás gases de efecto invernadero; por lo tanto, su potencial de calentamiento global es 1.

El metano tiene un potencial de calentamiento global estimado en 28 veces más elevado que el del dióxido de carbono.

El óxido de nitrógeno tiene un potencial de calentamiento global estimado en 265 veces más elevado al del dióxido de carbono.

El Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC) presenta anualmente el inventario de emisiones de GEI, en los cuales se reportan cuatro rubros:



- Energía.
- Procesos industriales y uso de productos.
- Agricultura, silvicultura y otros usos de la tierra.
- Residuos.

La mayor parte de las emisiones corresponden a la generación de energía y procesos industriales. En el 2015, el INECC reportó que México emitió 683 millones de toneladas de bióxido de carbono equivalente (MtCO₂e) de (GEI), del cual el 7% corresponde a la emisión por residuos y sólo el 3% corresponde a residuos generados por el tratamiento y eliminación de aguas residuales (municipales e industriales).

Las aguas residuales municipales, debido a su contenido de materia orgánica, son fuentes generadoras potenciales de GEI, y la cantidad de emisiones que generan se estima en función del tipo de disposición de las mismas: descarga a cuerpo receptor (río, lago, barranca, suelo) sin tratamiento, disposición en sistemas sépticos o en una planta de tratamiento de aguas residuales. Esto se debe a que cada uno de estos tipos de disposición tiene un factor de emisión de metano específico.

De esta manera, las descargas de aguas residuales pueden ser una fuente de emisión de metano (CH₄) cuando se tratan o eliminan en medio anaeróbico, y de emisiones de óxido nitroso (N₂O) cuando se utilizan procesos de desnitrificación en la infraestructura de tratamiento. El factor de emisión se puede ver afectado por las condiciones que presenta el sistema de tratamiento; esto es, si la planta está bien operada o presenta sobrecarga en sus condiciones de diseño.

En este mismo contexto, las emisiones de dióxido de carbono (CO₂), a pesar de ser también un GEI, no se consideran en la estimación de emisiones, ya que son de origen biogénico.



8.3. Generación de aguas residuales municipales en la cuenca del río Apatlaco

De acuerdo con la información presentada en el capítulo “La cuenca del río Apatlaco”, del presente libro, se considera que la población residente en esta cuenca es de 981 142 habitantes, lo cual corresponde al 48.51% de la población estatal. En el Cuadro 8.1 se presenta la población de los municipios que conforman la cuenca del río Apatlaco.

Las descargas de aguas residuales se clasifican en municipales y no municipales. Las municipales se generan en los núcleos de población y son recolectadas a través de los sistemas de alcantarillado. En materia de saneamiento y calidad de agua de los cuerpos receptores, uno de los principales problemas en esta zona es la falta de infraestructura de recolección y tratamiento para sanear el 100% de las aguas residuales generadas por la población.



Cuadro 8.1. Población de la cuenca del río Apatlaco, 2015.

Municipio	Población en la cuenca
Cuernavaca	366 321
Emiliano Zapata	93 524
Huitzilac	17 233
Jiutepec	202 873
Jojutla	31 554
Puente de Ixtla	23 790
Temixco	111 846
Tlaltizapán	47 868
Xochitepec	25 510
Zacatepec	35 852
Miacatlán	534
Tepoztlán	14 084
Tlaquiltenango	101 153
Total	981 142

Se acepta que el concepto “sistema de alcantarillado” se aplica para la recolección de las aguas residuales, y puede tener diferentes tipos de desalojo o disposición. En el libro *Estadísticas del Agua en México, Edición 2017* (Conagua, 2017), se señala que la cobertura de acceso a los servicios de alcantarillado y saneamiento básico considera la población con drenaje conectado a la red pública, a fosa séptica o con desagüe a suelo, barranca, grieta, río, lago o mar. Esta información se genera en los censos, conteos y la *Encuesta Intercensal 2015* (Inegi, 2016).

En el Cuadro 8.2 se presenta el tipo de disposición de las aguas residuales en cada municipio, con base en los “Estimadores de las viviendas particulares habitadas y su distribución porcentual, según disponibilidad de drenaje y lugar de desalojo por municipio” (*Tabulados de la Encuesta Intercensal*, Inegi, 2015), donde se observa que más del 95% de



los ocupantes de las viviendas disponen de drenaje. Lo que es importante resaltar es el sitio de desalojo final, ya que se considera que si la vivienda tiene una salida entubada, la vivienda cuenta con drenaje. De esta manera, una casa habitación que descarga sus aguas residuales mediante una tubería directamente a una barranca, río o red pública (Figura 8.1) sin tratamiento entra en la categoría “Drenaje”, sin tomar en cuenta si la descarga llega a un sitio en el que se le proporcionará el tratamiento adecuado.

Cuadro 8.2. Estimadores de los ocupantes de las viviendas particulares habitadas y su distribución porcentual, según disponibilidad de drenaje y lugar de desalojo por municipio, en los municipios de la cuenca del río Apatlaco, 2015.

Municipio	Disponen de drenaje %					Sin drenaje	NE
	Total	Red pública	Fosa séptica	Barranca o grieta	Río, lago	%	%
Cuernavaca	98.939	70.732	27.117	2.056	0.095	0.497	0.564
Emiliano Zapata	98.555	75.813	23.908	0.246	0.033	1.320	0.125
Huitzilac	95.349	5.793	93.163	1.044	0.000	4.224	0.426
Jiutepec	99.027	76.963	22.245	0.720	0.072	0.706	0.267
Jojutla	97.551	76.115	22.232	0.851	0.802	1.818	0.630
Puente de Ixtla	96.231	56.032	42.941	0.662	0.365	2.614	1.155
Temixco	98.892	78.771	16.482	4.196	0.550	0.870	0.237
Tlaltizapán	97.036	57.551	42.257	0.114	0.078	2.543	0.420
Xochitepec	96.936	40.920	58.105	0.959	0.017	2.491	0.573
Zacatepec	98.790	84.884	14.698	0.418	0.000	0.691	0.519
Miacatlán	95.483	33.619	66.159	0.163	0.059	4.433	0.085
Tepoztlán	93.379	10.730	88.546	0.708	0.016	6.328	0.292
Tlaquiltenango	96.929	64.710	32.013	1.856	1.422	2.588	0.484

NE: No especificado.





Figura 8.1. Descargas domésticas a cuerpo receptor en la cuenca del río Apatlaco.

Este porcentaje fue asociado a la población correspondiente a cada municipio para poder determinar la carga orgánica generada en la localidad. En el Cuadro 8.3 se presenta el número de habitantes de la cabecera municipal asociado a cada tipo de disposición. La columna denominada “Total drenaje” indica el número de habitantes que cuentan con una salida entubada a los diferentes tipos de disposición mencionados anteriormente, y se presenta el número de personas asociadas a cada sitio de desalojo.

No se cuenta con datos exactos sobre el volumen de agua residual generada, ya que ello depende del consumo de cada vivienda; se carece de micromedición y la dotación varía en cada localidad. De acuerdo con la información reportada en el Programa de Indicadores de Gestión de Organismos Operadores, la dotación reportada por el Sistema de Agua Potable y Alcantarillado de Cuernavaca en 2016 fue de 446.98 litros por habitante al día (L/hab/d). Los demás organismos operadores de la cuenca no reportan esta información.

Cuadro 8.3. Ocupantes de las viviendas particulares habitadas según disponibilidad de drenaje y lugar de desalojo por municipio en los municipios de la cuenca del río Apatlaco, 2015.

Población en la cuenca por municipio	Hab.	Disponen de drenaje y sitio de disposición					Sin drenaje	NE
		Total drenaje	Red pública	Fosa séptica	Barranca o grieta	Río, lago		
Cuernavaca	366 321	362 435	256 356	98 282	7 451	346	1 820	2 066
Emiliano Zapata	93 524	92 173	69 879	22 037	226	31	1 235	117
Huitzilac	17 233	16 432	952	15 308	171	0	728	73
Jiutepec	202 873	200 898	154 617	44 690	1 447	145	1 433	542
Jojutla	31 554	30 781	23 429	6 843	262	247	574	199
Puente de Ixtla	23 790	22 893	12 828	9 831	152	84	622	275
Temixco	111 846	110 607	87 127	18 231	4 642	608	973	265
Tlaltizapán	47 868	46 449	26 732	19 628	53	36	1 217	201
Xochitepec	25 510	24 728	10 119	14 368	237	4	635	146
Zacatepec	35 852	35 418	30 064	5 206	148	0	248	186
Miacatlán	534	510	171	337	1	0	24	0
Tepoztlán	14 084	13 152	1 411	11 645	93	2	891	41
Tlaquiltenango	10 153	9 841	6 368	3 150	183	140	263	49
Total cuenca	981 142	966 318	680 053	269 557	15 065	1 642	10 663	4 161

NE: no especificado.

Nota: las diferencias en las sumas totales, se debe al redondeo de las cifras.

De acuerdo con la *Situación del Subsector Agua Potable, Drenaje y Saneamiento, Edición 2016* (Conagua, 2016), en la mayoría de las ciudades de México no existen las condiciones idóneas en materia de medición que permitan la determinación del consumo por habitante, dada la falta de macro y micromedición en las fuentes de abastecimiento y en las tomas domiciliarias, respectivamente; un dato guía es la dotación nacional, cuyo promedio diario es de 252 litros por habitante.

A partir de este valor promedio se puede obtener el agua que se entrega a la población, considerando que la aportación, que representa el volumen de agua residual desechada por el usuario después de su uso, se puede considerar como aportación de aguas



residuales entre el 70 y 75% de la dotación de agua potable en L/hab/d, tomando en cuenta que el restante se consume antes de llegar a las atarjeas (*Manual de agua potable, alcantarillado y saneamiento. Datos básicos para proyectos de agua potable y alcantarillado*, 2016).

Se utilizaron estos datos promedio nacionales para realizar la estimación del volumen de agua potable entregado a la población en 2015 (Cuadro 8.4) y la aportación correspondiente de aguas residuales municipales, considerando que es un dato conservador, dado que la dotación de Cuernavaca es superior en un 177 por ciento.

De esta forma, la descarga anual de aguas residuales municipales por consumo doméstico en la cuenca del río Apatlaco es de 67 684 081 de metros cúbicos al año.

Cuadro 8.4. Estimación del volumen de agua potable y del agua residual generada por la población de la cuenca del río Apatlaco, a partir de una dotación de 252 l/hab/d y un 75% de aportación.

Población en la cuenca por municipio	Hab.	Agua potable		Agua residual	
		m ³ /d	m ³ /año	m ³ /d	m ³ /año
Cuernavaca	366 321	92 312.9	33 694 205.6	69 234.7	25 270 654.2
Emiliano Zapata	93 524	23 568.0	8 602 337.5	17 676.0	6 451 753.1
Huitzilac	17 233	4 342.7	1 585 091.3	3 257.0	1 188 818.5
Jiutepec	202 873	51 124.0	18 660 258.5	38 343.0	13 995 193.9
Jojutla	31 554	7 951.6	2 902 336.9	5 963.7	2 176 752.7
Puente de Ixtla	23 790	5 995.1	2 188 204.2	4 496.3	1 641 153.2
Temixco	111 846	28 185.2	10 287 595.1	21 138.9	7 715 696.3
Tlaltizapán	47 868	12 062.7	4 402 898.6	9 047.1	3 302 174.0
Xochitepec	25 510	6 428.5	2 346 409.8	4 821.4	1 759 807.4
Zacatepec	35 852	9 034.7	3 297 667.0	6 776.0	2 473 250.2
Miacatlán	534	134.6	49 117.3	100.9	36 838.0
Tepoztlán	14 084	3 549.2	1 295 446.3	2 661.9	971 584.7
Tlaquiltenango	10 153	2 558.6	933 872.9	1 918.9	700 404.7
Total	981 142	247 247.8	90 245 441.2	185 435.8	67 684 081

Nota: las diferencias en las sumas totales se deben al redondeo de las cifras.

8.4. Permisos de descarga en la cuenca del río Apatlaco

La Comisión Nacional del Agua (Conagua), a través del Registro Público de Derechos de Agua (REPGA), lleva el registro y control de los títulos de concesión, asignación y permisos de descarga de los usuarios.

Dicho registro está sujeto a las disposiciones que establecen la Ley de Aguas Nacionales y su Reglamento, y como lo indica en el portal: "... serán elementos de prueba de la existencia de títulos de concesión, asignación, permisos o acto administrativo registrado y elemento de defensa de los derechos del título contra terceros.", y se aclara que: "La información aquí mostrada sólo da apoyo al público en general." Para consultar la base de datos del REPGA, se accede al portal web <http://app.conagua.gob.mx/REPGA.aspx>. La información consultada tuvo fecha de corte del 30 de junio de 2018.

El REPGA indica la cantidad de agua residual que tiene permitido descargar cada usuario a los diferentes cuerpos receptores nacionales y la calidad requerida para su descarga.

En este registro se localizaron 309 permisos de descargas dentro de los municipios considerados en la cuenca del Apatlaco, con un volumen de descarga autorizado total anual de 72 959 589.27 m³, considerando todos los usos del agua.

Doscientas descargas proceden de diferentes usos clasificados por el REPGA (Figura 8.2) como: acuacultura, agropecuaria, doméstico, industrial, industrial y servicios, pecuario, público urbano, sanitarios y lavandería, servicios, servicios publico urbanos, servicios y acuacultura y vertido libre de aguas residual de tipo doméstico, generando un volumen de 15 540 668.57 m³. Dentro de estas descargas de tipo doméstico se encuentran



clasificados los permisos de descarga de 49 plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR), las cuales se presentan en el Cuadro 8.5. Las 151 descargas restantes se presentan en el Cuadro 8.6, de las que se desconoce si tiene algún tipo de tratamiento.

Cuadro 8.5. Descargas autorizadas de las PTAR en la cuenca del río Apatlaco (REPGA, 2018).

Municipio	Uso	Volumen de descarga permitido m ³ anuales	Núm. PTAR	Descarga a afluente
Cuernavaca	Industrial	219 000.00	2	NA
Cuernavaca	Público Urbano	14 506 160.00	5	río Apatlaco
Cuernavaca	Público Urbano	18 662 400.00	1	Río Amacuzac
Cuernavaca	Servicios	24 431.48	5	NA
Cuernavaca	Servicios	29 127.00	1	Barranca Puente Blanco
Cuernavaca	Servicios	6 205.00	1	Red municipal
Cuernavaca	Servicios	17 055.20	4	río Apatlaco
Jiutepec	Diferentes usos	6 327 200.00	2	río Apatlaco
Jiutepec	Industrial	2 304.00	1	río Apatlaco
Jiutepec	Servicios	1 971.00	1	Barranca Puente Blanco
Emiliano Zapata	Público Urbano	2 365 200.00	2	río Apatlaco
Emiliano Zapata	Servicios	255.5	1	NA
Temixco	Público Urbano	529 804.80	1	NA
Temixco	Público Urbano	4 487 923.40	3	río Apatlaco
Temixco	Servicios	480	1	NA
Xochitepec	Público Urbano	2 485 036.80	2	Río Salado
Xochitepec	Público Urbano	2 247 016.50	7	río Apatlaco
Xochitepec	Público Urbano	1 175 224.00	2	Río Amacuzac
Xochitepec	Público Urbano	314 484.00	1	Río Tetlama
Xochitepec	Público Urbano	215 576.30	1	Barranca sin nombre
Xochitepec	Servicios	9 000.00	1	Pozo profundo
Xochitepec	Servicios	574 875.00	1	NA
Zacatepec	Público urbano	3 153 600.00	1	río Apatlaco
Jojutla	Servicios	63 960.00	1	río Apatlaco
Puente de Ixtla	Público Urbano	630.72	1	río Apatlaco
TOTAL		57 418 920.70	49	

NA: no aplica.

Al contrastar el volumen estimado de aguas residuales municipales (Cuadro 8.4) con la capacidad instalada de tratamiento, aun operando las PTAR a su gasto de diseño, se tiene un déficit de tratamiento de casi el 18 por ciento.

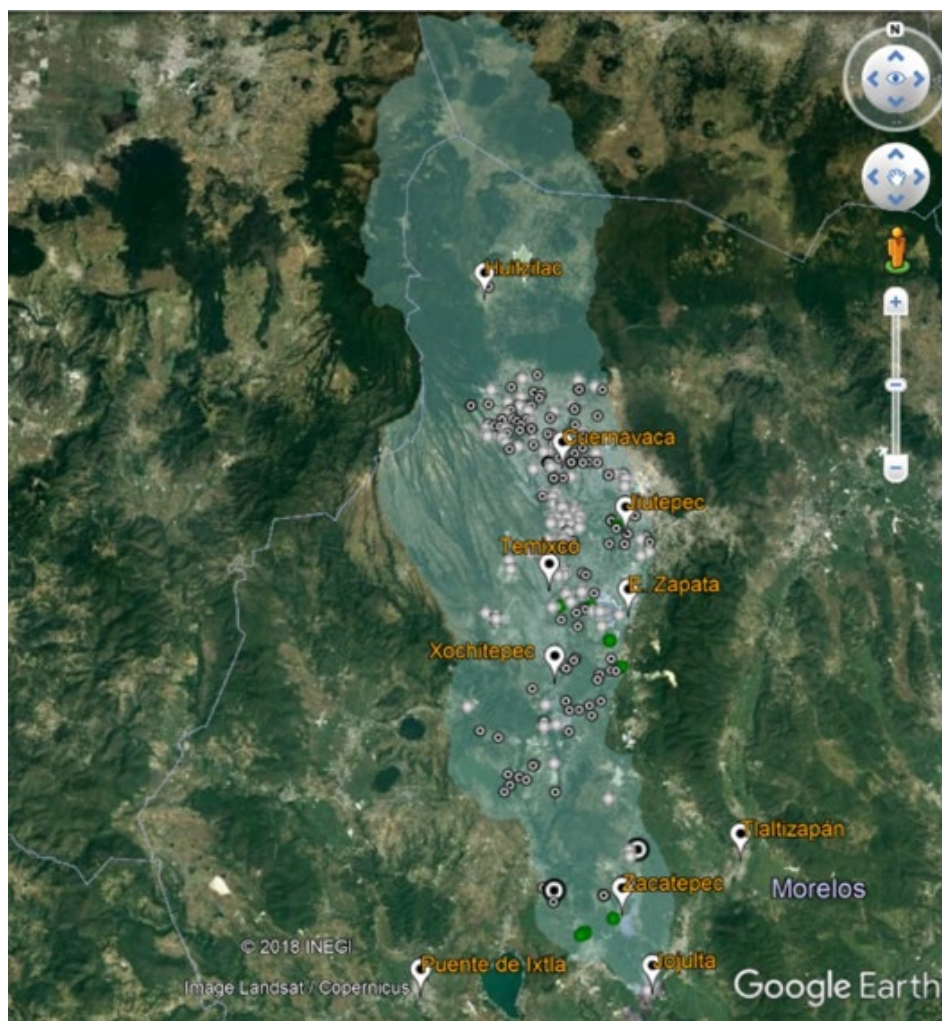


Figura 8.2. Ubicación de los puntos descarga de los permisos del Repda que descargan a un afluente del río Apatlaco.



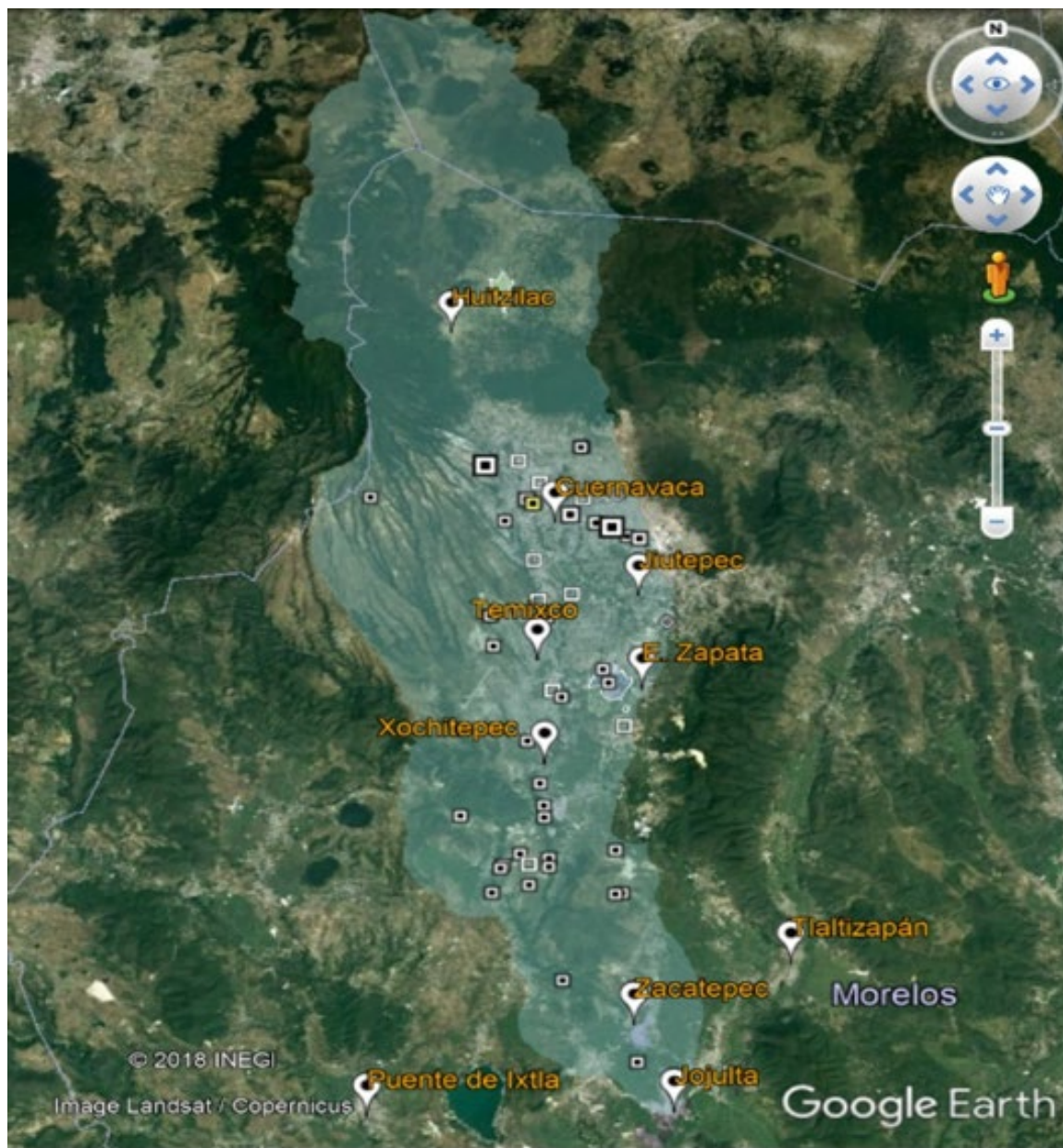


Figura 8.3. Ubicación de los puntos descarga de las PTAR en la cuenca del río Apatlaco.

Cuadro 8.6. Descargas autorizadas a cuerpos receptores afluentes al río Apatlaco (REPGA, 2018).

Municipio	Uso	Núm. descargas autorizadas	Descarga autorizada m ³ por año
Cuernavaca	Diferentes usos	2	37 522.0
Cuernavaca	Doméstico	1	219.0
Cuernavaca	Industrial	10	75 437.6
Cuernavaca	Público Urbano	36	352 947.3
Cuernavaca	Servicios	35	162 870.9
Emiliano Zapata	Diferentes usos	1	5 007.8
Emiliano Zapata	Público Urbano	8	3 637 727.9
Emiliano Zapata	Servicios	1	268.5
Jiutepec	Acuacultura	2	7 290.0
Jiutepec	Industrial	5	17 362.0
Jiutepec	Servicios	1	4 200.0
Jojutla	Pecuario	1	2 190.0
Temixco	Acuacultura	9	44 262.1
Temixco	Industrial	1	-
Temixco	Pecuario	1	-
Temixco	Público Urbano	4	1 978 211.5
Temixco	Servicios	13	1 144 653.7
Tlaltizapán	Público Urbano	4	1 589 935.2
Xochitepec	Pecuario	1	-
Xochitepec	Público Urbano	4	1 281 122.2
Xochitepec	Servicios	6	672 229.0
Zacatepec	Acuacultura	5	12 629.2
TOTAL		151	11 026 085.8



8.5. Tratamiento de aguas residuales municipales

En lo que respecta al tratamiento de las aguas residuales, en la cuenca del río Apatlaco existen 49 plantas que reportan una capacidad instalada de 1 943.7 L/s, de las cuales solamente 28 están en operación, de acuerdo con el *Inventario nacional de plantas de tratamiento de aguas residuales municipales 2016* (Cuadro 8.7).



Figura 8.4. Planta de tratamiento de aguas residuales municipales en la cuenca del río Apatlaco.

En el Cuadro 8.7 se presenta la infraestructura en operación en la cuenca del río Apatlaco y en el Cuadro 8.8 las PTAR fuera de operación. De acuerdo con el inventario, 36% de las plantas de tratamiento operan a su capacidad total de diseño y otro 39% opera al 50% de su capacidad de diseño o menos.

Cuadro 8.7. PTAR municipales en operación en la cuenca del río Apatlaco.

Municipio	Localidad	PTAR	Q_{inst} l/s	Q_{op} l/s	$\frac{Q_{op}}{Q_{inst}}$ %	Proceso	Cuerpo Receptor
Cuernavaca	Cuernavaca	Lomas de Cortés	27	8	29.6	Tanque Imhoff	Drenaje Lomas de Cortés
		Parque Solidaridad	8	8	100.0	Lodos Activados	Riego de áreas verdes
		Chipitlán	24	9	37.5	Lodos Activados	Río El Pollo, afluente del Apatlaco
		Buenavista del Monte	1	1	100.0	Anaerobio	Barranca s/n afluente del Apatlaco
		Lomas de Ahuatlán	30	18	60.0	Lodos activados	Barranca Zomplantle
		Acapatzingo	750	285	38.0	Lodos activados	río Apatlaco
Emiliano Zapata	Emiliano Zapata	El Encanto	60	40	66.7	Lodos activados	Barranca Paseos del Río
		Nustar	15	7	46.7	Biodiscos	Áreas verdes
		Alameda	30	7	23.3	Lodos activados	Apatlaco
		La Campiña	30	15	50.0	Aerobio	



Cuadro 8.7. PTAR municipales en operación en la cuenca del río Apatlaco (Continuación).

Municipio	Localidad	PTAR	Q_{inst} l/s	Q_{op} l/s	$\frac{Q_{op}}{Q_{inst}}$ %	Proceso	Cuerpo Receptor
Huitzilac	Tres Marías	Tres Marías	5	5	100.0	Anaerobio	Barranca sin nombre
Jiutepec	Jiutepec	Las Moras I	13	2	15.4	Filtros Percoladores	Barranca Puente Blanco
	Jiutepec	Las Moras II	13	2	15.4	Filtros Percoladores	Barranca Puente Blanco
	Jiutepec	U. H. El Paraje (El Texcal)	12	12	100.0	Lodos activados	Barranca La Gachupina
	Jiutepec	U. H. La Joya	12	10	83.3	Lodos activados	Infiltración/drenaje
	Jiutepec	La Gachupina	240	240	100.0	Lodos activados	Barranca La Gachupina
	Jiutepec	Rinconada Palmira	4	3	75.0	Lodos activados	Colector Tezontepec
Jojutla	Jojutla	Regional Jojutla	130	130	100.0	Filtros Percoladores	Río Yautepec
Miacatlán	Miacatlán	Miacatlán	24	8	33.3	Anaerobio	Río Tembembe
Puente de Ixtla	San José Vistahermosa	San José Vistahermosa	17	12	70.6	Biodiscos	Barranca sin nombre
	Xoxocotla	Xoxocotla	20	6	30.0	Dual	río Apatlaco
Temixco	Temixco	El Rayo	100	85	85.0	Lodos activados	río Apatlaco
	Cuentepec	Cuentepec 2	7	7	100.0	Aerobio	Sin nombre
Tlaltizapán	Tlaltizapán	Las Juntas	25	25	100.0	Lodos activados	Río Yautepec
	Santa Rosa Treinta	Santa Rosa 30	32	16	50.0	Lodos activados	Barranca Honda

Cuadro 8.7. PTAR municipales en operación en la cuenca del río Apatlaco (Continuación).

Municipio	Localidad	PTAR	Q_{inst} l/s	Q_{op} l/s	$\frac{Q_{op}}{Q_{inst}}$ %	Proceso	Cuerpo Receptor
Xochitepec	Xochitepec	Regional	50	30	60.0	Lodos activados	Río Salado, afluente del río Apatlaco
		Dos Ríos	7	7	100.0	Lodos activados	Río Salado
Zacatepec de Hidalgo	Zacatepec de Hidalgo	Zacatepec	100	100	100.0	Lodos activados	Canal de riego
Total			1 786	1 098			

Q_{inst} : capacidad instalada.

Q_{op} : gasto de operación.

Cuadro 8.8. PTAR municipales fuera de operación en la cuenca del río Apatlaco.

Municipio	Localidad	PTAR	Q_{inst} l/s	Proceso	Cuerpo receptor	Inicio operación
Cuernavaca	Cuernavaca	Cd. Chapultepec	10	Tanque Imhoff	Arroyo Chapultepec	1980
		U. H. Los Laureles	8	Tanque Imhoff	Riego agrícola	2006
		U. H. Teopanzolco	38	Tanque Imhoff	Drenaje	1980
		U. H. Las Águilas	8	Tanque Imhoff	Arroyo Chapultepec	2006
		Sacatierra	4	Lodos activados	Barranca sin nombre	2016
Emiliano Zapata	Tezoyuca	Tezoyuca	15	Lodos activados	Canal lateral	2006
		Fracc. Las Garzas	0	Lodos activados	Canal	2007



Cuadro 8.8. PTAR municipales fuera de operación en la cuenca del río Apatlaco. (Continuación).

Municipio	Localidad	PTAR	Q _{inst} l/s	Proceso	Cuerpo receptor	Inicio operación
Jiutepec	Jiutepec	U. H. El Pochotal	1	RAFA	Barranca Puente Blanco	2011
		Tejalpa	14	Tanque Imhoff	Barranca La Gachupina	1980
Jojutla	Tequesquitengo	Tequesquitengo	6	Lodos activados		2015
Puente de Ixtla	Tilzapotla	Tilzapotla	0	Lodos activados	Presa E. Zapata	2010
Temixco	Temixco	Fracc. GEO Villas	0	Lodos activados	Canal Zapata	2007
		Ayuntamiento 2000	0	Anaerobio	Barranca Colorada	2007
		Acatlipa	0	Lodos activados	río Apatlaco	2011
	Cuentepec	Cuentepec 1	5	Aerobio	Sin nombre	2010
		Cuentepec 3	5	Aerobio	Sin nombre	2010
	San Agustín Tetlama	San Agustín Tetlama	2	Fosa séptica	Riego Agrícola	1980
	Col. La Parota	La Parota	12	RAFA	río Apatlaco	1980
Tlaltizapán	Huatecalco	Huatecalco	8	RAFA	Río Yautepec	1980
	Ticumán	Ticumán	9.7	RAFA	Río Yautepec	1980
Xochitepec	Alpuyeca	Alpuyeca	12	Anaerobio	Sin información	2012

De manera particular, la PTAR Acapatzingo, que da servicio a Cuernavaca, trató en promedio solamente 285 L/s; esto es, el 38% de su capacidad de tratamiento. En este caso específico, no llega suficiente agua residual a la planta porque el sistema de recolección es insuficiente (alcantarillado).

De manera global, las plantas operan al 61.5% de su capacidad de diseño; esto es, el 38.5% de la infraestructura no opera por diferentes situaciones. Así, durante 2016, en promedio se trataron 34 721 395 m³ de agua residual. Al contrastar este valor con el estimado de generación de agua residual en la cuenca en 2015, 67 684 081 m³ (Cuadro 8.4), el volumen de agua residual que no recibe tratamiento secundario es descargado sin tratamiento, o su disposición es mediante fosas sépticas, corresponde a un volumen de 32 962 686 m³; esto es, 48.7% del agua residual doméstica producida.

De esta forma, muchas de las descargas que oficialmente se contabilizan con drenaje y llegan al sistema de alcantarillado municipal no reciben tratamiento convencional. Estas descargas tienen dos tipos de disposición final:

- Se vierten sin tratamiento directamente a los cuerpos receptores por falta de colectores que las conduzcan a las plantas de tratamiento.
- Se disponen en fosas sépticas y luego se descargan a cuerpos receptores, o bien, infiltradas al subsuelo mediante pozos de absorción.





Figura 8.5. Descarga de agua residual tratada en la cuenca del río Apatlaco.



8.6. Estimación de GEI generados por las descargas de aguas residuales

De acuerdo con los lineamientos del IPCC, las emisiones de GEI producidas por las aguas residuales municipales dependen de la cantidad de desechos orgánicos generados por la población, así como de un factor de emisión que caracteriza la proporción en la que estos desechos generan metano, tipo de cuerpo receptor, temperatura y tipo de sistema de tratamiento que se aplique, cuando se aplica.

El índice de producción de metano aumenta con la temperatura, y esto es particularmente importante en los climas cálidos. Por debajo de 15 °C la producción significativa de metano es improbable, porque los organismos metanogénicos no están activos. Sin embargo, cuando la temperatura sobrepasa los 15 °C es probable que la producción de metano se reinicie. Esta situación es la que se presenta normalmente en el estado de Morelos, por lo que es muy probable que todo sistema de disposición o de tratamiento de aguas residuales que esté en condiciones anaerobias genere metano por la descomposición de la materia orgánica.

El factor principal para determinar el potencial de generación de metano a partir de las aguas residuales es la cantidad de materia orgánica degradable contenida en las aguas; en este caso, la demanda bioquímica de oxígeno (DBO). De acuerdo con las directrices del IPCC, se puede utilizar un valor de DBO por defecto, para algunos países y regiones del mundo. Se recomienda su utilización cuando no se dispone de datos específicos del país. Para el caso de México, se recomienda utilizar el valor promedio propuesto para América Latina; esto es, 40 g/persona/día.



Para determinar el factor de emisión de metano para cada vía de eliminación o tipo de tratamiento de las aguas residuales domésticas, se utiliza la Ecuación 8.1:

$$EF_j = B_0 FCM_j \quad \text{Ecuación 8.1}$$

En donde:

- EF = factor de emisión, kg de CH_4 /kg de DBO
- j = cada vía o sistema de tratamiento y/o eliminación
- B_0 = capacidad máxima de producción de CH_4
kg de CH_4 /kg DBO
- FCM_j = factor corrector para el metano

El valor recomendado por las directrices del IPCC es:

$$B_0 = 0.6 \text{ kg de } CH_4/\text{kg de DBO}, 0.25 \text{ kg de } CH_4/\text{kg de DQO}$$

Se aconseja que cuando no se tengan valores de *DBO*, sino de la demanda química de oxígeno (*DQO*), ésta se puede convertir en un valor basado en la *DBO*, multiplicándolo por un factor de 2.4. En el Cuadro 8.9 se presenta el valor del factor de corrección para el metano (*FCM*), conforme a las recomendaciones de las directrices del IPCC, y para cada sistema de disposición que se observó en la cuenca del río Apatlaco.

Como se mencionó anteriormente, el poder calorífico del metano es 28 veces superior al del bióxido de carbono (CO_2), por lo que es necesario considerar este factor. De esta manera, las emisiones que se calculan como kilogramos de metano deben multiplicarse por 28, para ser expresada en kilogramos de CO_2 equivalente (CO_2e).

Cuadro 8.9. Factor de corrección para el metano.

Vía, sistema de tratamiento y/o eliminación	<i>FCM</i>	Intervalo
Eliminación en barranca, río, lago y mar	0.1	0-0.2
Alcantarilla estancada	0.5	0.4-0.8
Alcantarilla en movimiento	0	0
PTAR centralizada - aeróbica	0	0 - 0.1
PTAR centralizado aeróbica (mal operada o sobrecargada)	0.3	0.2-0.4
Sistema séptico	0.5	0.5

Para la descarga a río o cañadas, en el caso concreto de la cuenca del río Apatlaco se utiliza un valor de $FCM = 0.2$, ya que los cuerpos receptores también presentan acumulación de basura y, como consecuencia, se presentan frecuentemente zonas anaerobias.

En el caso denominado “sin drenaje”, se consideró que el tipo de disposición es una letrina con un FCM similar al de la fosa séptica.

Cuando no está especificado (NE) el tipo de disposición, se asume que se descarga a una barranca.

Para el caso de descarga a una red pública, en el presente trabajo se considera que el factor de emisión (FCM) es de 0.1, ya que en principio se asume que la red pública conduce a una planta de tratamiento en operación, pero los sistemas de alcantarillado no tienen mantenimiento constante y en las plantas se pueden generar algunas emisiones en los sistemas por problemas de operación.

Solamente se encuentran en operación cuatro plantas con proceso anaerobio para el tratamiento de sus aguas residuales: Lomas de Cortés, Buenavista del Monte, Tres Marías y Miacatlán, pero sus caudales de operación son pequeños (8, 1, 5 y 8 L/s, respectivamente).



8.7. Estimación de la carga orgánica

Para la determinación de la carga orgánica, se considera un valor de DBO_5 de 40 gramos de DBO_5 /hab/d. En general, el Factor de Corrección por aporte industrial para la DBO es igual a 1.0, ya que se considera que la mayor parte de las aguas residuales es de origen doméstico.

Este Factor de Corrección I es igual a 1.25 cuando hay aporte industrial a la red de alcantarillado. En la zona de estudio, solamente se consideró que existe un aporte industrial para el municipio de Jiutepec, que alberga en su seno a la Ciudad Industrial del Valle de Cuernavaca, en cuyo caso la carga obtenida debe ser afectada por el Factor $I = 1.25$.

De esta manera, la materia orgánica biodegradable (MOD) en las aguas residuales domésticas por habitante, sin aporte industrial, se calcula de acuerdo con la Ecuación 8.2.

$$MOD = DBO * 0.001 * I * 365 \quad \text{Ecuación 8.2}$$

En donde:

$$\begin{aligned} MOD &= \text{materia orgánica biodegradable} \\ I &= \text{Factor de Corrección por aporte industrial, 1.25} \end{aligned}$$

Conversión de gramos a kilogramos = 0.001.

$$MOD = (40g/hab/d) * (0.001) * 1 * (365d)$$



Para la determinación de la carga orgánica generada por la población, se utilizó la población del Cuadro 8.3. La carga orgánica, directamente asociada al número de habitantes, se presenta en el Cuadro 8.10, y corresponde a 15 065 toneladas de DBO anuales, para la población asociada con la cuenca del río Apatlaco.

Cuadro 8.10. Estimación de la carga orgánica biodegradable generada por las descargas de aguas residuales de la población de la cuenca del río Apatlaco.

Población en la cuenca por municipio	Cuenca	Carga orgánica, DBO	
	habitantes	kg/d	t/año
Cuernavaca	366 321	14 652.84	5 348.29
Emiliano Zapata	93 524	3 740.96	1 365.45
Huitzilac	17 233	689.32	251.60
Jiutepec*	202 873	10 143.65	3 702.43
Jojutla	31 554	1 262.16	460.69
Puente de Ixtla	23 790	951.60	347.33
Temixco	111 846	4 473.84	1 632.95
Tlaltzapán	47 868	1 914.72	698.87
Xochitepec	25 510	1 020.40	372.45
Zacatepec	35 852	1 434.08	523.44
Miacatlán	534	21.36	7.80
Tepoztlán	14 084	563.36	205.63
Tlaquiltenango	10 153	406.12	148.23
Total	981 142	41 274.41	15 065.16

* Se aplicó el factor de corrección por aporte industrial, $I = 1.25$.

8.8. Estimación de las emisiones de metano a partir de la carga orgánica

Para cada tipo de disposición de las aguas residuales en cada uno de los municipios, se determinó la producción de metano a partir de la carga orgánica biodegradable y los factores de corrección de metano correspondientes (Cuadro 8.9).



Las emisiones anuales de metano estimadas para cada tipo de disposición se presentan en el Cuadro 8.11; su totalidad ascienden a 1 994.95 toneladas anuales. Es importante destacar que las emisiones son calculadas en función del tipo de servicio con que cuentan los habitantes y se consideró la población total: población conectada al drenaje con diferente tipo de disposición (red pública, fosa séptica, barranca o grieta, río o lago), población sin drenaje y población que no especifica (NE) el tipo de disposición de las aguas residuales que genera.

Cuadro 8.11. Estimación anual de las emisiones de metano, a partir de la carga orgánica biodegradable generada por la población de la cuenca del río Apatlaco.

Municipio	Tipo de disposición						Subtotal CH ₄ t/ año
	Red pública	Fosa séptica	Barranca, grieta	Río, lago	Sin drenaje	NE	
	<i>FMC=0.1</i>	<i>FMC=0.5</i>	<i>FMC=0.2</i>	<i>FMC=0.2</i>	<i>FMC=0.5</i>	<i>FMC=0.2</i>	
Cuernavaca	224.57	430.48	13.05	0.61	7.97	3.62	680.29
Emiliano Zapata	61.21	96.52	0.40	0.05	5.41	0.20	163.80
Huitzilac	0.83	67.05	0.30	0.00	3.19	0.13	71.50
Jiutepec	169.31	244.68	3.17	0.32	7.85	1.19	426.50
Jojutla	20.52	29.97	0.46	0.43	2.51	0.35	54.25
Puente de Ixtla	11.24	43.06	0.27	0.15	2.72	0.48	57.92
Temixco	76.32	79.85	8.13	1.07	4.26	0.46	170.10
Tlaltizapán	23.42	85.97	0.09	0.06	5.33	0.35	115.23
Xochitepec	8.86	62.93	0.42	0.01	2.78	0.26	75.26
Zacatepec	26.34	22.80	0.26	0.00	1.09	0.33	50.81
Miacatlán	0.15	1.48	0.00	0.00	0.11	0.00	1.73
Tepoztlán	1.24	51.01	0.16	0.00	3.90	0.07	56.38
Tlaquiltenango	5.58	13.80	0.32	0.25	1.15	0.09	21.18
TOTAL	629.59	1 229.59	27.03	2.94	48.27	7.53	1 944.95

Nota: las diferencias en las sumas totales se debe al redondeo de las cifras.

Como se indicó anteriormente, las emisiones calculadas como toneladas de metano deben multiplicarse por 28, para ser expresada en toneladas de CO₂ equivalente (CO₂e). Los resultados se presentan en el Cuadro 8.12. De esta forma, la estimación anual en la cuenca es de 54 458.56 de toneladas de CO₂ equivalente.

Cuadro 8.12. Estimación de las emisiones en toneladas de CO₂e/año, de acuerdo con el tipo de disposición de las aguas residuales.

Municipio	Red pública	Fosa séptica	Barranca	Río, lago	Sin drenaje	NE
Cuernavaca	6 287.90	12 053.30	365.52	16.97	223.20	101.35
Emiliano Zapata	1 713.99	2 702.62	11.09	1.52	151.46	5.74
Huitzilac	23.35	1 877.37	8.39	0.00	89.28	3.58
Jiutepec	4 740.56	6 850.98	88.73	8.89	219.68	33.24
Jojutla	574.67	839.23	12.85	12.12	70.40	9.76
Puente de Ixtla	314.65	1 205.67	7.46	4.12	76.28	13.49
Temixco	2 137.05	2 235.85	227.72	29.83	119.33	13.00
Tlaltizapán	655.68	2 407.18	2.60	1.77	149.25	9.86
Xochitepec	248.20	1 762.09	11.63	0.20	77.88	7.16
Zacatepec	737.41	638.46	7.26	0.00	30.41	9.12
Miacatlán	4.19	41.33	0.05	0.00	2.94	0.00
Tepoztlán	34.61	1 428.14	4.56	0.10	109.27	2.01
Tlaquiltenango	156.19	386.32	8.98	6.87	32.25	2.40
TOTAL	17 628.45	34 428.54	756.82	82.38	1 351.65	210.72

Nota: las diferencias en las sumas totales se deben al redondeo de las cifras.



Cuadro 8.13. Estimación de las emisiones en toneladas de CO₂e/año, a partir de la materia orgánica biodegradable, para 2015.

Municipio	t CO ₂ e/año
Cuernavaca	19 048.25
Emiliano Zapata	4 586.42
Huitzilac	2 001.98
Jiutepec	11 942.07
Jojutla	1 519.02
Puente de Ixtla	1 621.67
Temixco	4 762.77
Tlaltizapán	3 226.34
Xochitepec	2 107.15
Zacatepec	1 422.67
Miacatlán	48.52
Tepoztlán	1 578.70
Tlaquiltenango	593.01
TOTAL	54 458.57

Nota: las diferencias en las sumas totales se deben al redondeo de las cifras.

8.9. Estimación de las emisiones de óxido nitroso

Por otra parte, se estimó la producción de óxido nitroso, producto de la ingesta proteica de la población en general. El óxido nitroso (N₂O) está asociado con la degradación de los componentes nitrogenados en las aguas residuales; esto es: urea, nitrato y proteínas. En este sentido, se considera que la ingesta promedio de proteína en México para 2015 fue de 92.2 g/hab/día; es decir, 33.653 kg/hab/año (FAO, 2015).

Las emisiones directas derivadas de la nitrificación y desnitrificación en instalaciones de tratamiento de aguas residuales pueden considerarse fuentes menores. De acuerdo



con los lineamientos metodológicos del IPCC 2006 para tratamiento y eliminación de aguas residuales, el factor de emisión por defecto (EF_{efluente}) para emisiones de óxido nitroso en aguas residuales municipales domésticas con efluentes con nitrógeno es de 0.005 kg N_2O -N/kg N (considerando un intervalo: 0.0005-0.25).

El óxido nitroso es importante porque tiene un potencial de calentamiento de 265. Se considera que la fracción de nitrógeno contenido en la proteína (F_{NPR}) es de 0.16 kg de N/kg de proteína. Se considera que el factor de ajuste para la proteína no consumida es de 1.1, ya que es el valor por defecto para los países sin eliminación de basuras (trituradores de desechos), como es el caso de México.

De esta forma, las emisiones de óxido nitroso (N_2O) provenientes de las aguas residuales domésticas se pueden estimar como:

$$\text{Emisiones de } N_2O = N_{\text{efluente}} * EF_{\text{efluente}} * 44/28 \quad \text{Ecuación 8.3}$$

En donde:

$\text{Emisiones de } N_2O$ = emisiones de N_2O anual, en *kg de N_2O /año*.

N_{efluente} : = nitrógeno en el efluente eliminado en medios acuáticos, *kg de N/año*.

EF_{efluente} = factor de emisión para las emisiones de N_2O proveniente de la eliminación de aguas residuales, *kg de N_2O /kg de N*

El factor 44/28 corresponde a la conversión de kg de N_2O -N en kg de óxido nitroso.

Para determinar el nitrógeno total en el efluente se utiliza la Ecuación 8.4:



$$N_{\text{efluente}} = P * \text{Proteína} * F_{\text{NPR}} * F_{\text{NO-CON}} \quad \text{Ecuación 8.4}$$

En donde:

- N_{efluente} = cantidad anual de nitrógeno en las aguas residuales, kg de N/año
- P = población
- Proteína = consumo per cápita anual de proteínas, kg/persona/año (México = 33.653)
- F_{NPR} = fracción de nitrógeno en las proteínas, por defecto = 0.16 kg N/kg proteína
- $F_{\text{NO-CON}}$ = factor de proteínas no consumidas añadidas a las aguas residuales (restos de alimentos, agua de baño, lavado de ropa, etc.) y corresponde a 1.1 para México.

En el Cuadro 8.14 se presentan las estimaciones de emisiones de óxido nitroso y el valor correspondiente en toneladas de bióxido de carbono equivalente.



Cuadro 8.14. Estimación de las emisiones de N₂O y el equivalente en toneladas de CO₂e/año en la cuenca del río Apatlaco.

Municipio	Total habitantes	N ₂ O kg/año	N ₂ O t/año	CO ₂ e t/año
Cuernavaca	366 321	17 047.587	17.048	4 517.61
Emiliano Zapata	93 524	4 352.354	4.352	1 153.37
Huitzilac	17 233	801.977	0.802	212.52
Jiutepec	202 873	9 441.160	9.441	2 501.91
Jojutla	31 554	1 468.438	1.468	389.14
Puente de Ixtla	23 790	1 107.122	1.107	293.39
Temixco	111 846	5 205.010	5.205	1 379.33
Tlaltizapán	47 868	2 227.647	2.228	590.33
Xochitepec	25 510	1 187.166	1.187	314.60
Zacatepec	35 852	1 668.455	1.668	442.14
Miacatlán	534	24.851	0.025	6.59
Tepoztlán	14 084	655.431	0.655	173.69
Tlaquiltenango	10 153	472.493	0.472	125.21
TOTAL	981 142	45 659.691	45.660	12 099.818

8.10. Estimación de las emisiones totales anuales en la cuenca del río Apatlaco

En el Cuadro 8.15 se presentan las emisiones calculadas, de acuerdo con los lineamientos del IPCC y considerando los valores por defecto para los factores de emisión y de corrección. Estas emisiones totales, expresadas en toneladas de CO₂e, corresponden a la suma de las emisiones de metano y de óxido nitroso que genera la población asociada a cada uno de los municipios que conforman la cuenca del río Apatlaco (Cuadro 8.1), y se estiman en 66 558.38 toneladas de CO₂e anuales.



Cuadro 8.15. Estimación de las emisiones totales en toneladas de CO₂e en la cuenca del río Apatlaco.

Municipio	CO ₂ e de CH ₄ t/año	CO ₂ e de N ₂ O t/año	TOTAL CO ₂ e t/año
Cuernavaca	19 048.25	4 517.61	23 565.86
Emiliano Zapata	4 586.42	1 153.37	5 739.79
Huitzilac	2 001.98	212.52	2 214.50
Jiutepec	11 942.07	2 501.91	14 443.98
Jojutla	1 519.02	389.14	1 908.16
Puente de Ixtla	1 621.67	293.39	1 915.06
Temixco	4 762.77	1 379.33	6 142.10
Tlaltizapán	3 226.34	590.33	3 816.67
Xochitepec	2 107.15	314.60	2 421.75
Zacatepec	1 422.67	442.14	1 864.81
Miacatlán	48.52	6.59	55.10
Tepoztlán	1 578.70	173.69	1 752.38
Tlaquiltenango	593.01	125.21	718.22
TOTAL	54 458.56	12 099.82	66 558.38

8.11. Conclusiones

En Morelos, la fosa séptica es uno de los sistemas de tratamiento más comunes, dadas las características orográficas del estado y la falta de infraestructura municipal. La fosa séptica es un sistema de tratamiento que genera gran cantidad de emisiones, ya que el proceso de degradación que se lleva a cabo en ellas es de tipo anaerobio y el subproducto de este tratamiento es el metano, el cual es liberado a la atmósfera mediante tubos de ventilación (venteo).

Es importante resaltar que a escala de cuenca, casi 270 mil personas utilizan la fosa séptica como sistema de disposición de sus aguas residuales y, a escala estatal, no existe una estrategia que regule el mantenimiento de las mismas, ya que se debe realizar su limpieza al menos una vez al año. Una fosa séptica sin mantenimiento

puede generar el doble de emisiones que una fosa séptica en buenas condiciones de operación y mantenimiento.

El municipio que más emisiones genera es Cuernavaca, sobre todo debido a que cuenta con la mayor cantidad de población en la cuenca, pero también porque más del 27% de la población utiliza las fosas sépticas como sistema de disposición de sus aguas residuales. En el municipio de Huitzilac, más del 90% de la población utiliza también este sistema, pero la población es mucho menor. En promedio, se puede considerar que por la diferente proporción de los sistemas de disposición de las aguas residuales, cada habitante de Cuernavaca genera anualmente 64.331 kg CO₂e, mientras que uno de Huitzilac genera 128.503 kg de bióxido de carbono equivalente.

Por otra parte, es necesario resaltar que en esta estimación se consideró que todas las descargas que van a una red pública generan pocas emisiones porque son tratadas en una planta de tratamiento aerobia. En este contexto, se conoce que un porcentaje importante de estas descargas no cuentan con tratamiento, ya que faltan tramos de colectores que conduzcan las aguas residuales a los sistemas de tratamiento en operación. Es importante determinar qué volumen del agua colectada no recibe tratamiento y debe ser considerado como una descarga cruda que se vierte en un río o barranca.



También, se deben analizar las cargas orgánicas que llegan a los sistemas de tratamiento centralizados para contrastarlos con la carga orgánica generada por la población y, de esta manera, afinar la estimación de las emisiones.

Los factores de emisión propuestos por defecto por el IPCC permiten tener una estimación general de las emisiones generadas por las aguas residuales domésticas y los diferentes sistemas de tratamiento o eliminación, pero no consideran las condiciones particulares de la zona de estudio, por lo que se deben realizar estudios particulares para generar los factores de emisión y de corrección propios de cada región. Para ello, se deben tomar en cuenta las variables climáticas, las condiciones de operación y mantenimiento de los sistemas de tratamiento, así como las particularidades de los sitios de disposición de las descargas.

Asimismo, se debe analizar si el valor recomendado por el IPCC para determinar la carga orgánica generada por la población para América Latina (40 g/hab/d), no está subestimado y, de esta forma, proponer un valor acorde con las condiciones mexicanas actuales.

Por último, se deben analizar las condiciones reales de operación de la infraestructura de tratamiento para determinar y evaluar las estrategias de saneamiento de las localidades, no solamente en función de la mejora de la calidad del agua de los cuerpos receptores, sino también para determinar en qué medida se coadyuva con la disminución de las emisiones de los gases de efecto invernadero.



8.12. Bibliografía

Comisión Nacional del Agua (Conagua) (2016). *Manual de agua potable, alcantarillado y saneamiento. Datos básicos para proyectos de agua potable y alcantarillado*. México: Semarnat).

Comisión Nacional del Agua (Conagua) (2016). *Situación del Subsector Agua Potable, Drenaje y Saneamiento, Edición 2016*. México: Semarnat.

Comisión Nacional del Agua (Conagua) (2017). *Inventario Nacional de Plantas de Plantas Municipales de Potabilización y de Tratamiento de Aguas Residuales en Operación*. México: Subdirección General de Agua Potable, Drenaje y Saneamiento, Semarnat.

Comisión Nacional del Agua (Conagua) (2017). *Inventario de plantas de tratamiento de aguas residuales 2016*. Disponible en:

<https://agua.org.mx/biblioteca/catalogo-plantas-tratamiento-aguas-residuales-ptar-2016/> y <https://agua.org.mx/wp-content/uploads/2017/12/Inventario-de-plantas-de-tratamiento-de-aguas-residuales-PTAR-2016.xlsx>.

Consulta: septiembre, 2018.

Comisión Nacional del Agua (Conagua) (2018). Registro Público de Derechos de Agua (REPDA). Disponible en: <http://app.conagua.gob.mx/REPDA.aspx>. Consulta: 15 de agosto, 2018.

Foley, J.; Yuan, Z.; Keller, J.; Senante, E.; Chandran, K.; Willis, J.; Shah, A.; Van Loosdrecht, M., & Voorthuizen, E. (2015). *N₂O and CH₄ emission from wastewater collection and treatment systems: state of the science report and technical report*. GWRC Report Series. IWA Publishing. London, UK.



- Gobierno del Estado de Morelos (2015). Programa Estatal de Acción ante el Cambio Climático de Morelos. *Periódico Oficial Tierra y Libertad*, núm. 5268. Segunda Sección. Cuernavaca: Poder Ejecutivo del Estado de Morelos.
- Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA) (2007). *Plan Estratégico para la Recuperación Ambiental de la Cuenca del río Apatlaco*. Jiutepec: IMTA- Fundación Gonzalo Río Arronte.
- Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA) (2008). *La cuenca del río Apatlaco. Recuperemos el patrimonio ambiental de los morelenses*. Disponible en: http://centro.paot.org.mx/documentos/semarnat/cuenca_rio_apatlaco.pdf
- Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC) y Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (Semarnat) (2015). *Primer informe bienal de actualización ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático*. México: INECC/Semarnat.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (Inegi) (2016). *Tabulados de la Encuesta Intercensal, 2015*.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (Inegi) (2016). Estimadores de las viviendas particulares habitadas y su distribución porcentual, según disponibilidad de drenaje y lugar de desalojo por municipio. *Tabulados básicos*. México.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) (2013). *Climate change 2013: The physical science basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Stocker, T. F., D. Qin, G. K. Plattner, M. Tignor, S. K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex, and P.M. Midgley (Eds.). Cambridge, UK: Cambridge University Press.
- Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático (IPCC) (2006). Capítulo 6: Tratamiento



y eliminación de aguas residuales. Volumen 5: Desechos. *Directrices del IPCC de 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero.*

Zhan X., Hu Z., Wu G. (2018) *Greenhouse gas emission and mitigation in municipal wastewater treatment plants.* London, UK: IWA Publishing.





GESTIÓN LOCAL DEL AGUA PARA RIEGO EN LA ZONA PERIURBANA DE CUERNAVACA: APUNTES PARA EL DISEÑO DE POLÍTICAS DE CAMBIO CLIMÁTICO

Cipriana Hernández y Nora González

9

9.1. Resumen

El presente capítulo propone un análisis cualitativo de la gestión local agrícola de la zona periurbana de Cuernavaca, a fin de identificar algunos elementos clave que pueden apoyar la conformación de políticas de cambio climático. Con información recabada en campo mediante encuestas y entrevistas, y bajo una perspectiva de estudio de caso, se categoriza la vulnerabilidad de las zonas de riego en términos de sus condiciones de organización, gestión y problemas percibidos que han padecido con el agua sus usuarios más allá de los efectos de la variabilidad climática, encontrándose aspectos problemáticos estructurales relevantes en esta región.

Palabras clave: gestión local del agua, cambio climático, zonas de riego, Alto Apatlaco, Las Fuentes.

9.2. Introducción

El Alto Apatlaco y Las Fuentes son dos módulos de riego ubicados en la zona conurbada de Cuernavaca (ZCC), la más urbanizada y densamente poblada del estado de Morelos. Ambos fueron transferidos a sus usuarios y se ubican dentro del territorio que abarca la cuenca del río Apatlaco. Dichos módulos trabajan a través de asociaciones de usuarios (AU) y sus líderes han sido luchadores y defensores, desde la década de los años noventa, con objeto de mejorar sus condiciones productivas ante la contaminación del agua que se presenta en la región (Hernández-Arce, 2016). A pesar de ello, la urbanización y las condiciones políticas y de gestión del agua de estos módulos continúan manteniéndolos en un rezago estructural que da lugar a la siguiente pregunta: ¿las características de gestión local del agua que han experimentado los usuarios de los módulos Alto Apatlaco y Las Fuentes, los insertan en una condición de vulnerabilidad social ante los posibles efectos del cambio climático en esta región?

No es nuevo que en los últimos años el cambio climático ha cobrado gran relevancia; no sólo por sus causas, sino principalmente por el impacto que puede causar al ser humano y sus actividades económicas y productivas. Actualmente, el número de desastres relacionados con el clima ha tenido un significativo incremento. Las Naciones Unidas para la Reducción del Riesgo de Desastres ha informado que las inundaciones y tormentas muestran un fuerte incremento, pasando de treinta a sesenta eventos por año, a más de 150 en los últimos 13 años. La agricultura, por ende, está siendo afectada por este fenómeno debido a que depende en gran medida del comportamiento del clima y cambios ambientales (Hernández-Ramírez, Bonales-Valencia y Ortiz-Paniagua, 2014: 32). Pero, ¿son sólo los cambios en el clima el principal foco de atención en torno a los problemas de gestión local del agua que padecen los pequeños agricultores en el país?

Dado que existen todavía pocos estudios locales que reflejen el impacto de los efectos del cambio climático, sobre todo enfatizando las condiciones locales de gestión del agua y sus problemas subyacentes. El objetivo de este capítulo es mostrar que los problemas de gestión y organización relacionados con la urbanización de dos módulos de riego localizados en la zona periurbana de Cuernavaca, pueden ser factores clave en la posible implementación de cualquier política de cambio climático.

Para el análisis se retoma el concepto de “vulnerabilidad social”, que la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (Cepal) define en dos sentidos: uno, como la inseguridad e indefensión que experimentan las comunidades, familias e individuos en sus condiciones de vida, a consecuencia del impacto provocado por algún tipo de evento catastrófico de carácter traumático y, otro, en términos del manejo de recursos y estrategias que utilizan estas comunidades para enfrentar los efectos de dicho fenómeno (Pizarro, 2001).

De este concepto se considera principalmente la parte en que se admite explicar la vulnerabilidad en función de la capacidad de respuesta (o incapacidad) de los grupos para enfrentar un fenómeno catastrófico. Es decir, explicar la vulnerabilidad de las zonas de estudio por medio de valorar la capacidad y recursos existentes entre los grupos de personas que las conforman y sus prácticas de gestión del agua para llevar a cabo su actividad productiva. Sin, por ello, excluir el adecuado acompañamiento que debe existir de la política pública o de las autoridades responsables en cada contexto. Sin embargo, se debe admitir que, aun cuando no se tenga algún fenómeno catastrófico, las poblaciones tienen características, comportamientos o capacidades que pueden hacerlas vulnerables ante cualquier fenómeno. De aquí, que se parte de la idea de hacer un análisis *a priori* (antes de que exista o pudiera existir un fenómeno catastrófico relacionado con el cambio climático), valorando en especial la capacidad



que pueden tener los ejidatarios o agricultores de las zonas de estudio para hacer frente algún fenómeno ligado a la variación de la disponibilidad y calidad del agua.

El análisis, entonces, parte de información recabada en años anteriores a través de encuestas y entrevistas realizadas a ejidatarios sobre el manejo del agua en los módulos y sus problemas inherentes, bajo un análisis cualitativo de estudio de caso.

El trabajo que se presenta contiene un apartado donde se plantea la metodología utilizada en el manejo de datos, una caracterización de los módulos de riego analizados, otro más en que se muestran los resultados del análisis y, finalmente, las conclusiones y recomendaciones.

9.3. Metodología

Para llevar a cabo el análisis de datos se utilizó como referente metodológico el estudio de caso, partiendo de la idea de que cada grupo analizado (módulo de riego) es un acontecimiento particular dentro de la cuenca del río Apatlaco que puede describirse para tener un referente de comportamiento. Por lo tanto, cada caso se define como un sistema hidrosocial¹ con un funcionamiento y comportamiento propio dentro de la zona periurbana de Cuernavaca, pero restringido a ciertos límites territoriales (Tarrés, 2013). Dado que los estudios de caso no están limitados a una orientación de investigación; es decir, pueden emplearse tanto metodologías cuantitativas como cualitativas, en esta investigación se empleó la encuesta como fuente primaria de información, pero analizada desde una perspectiva indicativa y cualitativa.

¹ Por sistema hidrosocial se entiende la relación de los usuarios (ejidatarios y agricultores) con el agua, en términos de la gestión productiva y organizativa del uso que de ella tienen, en un determinado espacio o ámbito territorial.

Las encuestas fueron diseñadas y aplicadas en 2012 (Alto Apatlaco) y 2014 (Las Fuentes) con un objetivo común: establecer un panorama general de la relación de los habitantes de las zonas de estudio con el agua, su organización y funcionamiento y, en ambos casos, son intencionadas; es decir, no obedecen a una muestra representativa estadísticamente. La encuesta del Alto Apatlaco fue aplicada a 56 usuarios del módulo, mientras que la encuesta de Las Fuentes se aplicó a setenta usuarios. Los resultados se procesaron con el programa *SPSS (Statistical Package for the Social Sciences)*. La asociación de variables se realizó aplicando la prueba Chi-cuadrado de Pearson, resultando con un nivel de significancia en los casos que se muestran menor a 0.05, lo que indica que existe asociación entre variables.

La información obtenida ayudó a determinar las relaciones hidrosociales que se mantienen entre la ubicación territorial dentro de los módulos de riego con los factores que favorecen la opinión de los usuarios en torno al manejo del agua, organización, problemática y actividad productiva. La información se complementa con entrevistas a ejidatarios y funcionarios, y con recorridos de campo. Las herramientas posibilitaron la descripción de las zonas y permitieron establecer relaciones de asociación entre variables nominales. En cada caso la información se categorizó y definió para los fines de este trabajo.

9.4. Zonas de estudio

La ciudad de Cuernavaca conforma una zona conurbada junto con los municipios de mayor crecimiento y concentración poblacional del estado de Morelos: Cuernavaca, Temixco, Emiliano Zapata y Jiutepec; municipios que, en conjunto, sumaban una población de 796 094 habitantes en 2015, lo que representaba el 42% de la población



total de Morelos y más del 70% de la población que habita en la cuenca hidrológica del río Apatlaco (*Censo de Población y Vivienda, Encuesta Intercensal 2015, Inegi*). Desde hace más de 25 años, la ZCC ha experimentado un crecimiento acelerado que absorbió ejidos, pueblos y sistemas de riego, urbanizando la cuenca a la que pertenece hidrológicamente y produciendo un gran desequilibrio estructural reflejado en la contaminación, deterioro general de sus fuentes de agua y en relaciones sociohídricas desiguales (Hernández-Arce, 2016).

El interés en esta zona se encuentra en la interface constituida mediante la urbanización de zonas de riego contiguas a la ciudad, específicamente los módulos de riego Alto Apatlaco y Las Fuentes, los cuales han mantenido su actividad agrícola pese a ser receptores del agua contaminada generada en la ZCC. Ambos módulos, pertenecientes al Distrito de Riego 016 Estado de Morelos, trabajan mediante asociaciones de usuarios,² y se han urbanizado con base en la edificación de fraccionamientos cerrados para población de altos y medianos ingresos, conservando cultivos con agua residual y encapsulando terrenos agrícolas. Son lugares donde, históricamente, se concentra la conflictividad por la contaminación del agua en el estado de Morelos.

9.5. Módulo Alto Apatlaco

Está situado al sur de la ciudad de Cuernavaca y atraviesa los municipios de Cuernavaca, Temixco y Xochitepec. Este módulo ocupa la menor extensión de aquellos transferidos al Distrito de Riego 016, con una superficie para riego de 1 289 hectáreas (ha). Se conforma

² Esto implica que, a partir de la transferencia, los usuarios de los módulos de riego son los responsables de la operación, administración y conservación de la infraestructura hidráulica destinada al riego, quedando así, entonces, el papel del gobierno federal limitado al mantenimiento de la infraestructura de cabecera.

por cinco ejidos: Acatlipa, Alta Palmira, Temixco, Real del Puente y Alpuyeca, que trabajan con alrededor de 917 usuarios y recibe anualmente 38.59 hectómetros cúbicos (hm³) de agua en bloque. El agua proviene directamente del río Apatlaco y se les abastece por medio de cinco presas derivadoras y más de 60 km de canales.³ Los usuarios de este módulo se encuentran agremiados en la Asociación de Usuarios del Alto Apatlaco.

En este módulo predominan las agriculturas tradicional y de subsistencia. El 58% de las parcelas del módulo son menores a 2 ha, el 38% se encuentran entre 2 y 4 ha, y sólo el 4% de los usuarios tienen parcelas mayores a 4 ha de superficie. Los principales cultivos del módulo, en términos de área sembrada, son: caña de azúcar, arroz, maíz y rosas (estas últimas, concentradas en la parte alta del módulo). Algunos otros, que ocupan áreas más pequeñas, son: frijol, sorgo, algunos frutales, plantas ornamentales y hortalizas (tomates, pepinos, pimientos y chiles, variedad de calabacín, etc.) (Wellard, 2012).

Para el presente capítulo, los ejidos del Alto Apatlaco se han agrupado en dos zonas: la zona Alta, que comprende los ejidos de Acatlipa, Alta Palmira y Temixco, ubicados principalmente en el municipio de Temixco, y la zona Baja, conformada por los ejidos Real del Puente y Alpuyeca, municipio de Xochitepec (Figura 9.1). Cada ejido trabaja mediante la representación de un comisario ejidal, un presidente y un tesorero, aunque en la práctica existan algunos vacíos en su funcionamiento.

La zona Alta del módulo comprende la primera y segunda tomas del canal principal, que se abastece del río Apatlaco, y riega los ejidos de Temixco, Acatlipa y algunas parcelas del ejido Alta Palmira. En esta zona, el canal principal y la mayoría de los canales secundarios tienen un flujo continuo de agua, pero que varía en cantidad. Los agricultores cuyas tierras

³ Datos obtenidos de la Jefatura del Distrito de Riego 016 Estado de Morelos.



están cercanas a canales pueden regar sin consultar a nadie. En cambio, los usuarios más alejados de los canales y que no tienen un flujo de agua continuo se organizan en pequeños grupos. Cuentan con una torre de almacenamiento elevada a través de la cual distribuyen y regulan el agua para riego. En este lugar no se identifica alguna persona encargada de distribuir el agua y no es clara la forma en que los agricultores se organizan para recibirla. En algunos lugares de la zona existen deficiencias en la infraestructura para riego, porque se observa que no están equipadas con válvulas y los agricultores tienen que improvisar con rocas, tierra u otros materiales el flujo de agua hacia sus parcelas. Sólo en la segunda toma del canal principal existe una persona reconocida como canalero y responsable de la distribución del agua por medio del cierre y apertura de válvulas. En este lugar se encuentra la principal actividad económica y urbana.

La zona Baja del módulo parte de la tercera toma del canal principal. Por medio de una presa derivadora se riega el Ejido Real del Puente, ubicado en el municipio de Xochitepec. El canal primario del ejido conduce un flujo continuo de agua (con excepción de dos cortes por año, para limpieza general y mantenimiento básico). En este sitio no hay canalero, por lo que la distribución del agua se lleva a cabo por los mismos usuarios. Ellos se organizan en grupos pequeños para el uso de canales auxiliares. La velocidad del flujo del canal primario no garantiza el funcionamiento simultáneo de todos los canales auxiliares; por esto, los ejidatarios han optado por construir torres de almacenamiento elevadas para distribuir el agua.

Después, se encuentra la cuarta toma del canal principal, perteneciente al ejido Alpuyecá. Este es el cuarto y último canal del módulo e inicia al sur del ejido Real del Puente. Es el único canal que tiene una pequeña parte de parcelas de propiedad privada. En cuanto a la gestión de riego, no hay diferencia entre los ejidos y pequeños propietarios. Este canal tiene un canalero reconocido por los usuarios, el comisario

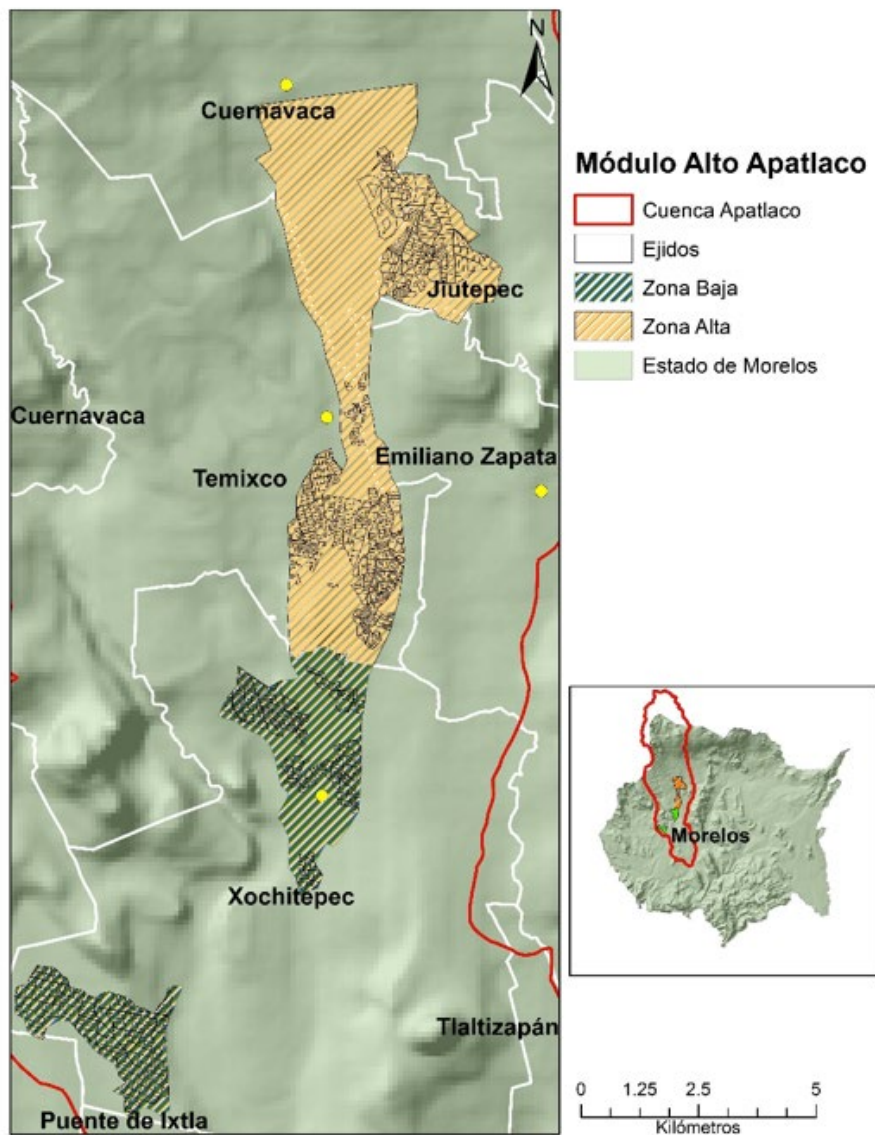


Figura 9.1. Módulo Alto Apatlaco y zonas que lo conforman.

Fuente: elaboración propia.



ejidal y la asociación del módulo, quien se encarga del funcionamiento de las válvulas de las redes primaria y secundaria. Los usuarios gestionan la distribución del agua en los canales terciarios. Los agricultores están organizados por campos y establecieron una rotación de cultivos comunes, pero hay excepciones en las que no se respeta. Todas las parcelas de un mismo campo se siembran de una misma forma, a fin de facilitar las operaciones de riego. La rotación habitual es de una plantación de caña de azúcar (seis-siete años) y uno o dos ciclos de arroz o maíz. El maíz se planta, a menudo, en asociación con calabacín o frijol. Dicha organización parece estar reconocida por todos los actores de esta área. La gestión agrícola de esta zona es mucho más activa que otras áreas identificadas del módulo. Los agricultores, el comisario ejidal y la delegación municipal también parecen estar más involucrados en la gestión y mejora de la agricultura de riego en la zona (Wellard, 2012).

9.6. Módulo Las Fuentes

Éste opera a través de la representación de su asociación: Unión de Usuarios Cuenca Las Fuentes (UUCLF). No se le reconocen obras de cabecera (presas) pero, a decir del presidente del ejido Emiliano Zapata, existe una pequeña presa que no funciona y se tiene el proyecto de rehabilitarla. El módulo comprende una superficie de 4 265 hectáreas y un padrón de 2 609 usuarios, según datos oficiales. El padrón de usuarios no ha sido actualizado, por lo menos, desde hace treinta años, de acuerdo con el presidente ejidal de Atlacholoaya, y puede variar en la práctica operativa del módulo, lo mismo que el volumen concesionado, que oficialmente es de 67 hm³, anualmente⁴.

⁴ Datos proporcionados en entrevista con el jefe del Distrito de Riego 016.

Cabe destacar que los líderes de los usuarios de este módulo y del Alto Apatlaco han sido voceros del rescate del río Apatlaco desde 1990. Forman parte de la Comisión de Cuenca del río Apatlaco (CCRA), conformada en 2008 para su rescate, y se coordinan con los representantes del módulo Agrosiglo XXI, para acuerdos.

Este módulo se conforma por 17 ejidos, abastecidos de agua para riego a través de canales a cielo abierto y tuberías, proveniente de los manantiales: Chapultepec, Cuauchiles, Las Fuentes, Palo Escrito, La Ciénega, San Ramón, Salado Santa Rosa; y de los ríos Dulce y Palo Escrito (barranca Tlahuapan). Como en el Alto Apatlaco, cada ejido se organiza mediante un presidente, un secretario y un tesorero.

La distribución de agua de los ejidos pasa, de norte a sur, por el territorio de los municipios de Jiutepec, Emiliano Zapata, Xochitepec y Tlaltizapán. El control y manejo del agua de la mayoría de los manantiales está a cargo de los ejidatarios del módulo, con algunas excepciones. Para fines de este trabajo, los ejidos de las fuentes se han agrupado en tres zonas: Alta, Media y Baja del módulo (Figura 9.2).



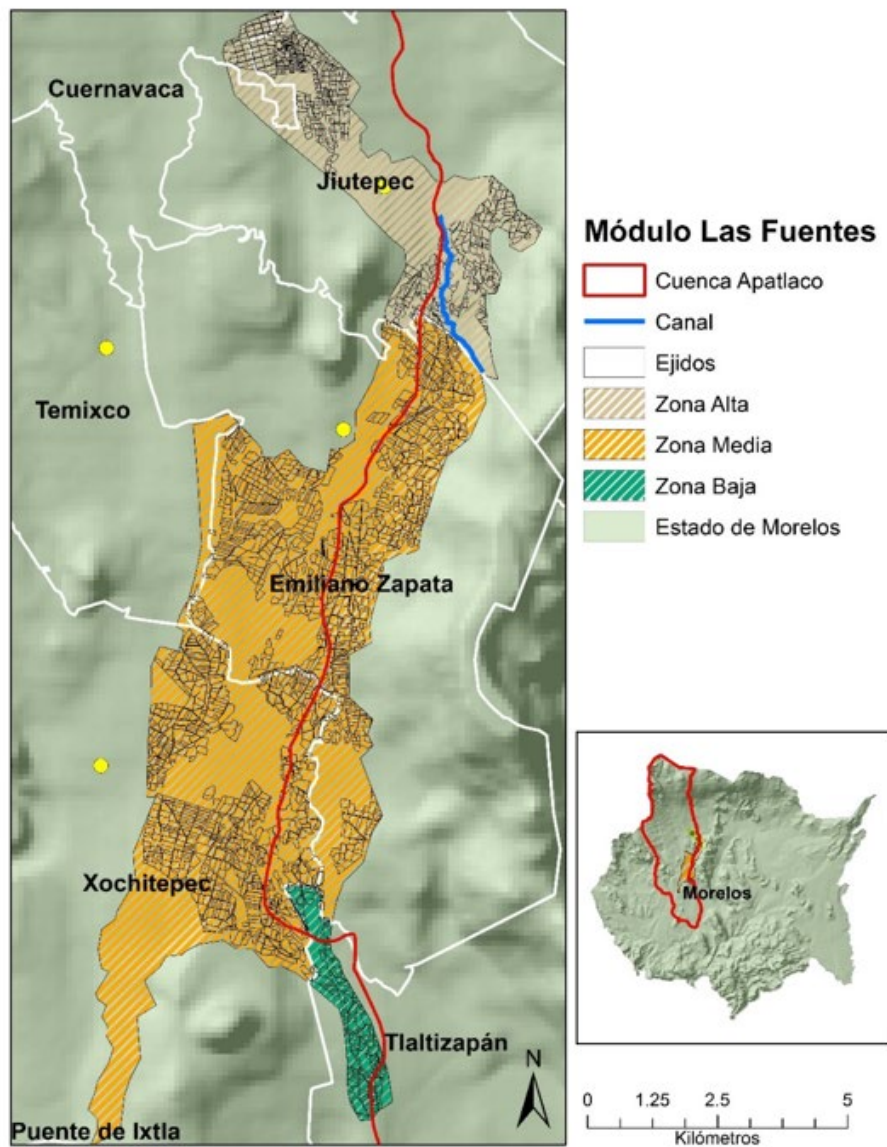


Figura 9.2. Módulo Las Fuentes y zonas que lo conforman.

Fuente: elaboración propia.

La zona Alta del módulo comprende siete ejidos: Tejalpa, Jiutepec, Progreso, Chapultepec, Acapatzingo, Atlacomulco y San Gaspar, y se ubica dentro de los municipios de Cuernavaca y Jiutepec. Sus principales fuentes de abastecimiento son los manantiales: Chapultepec, Las Fuentes y Cuauchiles. El control del agua de los manantiales Las Fuentes y Cuauchiles se encuentra a cargo de los ejidatarios, mientras que el manantial Chapultepec es manejado por el gobierno estatal. Esta zona es la más urbanizada de todo el módulo de riego. Sus fuentes de abastecimiento se ubican en los municipios de Cuernavaca y Jiutepec (uno, la capital y, el otro, el más densamente poblado del estado).⁵ En el municipio de Jiutepec se localiza, además, la Ciudad Industrial del Valle de Cuernavaca (Civac), el parque industrial más grande de Morelos, con alrededor de 150 empresas, principalmente farmacéuticas, alimentos y una planta armadora de autos (Figura 9.3).

En la zona alta del módulo domina el cultivo de plantas de ornamento y algunos invernaderos que siembran jitomate u otras hortalizas. El agua se distribuye a través de tubería para evitar la contaminación por descargas domésticas, principalmente, y del rastro ubicado en la cercanía (comentarios de entrevistas). La distribución del agua comienza en el manantial Chapultepec, uno de los más importantes de esta zona. La urbanización del lugar hace difícil visualizar el entramado de canales y apantles, ya que atraviesan casas y fraccionamientos. No obstante, se sabe que estos canales son utilizados para desalojar también las aguas residuales de casas, comercios y fraccionamientos. Las barrancas y algunos canales permanecen a cielo abierto, pese a su contaminación (Figura 9.4).

5 La densidad de población es de alrededor de 3,581 personas por kilómetro cuadrado. Este cálculo es con base en información del Marco Geoestadístico Municipal (superficies municipales) y datos de población del Censo de Población y Vivienda 2010 del Inegi.



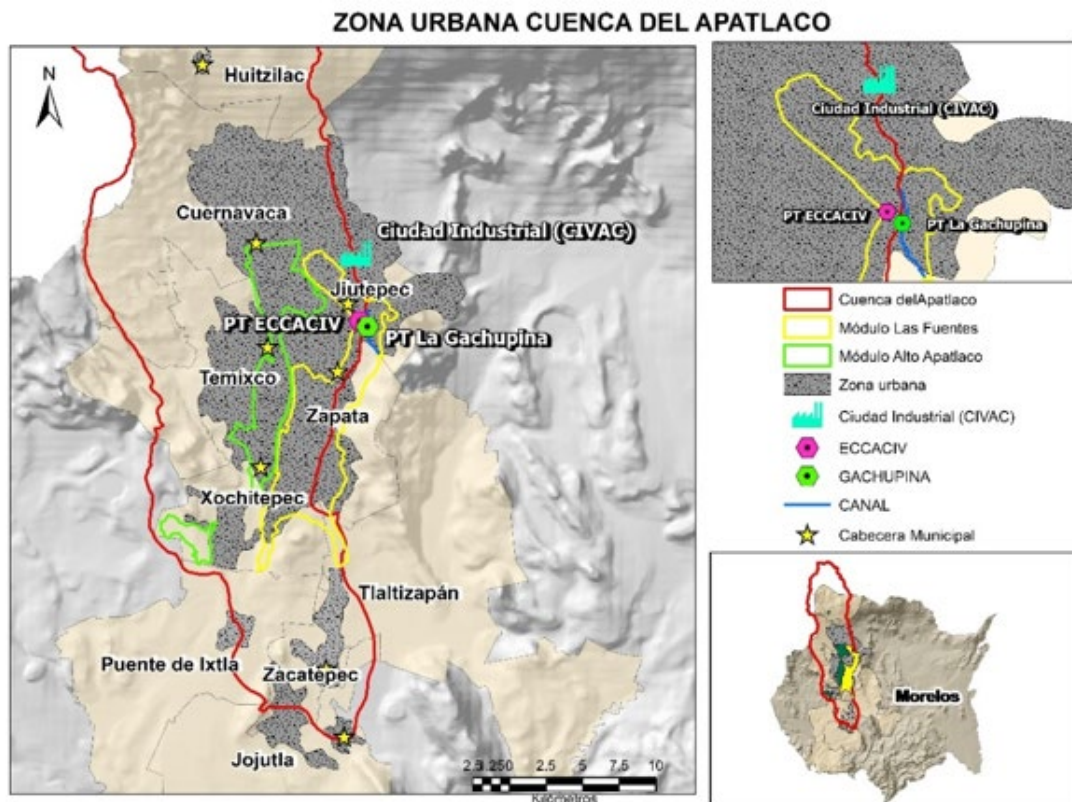


Figura 9.3. Zona periurbana de Cuernavaca.
Fuente: elaboración propia.

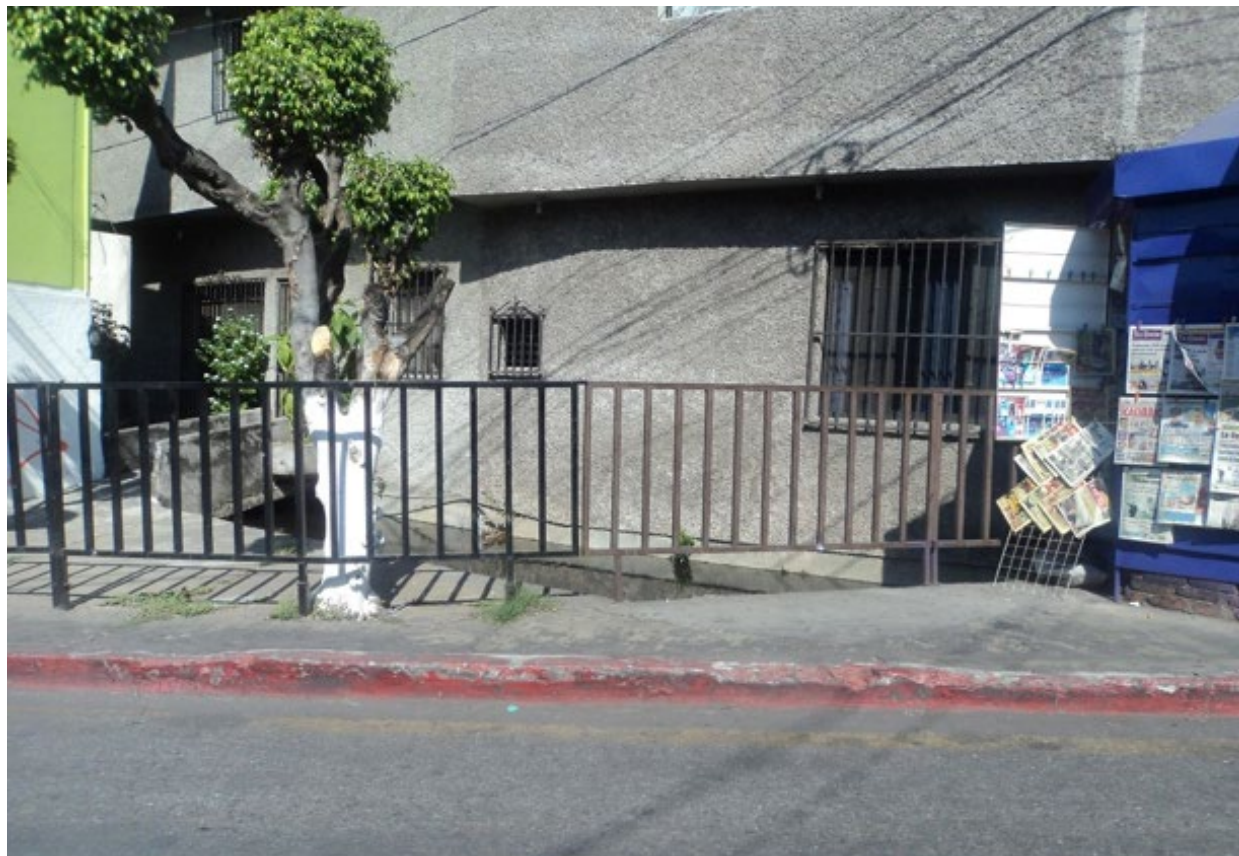


Figura 9.4. . Foto de la calle 10 de abril.
Fuente: elaboración propia.



El manantial Las Fuentes, el segundo más importante de esta zona, tiene una construcción de compuertas y canales que desembocan aguas abajo, alimentando los ejidos de Jiutepec, San Gaspar (o Cliserio Alanís) y Emiliano Zapata. En esta zona se encuentran dos plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR) importantes. La primera, Empresa para el Control de la Contaminación del Agua de Civac (Eccaciv),⁶ la única planta tratadora industrial de su tipo en Morelos, con una capacidad de 210 litros por segundo. Recibe las aguas residuales provenientes de Civac y parte del agua residual de origen doméstico de Jiutepec. La segunda es la planta de tratamiento es La Gachupina, puesta en operación en 2009, pero que se mantuvo sin funcionar por varios años debido a los altos costos de energía eléctrica, reanudando su operación en abril de 2015.⁷ Recibe entre 30 y 40% de las aguas residuales del centro de Jiutepec. Es una PTAR de lodos activados y tiene capacidad de 240 litros por segundo, pero trabaja al 55% de su capacidad (Conagua, 2013). Ambas conectan sus aguas tratadas al canal principal de Las Fuentes. A partir de este punto, la distribución del agua se hace a través de canales de tierra a cielo abierto, y el agua de este canal principal va a desembocar al río Yautepec, al oriente del estado.

La zona Media del módulo comprende el ejido Emiliano Zapata, el más grande del módulo ubicado en el municipio Emiliano Zapata el cual, en los últimos veinte años ha mantenido un alto crecimiento de casas y población. La principal fuente de abastecimiento de este ejido es el manantial Las Fuentes, que corre a través del río o canal principal que lleva su nombre y distribuye el agua en el ejido por medio de canales de tierra. Este ejido también recibe agua tratada de las plantas Eccaciv y La Gachupina. Los cultivos más importantes son arroz y caña, debido a las condiciones

6 Esta planta entra en operaciones en 1979 con un proceso biológico de tratamiento, y en 1993 se instaló un sistema de torres biológicas/Krofta (Procivac, 2016).

7 Datos del comunicado de prensa del gobierno municipal de Jiutepec (19 de abril, 2015).

de contaminación del agua, según lo comentado por los campesinos de esta zona. Pero, además del manantial Las Fuentes, el ejido recibe agua de los manantiales Palo Escrito y La Ciénega.

Los manantiales Palo Escrito y La Ciénega no son manejados por los ejidatarios. Palo Escrito pertenece a la familia Catalán y La Ciénega al fraccionamiento Paraíso Country Club, ambos en condiciones de propiedad individual o privada. El área aledaña al manantial Palo Escrito está prácticamente urbanizada. Varios ejidatarios mencionan que esto es una desgracia –porque esta era una de las zonas con la mejor tierra para cultivar, sobre todo hortalizas. A diferencia de la urbanización existente en el municipio de Jiutepec, esta es una zona de nuevos asentamientos. Su proceso de urbanización tiene entre 15 y 20 años, de acuerdo con la información recabada en entrevistas. Su atractivo principal fue su cercanía con la autopista México-Acapulco (secretario ejidal de Emiliano Zapata).

Las condiciones en que se encuentran los manantiales Palo Escrito y La Ciénega les da un carácter de propiedad individual, lo cual afecta a otros ejidatarios con derechos de agua; sobre todo a los más cercanos, quienes se quejan porque el volumen de agua que les llega es menor al correspondiente (de acuerdo con sus comentarios). Lo anterior, a causa de que el club de golf la acapara, o bien, porque la familia Catalán bloquea su flujo. Incluso mencionan que el agua no les llega en las mejores condiciones de calidad. Sin embargo, en torno a estos manantiales, se pueden observar contadas zonas para regar. Los ejidatarios que ahí viven utilizan el agua para criar mojarra o peces comestibles, especialmente para ofrecerlos o venderlos ellos mismos en pequeños restaurantes de la zona. También tienen canchas de fútbol que se rentan y algunos han instalado pequeños viveros con plantas ornamentales. Las zonas de riego son prácticamente inexistentes.



En la zona Baja del módulo se localizan los municipios de Xochitepec y Tlaltizapán, ambos en procesos paulatinos de urbanización. Aquí todavía se observan vastas extensiones agrícolas, donde el cultivo más sobresaliente es la caña, aunque en Atlacholoaya se tiene una importante producción de cebolla que se exporta a Europa (presidente ejidal de Tlacholoaya). Es una zona caracterizada por su productividad agrícola.

El abastecimiento de los cinco ejidos restantes del módulo Las Fuentes se identifica en un conjunto de manantiales ubicados sobre la Av. Emiliano Zapata, carretera federal Zapata-Xochitepec, entre los poblados de Chiconcuac y Xochitepec.

El manantial San Ramón, primero de este conjunto, se encuentra dentro del balneario que lleva su nombre. Dicho balneario parece tener las características de los balnearios de Jiutepec, pero en entrevistas con los comisariados de esta zona no se menciona alguna relación con ellos y la administración del balneario, aunque se sugiere alguna lógica de manejo ejidal. Le sigue un jardín exclusivo de nombre Rincón Dorado, que absorbe manantiales de la zona y, por último, el manantial Salado Santa Rosa, localizado dentro de una hacienda, la cual parece también ser un aprovechamiento individual. En cada uno hay una estructura de canales que derivan agua a los ejidos de Chiconcuac, Xochitepec, Atlacholoaya, Tetecalita, San Miguel 30 y Santa Rosa 30. Los canales que riegan a estos ejidos son de tierra a cielo abierto. Durante las entrevistas, no se mencionaron problemas directos con las fuentes de abastecimiento. La preocupación de esta zona, principalmente, radica en la construcción continua de fraccionamientos que comienzan a invadir el paso de agua de los canales, así como el incremento de la venta de terrenos por parte de los ejidatarios.

En el recorrido no se identifican mediciones de calidad del agua. Los ejidatarios no tienen control o conocimiento al respecto, incluso tampoco miden el volumen de agua que

les llega o utilizan. La gran mayoría lo miden o saben que tienen un volumen específico porque les llega a través del canal o tubería, los que se diseñan con una estructura y dimensiones específicas, asumiendo que es la cantidad de agua que les corresponde. La limpieza y mantenimiento de canales los hacen los propios campesinos, organizados por su comisariado ejidal, cada dos o tres meses, y la distribución del agua, en algunos casos, se hace mediante canaleros, por parte del comisariado, o contratando a alguna persona. Las compuertas principales son vigiladas por la Jefatura del distrito, por medio de visitas. La asociación de usuarios recoge las cuotas que cada ejidatario tiene que pagar por el uso del agua, vigila la infraestructura de riego y es interlocutor ante las autoridades del agua para buscar soluciones a los problemas de todo tipo que surgen.

9.7. Resultados

El análisis de datos parte del supuesto de que la adaptación de los agricultores de las zonas de estudio a la variación climática puede ponerlos en peligro frente a eventos adversos, como son inundaciones, sequías y heladas, entre otros, derivadas de un aumento o disminución drástica en los volúmenes de agua de lluvia poco predecible. Lo anterior, por el grado de vulnerabilidad relacionada no únicamente con los recursos con que cuentan los agricultores, como áreas de riego, infraestructura o tecnología, sino también con su capacidad de organizarse y gestionar sus problemas de agua, y la manera en que ellos perciben sus problemas.

Por esta razón, para el análisis se plantean tres categorías explicativas:

1. La vulnerabilidad organizativa, desde el punto de vista de cómo los usuarios de los módulos realizan sus actividades y gestionan sus problemas ante las autoridades.



2. La vulnerabilidad en la percepción de sus problemas; es decir, qué es lo que realmente les preocupa y cuáles son los puntos deficitarios para llevar a cabo su actividad.
3. La vulnerabilidad en torno a su actividad productiva.

Conforme a estas categorías y con datos obtenidos, se muestran los resultados asociativos de la ubicación de los ejidatarios en cada módulo, en función de otras variables que permitieron visualizar rasgos distintivos en cada caso y categoría. Usar la ubicación, como variable dependiente, parte de la hipótesis de que la organización, problemas y actividad productiva varían en función del lugar territorial que ocupan dentro de cada módulo. Lo anterior, con objeto de tener un referente que, luego, podría asociarse además con condiciones del clima o manejo del territorio. Como se mencionó desde un inicio, los resultados que se presentan tienen validez estadística de asociación.

9.8. Vulnerabilidad organizativa

Ambos módulos, el Alto Apatlaco y Las Fuentes, mantienen con el agua un modelo organizacional tradicional representativo del trabajo comunitario ejidal. Dividen sus tierras y funciones en ejidos y trabajan por medio de sus representantes ejidales. Además, los presidentes de cada asociación de usuarios tienen dentro de sus funciones ser interlocutores ante las autoridades para atender los problemas de agua, tierra y productividad agrícola. Sin embargo, el módulo Las Fuentes es tres veces más grande que el Alto Apatlaco y mantiene una organización mucho más sólida que este último.

La representatividad y liderazgo de la asociación se concibe como una forma de establecer un vínculo entre quienes padecen o viven los problemas y quienes podrían

ofrecer o apoyar una solución (autoridades). Pero, ¿los líderes o presidentes de las asociaciones de usuarios de ambos módulos mantienen una real representatividad ante los ejidatarios?

Por ejemplo en Las Fuentes, cuando se les preguntó a los agricultores si estaban registrados en la asociación de usuarios, 58% respondió que sí; más de la mitad de la muestra. A la pregunta de si pagan una cuota por el agua, el 78% aseguró hacerlo (es importante aclarar que una de las funciones de la asociación es cobrar esta cuota), pero cuando se les preguntó para qué se empleaba, el 55% respondió no saberlo y los comentarios de los que afirmaron saberlo fueron tan dispersos que no se puede confiar en dicha respuesta. A pesar de ello, cuando se les pidió calificar la labor o gestión que realiza la asociación; es decir, si es mala, buena o regular, se registraron los siguientes resultados (Cuadro 9.1).

Cuadro 9.1. La gestión de las asociaciones de usuarios Las Fuentes, por su ubicación.

Zona	Gestión de la Asociación de usuarios en Las Fuentes (2014)			Total
	Mala	Regular	Buena	
Alta	0.0%	15.7%	21.6%	37.3%
Media	17.6%	23.5%	5.9%	47.1%
Baja	7.8%	7.8%	0.0%	15.7%
Total	25.5%	47.1%	27.5%	100%

Fuente: Elaboración propia.



La opinión de los usuarios de Las Fuentes sobre el trabajo o gestión que desempeñaba la asociación de usuarios indica que es “regular” (47%). Pero la relación establecida entre la ubicación del usuario y su opinión refleja algunas variantes importantes a resaltar. Los datos empíricos muestran una excepción en lo que respecta a los usuarios de la zona Alta del módulo, al indicar que la gestión de la asociación es considerada como “buena”, mientras que para los usuarios de las zonas Media y Baja es “mala”. Esto sugiere una falta de representatividad de asociación de usuarios ante los usuarios.

El presidente de la asociación de usuarios de Las Fuentes era el representante del módulo de Las Fuentes, Alto Apatlaco y Siglo XXI en la CCRA, y allegado en ese momento al Ing. Javier Orihuela, quien hacía campaña para las elecciones de presidentes municipales y diputaciones para el Partido del Trabajo, teniendo como bandera política el ambiente, mediante el rescate de manantiales y del río Apatlaco, en Morelos. En varias ocasiones, durante los recorridos de campo, se pudo constatar que él junto con los comisariados ejidales de Jiutepec y Chapultepec, acordaban salidas de campaña con el Ing. Javier Orihuela.

Lo anterior causaba molestia entre los ejidatarios. Algunos comisariados ejidales comentaron que la asociación trabajaba no para solventar sus problemas, haciendo énfasis en que ellos no tenían tuberías (como los de la zona Alta) para obtener el agua que les correspondía (como algo que les garantizaría tener el agua en cantidad y calidad), sino que lo hacían para obtener peldaños políticos.

En el caso particular del Alto Apatlaco, sus usuarios veían como la principal responsabilidad de la asociación de usuarios el cobro del agua (48% de los encuestados), siguiéndole en importancia la distribución del agua, con el 20%. Lo cual indica que, para los agricultores, la asociación de usuarios representaba principalmente un “ente



que cobra el agua". En cuanto a la gestión de la asociación de usuarios opinan, en un 41%, que la gestión es "mala", y el 34%, que es "regular". Es decir, que en opinión de los usuarios de este módulo, es deficiente el trabajo de la asociación.

Especialmente en el Alto Apatlaco, para los usuarios encuestados, el mayor problema de la asociación es que no hacía nada visible (39% de encuestados) y, en segundo lugar (35%), una falta de interés o que no tiene recursos financieros y administrativos. Por lo tanto, el trabajo deficiente de la asociación para los encuestados se debía fundamentalmente a que ellos no veían palpablemente los trabajos de la asociación, o no veían resueltos sus problemas a través de la asociación (reforzando la idea de la no representación de intereses).

En ambos módulos predomina una estructura política organizativa corporativa que funciona como un doble flujo: les ha permitido expresarse en un momento crítico (históricamente, por problemas de contaminación), pero los mismos representantes se han incorporado al juego político local, sin que esto implique un proceso político contestatario, sino más bien un ciclo de búsqueda de autonomía como regantes y de subalternidad, así como dificultades para lograr acciones colectivas coherentes.

Entre las mismas organizaciones de agricultores se han mantenido prácticas institucionalizadas de manejo de compuertas, tiempos de riego y sanciones. Lo que no han podido sostener es una organización integrada en ambos módulos, ya que pesan aquí las formas de representación corporativa en donde la presidencia del módulo ha correspondido a individuos que se destacan por su incorporación al juego político local, su vinculación con partidos políticos y, en gran medida, a su diferenciación del resto de agricultores, como se puede advertir en los resultados.



Si bien no es posible considerar que la organización de los módulos sea un punto de vulnerabilidad para la generación de lineamientos de política de cambio climático, sí es importante apuntar que, de acuerdo con algunos expertos, las reformas y programas tienden a fracasar por la falta de convencimiento local, imposición externa forzada o la captura de líderes o autoridades por grupos de interés especial, políticos o empresas (Hantke-Domas y Jouravlev, 2011).

9.9. Vulnerabilidad por los problemas con el agua

En los sistemas analizados prevalecen varios manantiales y fuentes de abastecimiento relativamente independientes, por lo que el flujo de agua es continuo y naturalmente con sus variaciones estacionales, teniendo por lo tanto una demanda libre de agua. A diferencia de los sistemas de riego del Bajío o del norte del país, aquí no existe una infraestructura mayor que controlar, por lo que el ejercicio de autoridad de cuánta agua toca a cada sección corresponde principalmente a la organización local. Asimismo, la toma de agua, a lo largo del sistema, es con base en esta organización, generalmente un comité y responsables por toma, lo que coincide con la división de ejidos. Por ello, el manejo del agua persiste en cuanto al control local, por laxo que sea, bajo un arreglo comunitario-ejidal. Pese a esto, el proceso de expansión urbana sobre áreas de riego es una de las principales amenazas para ambos módulos, lo cual los hace cada vez más vulnerables ante los problemas por el agua.

Los agricultores se ajustan a la variación en la disponibilidad de agua y cambian sus orientaciones productivas para redistribuir el agua antes que realizar acciones



colectivas. Su problema principal ha sido la calidad, pero persiste una preocupación por la cantidad (Cuadro 9.2).

Cuadro 9.2. Problemas en Las Fuentes, por ubicación.

Zona	Problemas en módulo Las Fuentes (2014)				Total
	Abastecimiento de agua	Contaminación del agua	Conflictos entre usuarios	No hay problemas	
Alta	13.89%	6.94%	2.78%	11.11%	34.72%
Media	9.72%	20.83%	1.39%	18.06%	50.00%
Baja	2.78%	4.17%	6.94%	1.39%	15.28%
Total	26.39%	31.94%	11.11%	30.56%	100.00%

Fuente: elaboración propia.

El Alto Apatlaco se proyecta aún más vulnerable, principalmente en la zona Alta (la más urbanizada), donde la organización no es clara entre sus agremiados y persiste la pérdida de terrenos por venta o abandono (Cuadro 9.3).

Cuadro 9.3. Problemas del Alto Apatlaco, por ubicación.

Zona	Problemas en módulo Alto Apatlaco (2012)			Total
	Con el agua (contaminación y abastecimiento)	Gestión agrícola	Conflictos entre usuarios	
Alta	47.27%	18.18%	10.91%	76.36%
Baja	7.27%	16.36%	0.00%	23.64%
Total	54.55%	34.55%	10.91%	100%

Fuente: elaboración propia.

El proceso de urbanización de la cuenca se presenta con una dinámica difusa a la organización de los agricultores, ya que las decisiones de muchos de ellos para la



venta de terrenos no pasa por la organización del riego y, en todo caso, se ha dado de forma progresiva pero constante. Esto afecta, también de forma progresiva, el funcionamiento de los canales, por lo que van perdiendo operatividad secciones de riego, como ocurre en canales cerca de vías de paso, donde se les entuba o se les instalan descargas, generalmente clandestinas.

9.10. Vulnerabilidad productiva

La vulnerabilidad productiva se caracteriza por relaciones económicas que reorientan el cambio de cultivos, y eventualmente a la venta de terrenos (por urbanización) o al cambio en la actividad productiva (llenado de pipas, campos de futbol, cultivo de mojarra, entre otras).

Los resultados en Las Fuentes permiten visualizar más claramente que este proceso ha estado acompañado de un cambio de estrategias productivas, de la producción de cultivos tradicionales de la región, como arroz y caña de azúcar, ahora se tiene un giro hacia los cultivos ornamentales (zona Alta, Cuadro 9.4).

Cuadro 9.4. Actividad productiva en Las Fuentes, por ubicación.

Zonas	Actividad principal del uso de agua en Las Fuentes			Total
	Agrícola	Ornamentales	Otras	
Alta	13.7%	15.1%	6.8%	35.6%
Media	46.6%	1.4%	1.4%	49.3%
Baja	15.1%	0.0%	0.0%	15.1%
Total	75.3%	16.4%	8.2%	100%

Fuente: elaboración propia.



La caña es uno de los cultivos más resistentes al agua contaminada, por lo que es una de las razones para sembrarla. Aunado a esto, se identifica además la existencia de variedades de arroz que, a través de pruebas realizadas, se ha logrado hacerlas más resistente al agua contaminada en esta zona, conforme a los comentarios externados por parte del presidente y secretario del ejido Emiliano Zapata; condiciones que muestran la adaptación de los agricultores al uso de agua de mala calidad.

No obstante, la siembra de caña como cultivo preponderante en el módulo está ligado también al Ingenio Emiliano Zapata (IEZ), como se puede observar en el resultado de las encuestas: 55% los agricultores se encuentran asociados comercialmente al IEZ, quien es la organización que los financia y compra sus productos (Figura 9.5). Ello, de algún modo, hace cuestionar si la siembra de caña es producto de la contaminación, o bien, de la necesidad de un mercado prácticamente monopolizado por el ingenio.

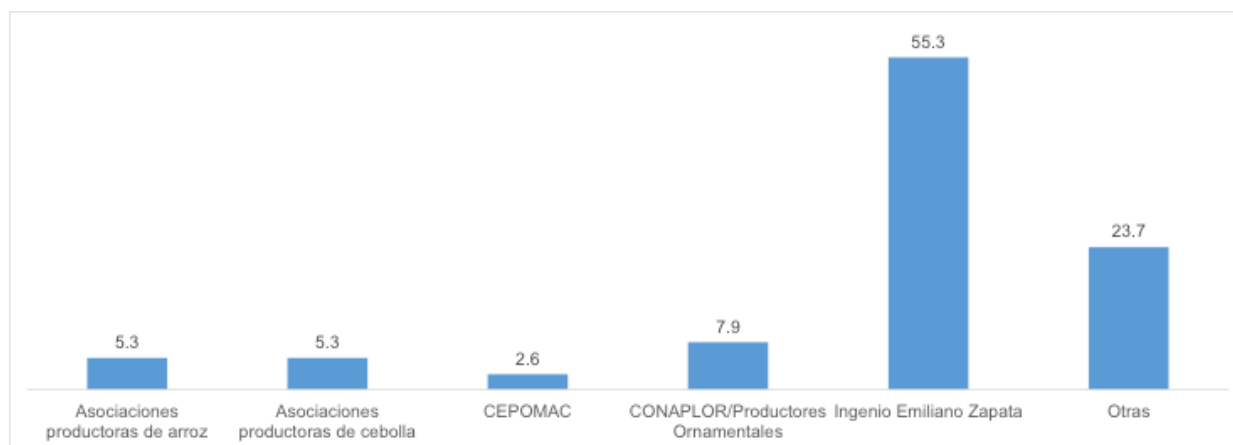


Figura 9.5. Asociaciones comerciales en Las Fuentes.

Fuente: elaboración propia.



En el Alto Apatlaco, el cambio en la estrategia productiva se da con la siembra de rosas en la zona más urbanizada (Cuadro 9.5).

Cuadro 9.5. Actividad productiva en el Alto Apatlaco, por ubicación.

Zonas	Actividad productiva Alto Apatlaco				Total
	Rosas	Arroz	Caña	Hortalizas	
Alta	56.36%	14.55%	0.00%	5.45%	76.36%
Baja	0.00%	3.64%	18.18%	1.82%	23.64%
Total	56.36%	18.18%	18.18%	7.27%	100%

Fuente: elaboración propia.

Además existe, entre los agricultores del Alto Apatlaco, una opinión diferenciada con relación al uso de agua residual para riego. El 45% de los encuestados lo veían como algo negativo, mientras que el 30% como algo positivo y, el resto, lo planteaba como un problema de la gestión de las autoridades. Entre los argumentos de aquellos que lo consideraban negativo están: afectación a la salud de los agricultores y consumidores, impacto en el ambiente, limitación de producción e incremento de costos; mientras que entre los aspectos positivos se mencionó: no afecta la producción, o bien, que podría mejorarse. En cuanto a los restantes, plantean que el uso de agua residual responde a un mal manejo por parte de las autoridades, las cuales no tienen interés en mejorar sus condiciones.

9.11. Conclusiones y recomendaciones

Los módulos analizados tienen una larga historia agrícola, pero en las últimas tres décadas han presentado un proceso acelerado de urbanización anárquica y caótica,



sin planeación, mostrando usos del suelo permitidos en las diferentes áreas de la zona agrícola. Esta falta de planeación y gestión ha tenido consecuencias en la situación agrícola, el agua y, en general, para el desarrollo económico y social de la región.

Con base en la pregunta: ¿las características de gestión del agua que han experimentado los usuarios de los módulos Alto Apatlaco y Las Fuentes, los insertan en una condición de vulnerabilidad social ante los posibles efectos del cambio climático en esta región?

Es posible afirmar que los módulos Alto Apatlaco y Las Fuentes presentan algunas características que los colocan en una condición de vulnerabilidad ante los efectos adversos del cambio climático. Una de las más importantes es su urbanización constante, que hace que las zonas agrícolas vayan desapareciendo, generando problemas de conductividad del agua y una paulatina pérdida de la capacidad natural del terreno. Existe entonces un riesgo latente de que existan, con la variabilidad en el clima, avenidas de agua más grandes que puedan ocasionar daños a las zonas de riego, así como a las zonas habitacionales asentadas.

De otro lado, la construcción de casas genera una competencia para los agricultores por el uso del agua. Algunos asentamientos habitacionales se han instalado precisamente en el paso de canales provocando conflictos. Un punto clave, entonces, es establecer una política de cambio climático que considere la protección a zonas agrícolas y de recuperación.

En ambos módulos persiste la necesidad de una estrategia de reconversión más adecuada a las necesidades productivas y económicas de los agricultores, dado que muchos de ellos tienen una producción de supervivencia, lo que ha generado venta de terrenos. Esta reconversión podría hacerse con base en una estrategia de cambio



climático que permita un proceso adaptativo de las zonas, lo cual podría generarles beneficios productivos y económicos.

Es necesario, además, fortalecer la capacidad de organización de los agricultores con el fin de que los programas o beneficios puedan verse reflejados hacia el interior.

En el análisis presentado falta profundizar sobre cuáles serían los escenarios previstos en la región para establecer las estrategias más convenientes bajo las características encontradas, así como bajo una mirada de datos actualizados. Sin embargo, el trabajo realizado permitió visibilizar ciertos aspectos, como las relaciones de poder en la gestión local del agua, y algunas estrategias que podrán resultar más adecuadas y convenientes en este camino de encontrar lineamientos de política de cambio climático a escala local.

9.12. Bibliografía

- Chodorowski, M. (2014). *¿Cómo se gestiona, en un contexto urbano, el sistema de riego del módulo Las Fuentes, perteneciente al Distrito de Riego 016 en el estado de Morelos, México?* Francia: Istom.
- Conagua (2013). *Inventario Nacional de Plantas Municipales de Potabilización y de Tratamiento de Aguas Residuales en Operación*. México: Conagua.
- Conagua-IMTA-Gobierno del Estado de Morelos (2008). *Programa Hídrico Estatal de Morelos Visión 2030*. Jiutepec, Morelos.
- Hantke-Domas, M., & Jouravlev, A. (2011). *Lineamientos de política pública para el sector de agua potable y saneamiento*. Santiago de Chile: Cepal.

- Hernández-Arce, C. (2016). *Construcción social de la contaminación del agua como problema público en la cuenca del río Apatlaco*. México: Universidad Autónoma del Estado de Morelos.
- Hernández-Ramírez, C., Bonales-Valencia, J., & Ortíz-Paniagua, C. F. (2014). Modelos de vulnerabilidad agrícola ante los efectos del cambio climático. *Revista CIMEXUS*, 9(2), pp. 31-48.
- Pizarro, R. (2001). *La vulnerabilidad social y sus desafíos: una mirada desde América Latina*. Santiago de Chile: Cepal.
- Tarrés, M. (2013). *Observar, escuchar y comprender sobre la tradición cualitativa en la investigación social*. México: El Colegio de México.
- Wellard, J. (2012). Los cambios en la agricultura al enfrentar el desarrollo urbano: un estudio de caso de riego periurbano el Alto Apatlaco en Cuernavaca Morelos, capital del estado. *Memoria de fin de estudios*. Francia: Escuela Superior de Agronomía y Desarrollo Internacional, STOM.





EL ARREGLO INSTITUCIONAL PARA LA GESTIÓN DEL AGUA EN LA CUENCA DEL RÍO APATLACO, ANTE EL CAMBIO CLIMÁTICO

Alejandra Peña, Sergio Vargas Velázquez, Denise Soares y Lydia Meade Ocaranza



10.1. Resumen

El presente capítulo plantea los retos que las instituciones encargadas de la gestión del agua en la cuenca del río Apatlaco tienen frente al cambio climático. Es un nuevo desafío que cuestiona la pertinencia de la Gestión Integral de los Recursos Hídricos y su aplicación a escala de cuenca, ya que la experiencia reciente documenta los fallidos intentos para lograr acuerdos sostenidos y vinculantes para la gestión del agua en la cuenca.

No obstante, el nuevo reto que representa el cambio climático para los recursos hídricos de la cuenca del Apatlaco también podría convertirse en una oportunidad de probar nuevos arreglos institucionales encabezados por actores no gubernamentales, capaces de proponer acuerdos que atiendan las problemáticas más apremiantes que se enfrentan en la cuenca.

Palabras clave: arreglos institucionales, cuenca del río Apatlaco, cambio climático, GIRH.



10.2. Introducción

La problemática del agua es cada vez más compleja. Persisten las crecientes presiones socioeconómicas y demográficas, así como la competencia entre grupos de interés por los recursos hídricos, lo cual lleva a seguir ampliando las extracciones de agua y a la necesidad de transferir volúmenes y derechos entre usos, usuarios y regiones hidrológicas. También se extiende el deterioro y alteración de los recursos hídricos en cantidad y calidad, lo cual reduce aún más la disponibilidad de agua para necesidades humanas y de conservación ambiental, provocando que en varias regiones hidrológicas del país la disponibilidad de agua ya sea nula.

A este panorama pesimista, pero real, se suma el impacto del cambio climático. De acuerdo con el IPCC:

... los registros de observaciones y las proyecciones climáticas aportan abundante evidencia de que los recursos de agua dulce son vulnerables y pueden resultar gravemente afectados por el cambio climático, con muy diversas consecuencias para las sociedades humanas y los ecosistemas (Bates *et al.*, 2008).

Sin embargo, en México persiste un enfoque de mayor intervención del ciclo hidrológico (ampliación de la oferta) para resolver esta creciente variabilidad espacial y temporal del agua, aunado a que también, en distintas regiones, se han visto ya rebasados sus límites hidrológicos. Para ello, se pueden considerar tres tipos de razones fundamentales: la primera es la fuerte tradición centralizadora y de gestión del agua



orientada a la economía, que caracteriza a la hidrocracia¹ mexicana, la cual, durante la mayor parte del siglo pasado concentró la autoridad y las decisiones en política hídrica a escala federal como un medio para intervenir en el desarrollo regional, en un modelo de implementación de arriba hacia abajo. Esta tradición se transformó a partir de la implementación de la Gestión Integral de los Recursos Hídricos (GIRH), mas no se disolvió, en tanto la autoridad federal a través de la Comisión Nacional del Agua (Conagua) sigue concentrando la autoridad y funciones (Sánchez, 2008) con hidrocracias estatales y locales alineadas en cuanto a puntos de vista generales con la federal.

En segundo término se encuentra la organización social en torno al agua, con una gran diversidad de grupos, organizaciones y actores, en donde coexisten organizaciones de carácter comunitario, comités de usuarios de servicios de agua potable o riego con grupos de interés económico, tales como industriales o grandes empresas de servicio emplazadas en áreas metropolitanas que buscan asegurar su acceso al agua a costos reducidos, sin asumir las externalidades que producen sus actividades. Estas asimetrías de poder, formas de acción colectiva y apropiación del agua –sea como bien común o mercancía–, a distintas escalas de actuación, complejiza cualquier intervención en el ciclo hidrológico y, al mismo tiempo, favorece a los grupos de interés y organizaciones más influyentes en el entorno urbano.

La tercera razón es la manifestación del cierre hidrológico (Molle *et al.*, 2010), consistente en la asignación de toda la disponibilidad del agua para el uso humano,

¹ La hidrocracia son los grupos técnicos de ingenieros con una orientación económica y política que conforman una organización burocrática, la cual no es neutra en cuanto a sus valoraciones e intereses (Treffner *et al.*, 2010: 254).



por lo que en regiones hidrológicas toda el agua que circula en ellas ya ha sido concesionada, llevando a la necesidad de cubrir la creciente demanda de agua por medio de trasvases. El acceso al agua se convierte en una de las estrategias de aseguramiento –*securitization*–, tanto de entidades gubernamentales como grupos de interés y organizaciones sociales, siendo las respuestas de las organizaciones sociales la defensa del agua y territorio, que se opone a las transferencias de agua y la participación de capital privado en la gestión del recurso.

Investigadores de la Universidad de Oregón (Kramer *et al.*, 2013) sobre los conflictos internacionales por el agua, establecen que si las instituciones son incapaces de asimilar y hacer frente eficazmente a los cambios de disponibilidad del agua – sea por efecto de las políticas públicas imperantes o el cambio climático–, los conflictos resultarán insuperables, ya que a escalas nacional y local no es la falta de agua la que lleva al conflicto, sino la manera en que se le gobierna y administra. Son las instituciones encargadas de la gestión del agua las que deben equilibrar los intereses contradictorios, en cuanto a su adjudicación y hacer frente a la escasez de agua.

En el presente capítulo, los arreglos institucionales derivados de la implementación de la GIRH para atender las problemáticas del agua se revisan bajo el paradigma de gestión y a escala de la cuenca del río Apatlaco, reconociendo sus limitaciones, avances y pendientes. A partir de ello, se analiza y cuestiona la capacidad de los arreglos institucionales existentes en la gestión del agua para hacer frente al nuevo riesgo y reto que representa el cambio climático, y cómo el entramado institucional creado a partir de la política pública de cambio climático podría fortalecer el actual paradigma de la gestión del agua en México, planteando novedosas estrategias, o bien, sólo contribuyendo a hacerlo más denso e inoperante.



10.2.1. La Gestión Integrada de los Recursos Hídricos

Para enfrentar la compleja problemática del agua, desde hace varias décadas se han implementado políticas públicas que pretenden regular adecuadamente el uso que se hace del recurso desde el enfoque de la llamada “Gestión Integrada de los Recursos Hídricos” (GIRH).

La GIRH, como paradigma de gestión del agua, trata de integrar los diversos intereses relacionados con el uso y manejo de los recursos hídricos, aplicando principios de equidad y conservación. Como su nombre lo indica, imprime coherencia a los intereses vinculados con el uso, control, aprovechamiento, preservación y sostenibilidad de los sistemas hídricos (GWP, 2009).

La GIRH, considerada desde una perspectiva multidisciplinaria, comprende el manejo del agua superficial y subterránea, en sentidos cualitativo, cuantitativo y ecológico, vinculando la disponibilidad con las necesidades y demandas de la sociedad asociadas con el agua. Está orientada a la construcción de una plataforma común en la que todos los sectores que usan el agua vinculen sus intereses, en un plano de coordinación transversal de asignación de agua (cantidad), con un enfoque que cambia de la explotación o aprovechamiento a la conservación y uso racional del recurso, así como de la gestión de oferta a la gestión de demanda.²

La GIRH ha atraído críticas desde sus primeros planteamientos, los cuales se han ampliado considerablemente a partir de este siglo, al contar con distintas experiencias

2 Mientras que la gestión de la oferta se basa en una política de incrementar la oferta del agua sin tener en cuenta la necesidad de una gestión sostenible de los recursos disponibles, la gestión de la demanda fomenta una mejor gestión de los recursos hídricos, con el establecimiento de un conjunto de medidas que ayuden a reducir el consumo insostenible de agua, liberando recursos para el ambiente y la conservación (Rieta, 2000).



en diferentes contextos de implementación, tanto en países desarrollados como emergentes; democracias consolidadas como en regímenes de distinto grado de autoritarismo, así como en disímiles condiciones de estrés hídrico y conflictividad por los recursos hídricos.

Uno de los aspectos más criticados es la vaguedad del concepto. Al igual que la gobernanza y la sostenibilidad, la GIRH es un “concepto de Nirvana” (Molle, 2008), en el que las personas pueden invertir sus esperanzas y temores porque es muy elástica y amorfa (Biswas, 2004). Esta elasticidad expone el concepto a cargos por carecer de características que nunca debió tener (Placht, 2007), y críticas acerca de la falta de claridad de lo que significa en la práctica o lo que se necesita para implementarla con éxito (Watson *et al.*, 2007).

Como resultado, ha habido muy poco acuerdo sobre cuestiones fundamentales como qué aspectos deben integrarse, cómo, por quién o, incluso, si dicha integración, en un sentido más amplio, es posible. Sus críticos más ardientes argumentan que su “impacto para mejorar la gestión del agua”, en el mejor de los casos, ha sido marginal (Biswas, 2004). En general, se ha dado énfasis a las reformas políticas e institucionales a escalas tanto nacional como de cuenca, con un enfoque específico en la gestión de la demanda; es decir, una mejor gestión y el uso compartido de los recursos hídricos entre los usuarios.

Las reformas e implementación de la GIRH han sido tardadas, complejas y costosas, mientras que los beneficios anunciados aún no se han visto. Esto no es solo lo que dicen los escritos críticos de los estudiosos, sino también la opinión de algunas instituciones multilaterales. Tal vez hemos estado esperando demasiado, demasiado pronto. En el caso mexicano, se destacan algunos documentos, como el de la Organización para la



Cooperación y el Desarrollo Económicos (OECD, 2013), así como una amplia literatura sobre los problemas de gestión de cuencas y acuíferos, y sus conflictos asociados.

A escala local, se puede esperar que las agencias del agua en muchos países “en desarrollo” luchen por establecer sus propias formas de interpretar e implementar la GIRH, siguiendo las formas establecidas de manejo en el plano local, adaptándose a sus capacidades limitadas para constituir estructuras organizacionales y normativas como las que se proponen en los distintos documentos de organismos internacionales. Esto cuestiona por qué el enfoque de GIRH deba ser más o menos el mismo en cada país (Lankford y Hepworth, 2010).

Las agencias de gestión de cuencas totalmente operativas y con recursos constituyen un proyecto que aún requerirá décadas de desarrollo en muchos países. Mientras esto sigue adelante, ¿se pueden promover los objetivos de GIRH de otras maneras? Cuando las reformas de GIRH son lentas y requieren tiempo, ¿pueden las formas más apropiadas a las condiciones locales o regionales de GIRH lograr mejoras significativas en la gestión del agua?

En los enfoques modernos sobre la gestión del agua, así como aquellos diseñados para enfrentar los conflictos sociales que inevitablemente surgen de su uso, se plantea la necesidad de que haya un reconocimiento público de las diferentes percepciones, organización social y prácticas en el aprovechamiento de los recursos hídricos. También, de que para manejar el agua se requiere de un enfoque que reconozca la naturaleza de su distribución espacial, lo que genéricamente se conoce como “cuenca hidrológica”, las cuales son de muy diverso tamaño y definición, de acuerdo con las necesidades y determinaciones de cada arreglo institucional. En algunos países, como México, se prefiere trabajar con grandes regiones hidrológicas, con un enfoque de arriba hacia abajo. En otros países, tal



vez por sus propias características, se han establecido unidades de gestión del agua que vendrían a ser microcuencas en la clasificación mexicana, con un enfoque de abajo hacia arriba. En las instancia de gestión del agua ahora se busca crear las condiciones y el espacio para la participación de la sociedad, que permitan integrar valores, intereses y expectativas sociales respecto al uso de un determinado recurso en las decisiones de gestión, así como generar los arreglos institucionales capaces de procesar los conflictos por el agua con base en las técnicas de negociación, mediación o arbitraje, con comunicación y diálogo entre quienes toman las decisiones y los afectados. En México ha dominado la visión de la hidrocracia federal, la cual, por su imposibilidad de llegar de manera efectiva y eficaz al plano local, deja abierto un enorme espacio a la eventualidad de las fuerzas sociales desplegadas realmente en los paisajes hídricos,³ lo que se está expresando en la incapacidad para frenar el deterioro hidrológico y gestionar la conflictividad por el agua.

10.3. La GIRH y el arreglo institucional del agua en la cuenca del río Apatlaco

En la cuenca del Apatlaco la presión de los recursos hídricos es una realidad, así como también la situación respecto al papel del estado y la sociedad. Esta cuenca se caracteriza por un acelerado proceso de urbanización y la diversidad de actividades económicas que ahí se realizan, lo que ha llevado al rápido deterioro de la calidad del agua, impactando considerablemente sus distintos usos. Una de las expresiones de esta situación es la multiplicidad de conflictos que existen en torno al recurso, así

³ Expresa cómo la sociedad y la naturaleza siempre se entrelazan para producir híbridos sacionaturales, destacando las dimensiones de quien controla, quien actúa y quien tiene el poder, como elementos centrales en la transformación de la dinámica sistémica (Karpouzoglouy Vij, 2017).



como importantes retos para el ordenamiento de los usos del agua. En la cuenca también existe una diversidad de formas de acceso y uso del recurso que caracterizan al estado de Morelos y a otras entidades del centro del país, principalmente.

Por un lado hay un importante, aunque decreciente, sector agrícola, el cual mantiene su organización social y productiva de tipo comunitaria en torno a las fuentes de abastecimiento de agua, tratando de adaptarse a la rápida urbanización de la cuenca. Por el otro, la necesidad de mayores volúmenes de agua potable y el creciente volumen de agua residual sin tratamiento hace que el área conurbada de Cuernavaca influya negativamente sobre las condiciones de acceso y calidad del agua en el área periurbana.

Esta situación, que pudiera calificarse “crisis hídrica”, por una parte denota la falta de información básica y de conocimiento respecto al arreglo institucional y a la gestión del agua con un enfoque integral, que permita el desarrollo de políticas públicas consensuadas entre todos los interesados, a fin de atender las complejas problemáticas y, por otra, urge una mayor atención e involucramiento con base en información y conocimiento de todos los actores y usuarios, de todos los niveles socioeconómicos, ya que la sustentabilidad del recurso solo puede lograrse mediante la cooperación de todos y con un serio compromiso hacia la educación que transforme su relación con el agua y permita reconciliar diferencias para propiciar la participación. La buena voluntad no es



suficiente para cubrir los requisitos y valores necesarios para una gestión sustentable del agua.

Aunque todas las cuencas tienen elementos similares, cada una es singular debido a sus características geográficas, biológicas, históricas y culturales, pero a pesar de su excepcionalidad, invariablemente en todas ellas las diferencias entre sus usuarios del agua pueden acentuarse con facilidad cuando se presentan conflictos por el recurso. Una decisión para resolver un problema relacionado con el agua puede incrementar las diferencias entre usuarios con distintos valores y necesidades, y tener profundas raíces sociales, políticas, culturales y ambientales que, incluso, pueden resonar en el ámbito internacional. La educación en materia de agua, en general, puede proveer principios útiles como punto de partida; sin embargo, también se requiere educación específica y relevante para cada cuenca en particular, dirigida a todos los usuarios.

La implementación de la GIRH en la cuenca del Apatlaco registra una experiencia muy compleja pero valiosa, que es preciso tener como referencia para atender uno de los nuevos retos: el cambio climático y su impacto en los recursos hídricos.

En el marco de la GIRH, la coordinación entre los distintos intereses y demandas alrededor del agua se concreta por intermediación de los órganos de participación social; entre ellos, las comisiones y comités de cuenca. Resulta relevante retomar el proceso histórico de creación y consolidación de la Comisión de Cuenca de la Cuenca del Apatlaco, en aras de brindar elementos de análisis sobre la construcción de soluciones para la severa problemática que la aqueja.



10.4. Orígenes de la Comisión de Cuenca del río Apatlaco

A principios de la década de los años noventa, los problemas de salud pública por el consumo de agua potable tuvieron en México índices elevados –de los más altos del mundo–, por lo que el Ejecutivo federal instituyó, en abril de 1991, el Programa de Agua Limpia, con objetivos y estrategias específicas para garantizar que el recurso hídrico fuera de calidad adecuada para consumo humano.

El brote de cólera que se vivió en nuestro país –y muy especialmente en el estado de Morelos– puso el acento en la calidad de las aguas con la que se abastecía el uso público-urbano y al agua para riego. La aplicación de la normatividad, desde octubre de 1993, impidió el uso de las aguas del río Apatlaco para riego de hortalizas y productos hortofrutícolas, medidas que según la Asociación de Usuarios Río Alto Apatlaco, afectaron a más de 18 000 ha de productores morelenses y dejaron sin empleo a más de 100 000 personas ocupadas en la producción de hortalizas (Orihuela, 1997).

Dicha situación promovió que se pusiera en marcha el Programa Salvemos al Apatlaco, impulsado por el gobierno estatal, cuya finalidad era lograr el saneamiento del río para que sus aguas pudieran ser utilizadas en el riego de hortalizas. Fue entonces que se propuso la formalización de una Comisión de Coordinación en la Cuenca, contando con el respaldo técnico de profesionistas integrados en un comité de apoyo a dicha Comisión. Se planteó que la Comisión fuera un subcomité especial en la Comisión de Planeación de Desarrollo Estatal (Coplade) y que tuviera los siguientes objetivos en el mediano plazo:



- Promover una cultura ecológica en la población.
- Elaborar un plan de manejo integral por municipio.
- Elaborar un plan de ordenamiento ecológico para las tres zonas que componen la cuenca.
- Establecer un programa de desarrollo regional sustentable de la cuenca para resarcir el daño e impulsar proyectos, sin causar impacto ambiental negativo, tanto en lo urbano como en lo rural (Orihuela, 1997).

Lamentablemente, el programa no alcanzó los objetivos para el cual fue creado y tempranamente fue abandonado. Sin embargo, este primer movimiento en pro de un manejo incluyente del recurso dejó importantes enseñanzas, no solo acerca de la capacidad de movilización e influencia de los grupos sociales organizados en torno a un bien público, sino porque trajo a la conciencia de la ciudadanía los impactos causados por el uso del agua en las grandes ciudades, y a la autoridad en la materia, la de escuchar y acompañar a los distintos sectores de la sociedad.

Con el antecedente organizativo del Programa Salvemos al Apatlaco, aunado a la problemática generada por un programa agresivo de construcciones de unidades habitacionales en la conurbación de la ciudad de Cuernavaca, el problema del agua para el campo resurgió con más fuerza, ya que ahora no solo era la calidad del agua la que estaba impactando al sector agrícola y a la salud de la población, sino además se estaba registrando la venta de tierras ejidales con dotación de agua de riego.

La urbanización de zonas de riego implicó la modificación de algunas estructuras del sistema de riego y un mayor número de descargas hacia el río y canales de riego. Tal situación obligó a retomar el programa de saneamiento del río Apatlaco mediante dos estrategias principales: 1) integración de la Comisión Intersecretarial e Intersectorial para el Saneamiento Integral de la Cuenca del río Apatlaco, e 2) inversión



en infraestructura de saneamiento en los municipios que descargaban sus aguas residuales sin tratamiento en la cuenca del río Apatlaco.

El gobernador en turno del estado anunció, el 28 de febrero de 2007, la integración de la Comisión Intersecretarial e Intersectorial para el Saneamiento Integral de la Cuenca del río Apatlaco, dando a conocer que participarían todas las fuerzas políticas, diputados federales y locales, los diez alcaldes de los municipios pertenecientes a la cuenca y funcionarios federales. Asimismo, durante la inauguración de la presa Barreto, ubicada en el municipio de Zacualpan de Amilpas, el 22 de marzo del mismo año, el entonces presidente de la República, Felipe Calderón, anunció el apoyo al saneamiento de la cuenca del río Apatlaco, comprometiendo para ello un monto igual al aportado por el gobierno del estado, a través de los programas federalizados operados por la Comisión Nacional del Agua.

10.5. Conformación de la Comisión de Cuenca del río Apatlaco

El gobierno del estado de Morelos solicitó al presidente del Consejo de Cuenca del Río Balsas, el 23 de mayo de 2007, la conveniencia de instalar un órgano consultivo de concertación y participación de autoridades, usuarios del agua y sociedad en general, con el objeto de contar con cuerpos de agua limpios que permitan el equilibrio armónico en el medio ambiente, la salud, las actividades productivas y de esparcimiento, así como la recuperación del medio ambiente de la cuenca del río Apatlaco.

En la ciudad de Oaxaca, durante la XXX Sesión del Grupo de Seguimiento y Evaluación del Consejo de Cuenca del Río Balsas, celebrada el 30 de mayo de 2007, se aprueba



por unanimidad la integración de la Comisión de Cuenca del río Apatlaco, conforme a la Ley de Aguas Nacionales. El 19 de julio de 2007, se firmó el convenio para la creación de la Comisión Intersecretarial e Intersectorial Saneamiento Integral del río Apatlaco, cuya estructura organizacional se presenta en la Figura 10.1.



Figura 10.1. Estructura de la Comisión de Cuenca del río Apatlaco.

Fuente: Ceama Morelos (2007). Avances de la Comisión de Cuenca del río Apatlaco. XXXI Sesión del Grupo de Seguimiento y Evaluación. Taxco, Gro., 24 de agosto de 2007.

La innovación de la estructura consistió en la presencia de los diez presidentes municipales que tienen territorio en la cuenca. Se consideró que con esta acción se tendría un mayor compromiso por parte de ellos y se podrían articular mejor las inversiones y las políticas públicas en torno al saneamiento de la cuenca. Para compensar este número de representantes gubernamentales y evitar la sobrerrepresentación, se asignaron más vocalías a los distintos usos: el sector primario quedó representado por cinco vocales, uno de uso en acuacultura, uno de pecuario y tres agrícolas, lo que representa el 31% de los vocales usuarios.

Posteriormente, el Organismo de Cuenca Balsas llevó a cabo diversas actividades para instalar la Comisión de Cuenca del río Apatlaco, que tuvo como objetivo acciones de acercamiento e inducción con los usuarios de las aguas nacionales que inciden en la cuenca, incorporando la participación de la sociedad y los tres órdenes de gobierno mediante la conformación de comités de usuarios de la cuenca, que permitieron la elección de un órgano directivo y los respectivos vocales por uso de la Comisión. Entre las actividades realizadas se destacan las siguientes:

- Se identificaron, a través del Registro Público de Derechos de Agua de la Conagua, los usuarios de las aguas nacionales por uso del agua.
- Se delimitó la cuenca hidrológica y localización de los aprovechamientos superficiales y subterráneos.
- Con el apoyo de los presidentes municipales, titulares de las diferentes dependencias federales y estatales, organizaciones, cámaras, industriales y de servicios, entre otros, se identificaron los usuarios de las aguas nacionales, actores sociales que tenían alguna representatividad relevante, para llevar a cabo reuniones de acercamiento, sensibilización y promoción de la importancia de la participación de los usuarios en la Comisión de Cuenca y de la política hídrica de la misma.



- Se invitó a todas las personas físicas o morales que exploten, usen o aprovechen aguas nacionales superficiales o del subsuelo en el ámbito geográfico de la cuenca hidrológica del río Apatlaco, a participar en la Asamblea de usuarios con el objeto de elegir a sus representantes en la Comisión de Cuenca del río Apatlaco.

El 17 de agosto de 2007, en las instalaciones del Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA) se llevó a cabo la Asamblea para la elección de representantes usuarios, cuyos objetivos fueron: constituir los comités de usuarios de las aguas nacionales del estado de Morelos que usen agua de la cuenca del río Apatlaco, así como elegir a los representantes vocales propietarios y suplentes de los distintos usos del agua. En la Asamblea de usuarios se eligieron los vocales titulares y suplentes de los siguientes usos del agua: agrícola, industrial, público-urbano, servicios, doméstico y organizaciones civiles.

Las funciones de los vocales usuarios del agua y de las organizaciones de la sociedad serán:

- Participar activamente en la formulación e instrumentación de programas de gestión en el ámbito territorial de la Comisión de Cuenca y en la ejecución de las acciones que ésta acuerde.
- Gestionar la concurrencia de recursos financieros ante instancias gubernamentales o privadas.
- Ser portavoces ante la Comisión de Cuenca de las propuestas, opiniones, necesidades, compromisos y acuerdos que promueva y suscriba la Asamblea General de Usuarios.



- Informar a la Asamblea General de Usuarios del Consejo y a los usuarios de su sector o de las organizaciones de la sociedad sobre los compromisos y acuerdos promovidos por la Comisión de Cuenca. Para cumplir esta función podrán solicitar el apoyo a la Secretaría Técnica, a los vocales gubernamentales o desarrollar medios propios.
- Apoyar la ejecución de programas y acciones para mejorar la Gestión Integrada de los Recursos Hídricos de la Cuenca.
- Contribuir a la integración de estudios, datos e información que sean necesarios para la programación hídrica de la cuenca.
- Representar, ante la Comisión de Cuenca, a los usuarios por tipo de uso y las organizaciones de la sociedad vinculados con la gestión hídrica o ambiental durante un periodo de tres años, con posibilidad de ser relectos.
- Participar con voz y voto en las sesiones de la Comisión de Cuenca; en caso de ausencia, el suplente elegido en la Asamblea General de Usuarios asumirá las funciones establecidas en este artículo.
- Solicitar al secretario técnico que convoque a sesión de la Asamblea General de Usuarios cuando sea estrictamente necesario.
- Coordinar o participar, por acuerdo de los integrantes de la Comisión de Cuenca, en alguno de sus órganos.

Finalmente, el día 12 de septiembre del 2007, en el municipio de Xochitepec, se instaló la Comisión de Cuenca del río Apatlaco, cuyo objetivo central era frenar y revertir el deterioro ambiental, trabajando en cuatro vertientes: organización, diagnóstico, definición de acciones e inspección y vigilancia. La Comisión de Cuenca tiene las siguientes atribuciones:

- Integrar la participación de las autoridades federales, estatales y municipales, y asegurar la instrumentación de los mecanismos de participación de los usuarios de la cuenca y las organizaciones de la sociedad.



- Contribuir al saneamiento de la cuenca, acuíferos y cuerpos receptores de propiedad nacional para prevenir, detener o corregir su contaminación.
- Impulsar el uso eficiente y sustentable del agua, y en forma específica, impulsar el reúso y recirculación de las aguas.
- Participar en el mejoramiento de la cultura del agua como recurso vital y escaso, con valor económico, social y ambiental.
- Conocer oportuna y fidedignamente la información y documentación referente a la disponibilidad de cantidad y calidad del agua, los usos del agua y los derechos registrados.
- Coadyuvar al desarrollo de la infraestructura hidráulica.

Se suscribió el Convenio de Creación de la Comisión Interinstitucional e Intersectorial para la Recuperación Ambiental de la Cuenca del río Apatlaco, integrada por el gobernador, las diez presidencias municipales, la delegación de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (Semarnat), el Organismo de Cuenca Balsas de la Conagua, la Fundación Gonzalo Río Arronte y el IMTA para coordinar esfuerzos, recursos y acciones en un programa de gestión para la recuperación de la cuenca, que tendría como elemento central el agua.

En mayo de 2008 fue presentado el Plan Estratégico para la Recuperación Ambiental de la Cuenca del río Apatlaco, el cual integró la visión conjunta de los participantes y fijó el rumbo, mediante ejes rectores y proyectos vinculados entre sí desde el punto de vista regional o temático, con propuestas de instrumentación de 332 acciones entre los órganos colegiados, usuarios de aguas nacionales, sociedad organizada, y autoridades municipales, estatales y federales. Para instrumentar el Plan Estratégico, la Comisión de Cuenca del río Apatlaco acordó la instalación de Grupos Especializados de Trabajo.



Los principales problemas que afectaban la cuenca, señalados en el Plan Estratégico eran:

- Disminución de la calidad y cantidad del agua en la cuenca.
- Deficiencias en la cultura ambiental, capacitación productiva, comunicación y participación social.
- Deterioro de recursos bosque y suelo.
- Crecimiento urbano desordenado.
- Rezagos sociales y económicos.
- Pobreza extrema e insalubridad.
- Insuficiencias en el monitoreo e investigación ambiental.

Si bien se implementó un arreglo institucional para atacar los problemas de la cuenca del Apatlaco, en la práctica fungieron como obstáculos que no permitieron que se avanzara como se esperaba en la resolución de dicha problemática, entre los cuales podríamos citar: a escala federal se buscó trabajar de forma democrática, conforme delineaba la ley, sin embargo, a escala local hubo una serie de restricciones para invitar a la participación de los sectores en las distintas reuniones; los diferentes usuarios tenían también diferenciados intereses y dificultad en plantear acuerdos; los recursos provenían de la Federación, pero operados por el ámbito estatal de manera discrecional; hubo falta de independencia de la Comisión frente a la Conagua; hubo falta de autonomía presupuestaria, y la participación no fue vinculatoria.

De esa manera, podríamos argumentar sobre de la falta de congruencia entre el marco legal y su aplicación en el territorio, arguyendo que los aspectos prácticos que implican la gestión del agua a escala cuenca hidrológica no reflejan grandes avances en términos de participación social, cooperación entre distintos usuarios del agua, eficiencia en la gestión y resolución concertada de problemas hídricos. Se concluye



que los objetivos planteados en el Plan Estratégico de la Cuenca del Apatlaco, en materia de recuperación ambiental, siguen en su mayoría sin cumplirse, por lo que el marco jurídico demostró ser una medida necesaria, pero no suficiente para atacar el problema de la sostenibilidad ambiental en la cuenca.

Frente al análisis de esta situación, se plantean algunos requisitos que debe cumplir la Comisión de Cuenca del Apatlaco, en aras de avanzar en la resolución de la problemática de la cuenca: contar con presupuesto o capacidad de gestión y voluntad política para concretar acciones a escala local, construcción de capacidades locales, apertura de canales reales y operativos de participación social, transparencia, rendición de cuentas y compromiso ciudadano.

La transparencia se vincula estrechamente con la legitimidad y rendición de cuentas y tiene que ver con la necesidad de generar un proceso de debate público sobre temas de interés con relación a la recuperación ambiental de la cuenca. La transparencia contribuye a generar mayor participación de los distintos involucrados e interesados en la materia, comenzando por la existencia de sistemas de representación efectivos y mecanismos institucionales que garanticen que la participación conlleve a la incidencia en la toma de decisiones a la hora de definir las políticas. Por ello, es imprescindible una revisión de la estructura y operación de la Comisión de Cuenca.

Un óptimo funcionamiento de la Comisión de Cuenca del río Apatlaco, sin duda, ayudaría decididamente a la consecución de los objetivos que se plantearon con su creación, como tener un ambiente sano y equilibrado en usos y actividades que en la cuenca se realizan. Incluso, serviría para prepararse de manera anticipada a cambios externos que prometen tener efectos en los recursos hídricos de la cuenca, como lo es el cambio climático.



Frente a un nuevo reto ambiental y social es necesario cuestionarse sobre las perspectivas que existen en términos de arreglos institucionales de gestión del agua frente al cambio climático, considerando que éste, como tema emergente en la agenda nacional, trae consigo una institucionalidad y legalidad propia que necesariamente tenga que coordinarse con la ya existente para gestionar el agua.

En cuanto a la participación social, bajo el paraguas de la GIRH, hay suficiente evidencia empírica que muestra sus serias limitaciones y deficiencias de forma y fondo. Ello de suyo es relevante toda vez que ésta era uno de los pilares sobre los que se asienta el nuevo modelo de gestión, por lo que es una asignatura pendiente que va más allá de los errores de implementación. Una gobernanza democrática del agua empieza por incluir la participación de los grupos sociales en los asuntos públicos del agua. El caso del Apatlaco queda como estudio de caso para ser analizado en relación a este aspecto, ya que constituyó uno de los siete principales problemas identificados en el Plan Estratégico y sigue siendo uno de los requisitos por cumplir para la Comisión de Cuenca del Apatlaco. Lo acontecido en el Apatlaco es el reflejo fiel de lo que ha sucedido en el ámbito nacional; es decir, el impulso a un tipo de participación que no logra transformar el carácter centralizado en la toma de decisiones en torno al agua ni la transformación de las relaciones entre el Estado y la sociedad (Mollard y Vargas, 2009).

Existen otros varios ejemplos de las limitaciones contenidas en la GIRH en lo local, las cuales imponen problemas en su implementación y, de alguna manera, tienen que ver con la racionalidad técnica instrumental desde donde se piensa la relación agua-sociedad. Una de ellas es el concepto “usuarios del agua”; es decir, el titular de una concesión, figura única visible y políticamente reconocida con derecho a participar en la conformación de los esquemas de participación establecidos en la ley, deja al margen a una variedad de actores en posibilidad de participar y expresar puntos de vista y posturas dignas de ser



conocidas y escuchadas. No por ello, la falta de una verdadera representatividad es uno de los puntos más débiles en lo que a este aspecto se refiere.

La gestión del agua por cuenca se impuso sin cuestionar si una unidad territorial definida por aspectos biofísicos tenía algún significado para quienes habitan el espacio antes de decretarla como unidad de gestión del agua por excelencia. Tal vez en esto existan algunas explicaciones de las dificultades de su implementación.

Los escenarios surgidos desde este diagnóstico no son muy optimistas, porque se percibe cómo la distribución de este importante recurso entre los distintos grupos de usuarios se concentrará en un grupo social muy pequeño y su uso no logrará ser “sostenible”, por lo menos en el mediano plazo. Serán los grandes procesos económicos y de ubicación del capital los que regulen en mayor medida su aprovechamiento, con lo cual queda muy limitada la capacidad de gestión del estado y la posible intervención de los grupos sociales organizados en la plano local.

Hay varios supuestos del proceso de descentralización: la prestación de servicios conforme a un esquema de descentralización es menos costosa y más eficaz; el patrón de descentralización alienta la participación y la apertura del sistema político, pero, ¿en qué medida se trata de hechos empíricamente comprobados? El caso de esta cuenca muestra que los grupos de interés, dentro y fuera de las organizaciones gubernamentales, son capaces de influir considerablemente en cuanto asegurar su acceso al agua, anteponiendo su agenda a la agenda pública. Esta situación genera una sensación de vacío de autoridad y responsabilidad frente al deterioro hidrológico.

Se pretende que el gobierno central sea capaz de “transferir” a la periferia responsabilidad y recursos para toma de decisiones, con el propósito de aliviar el congestionamiento en



el centro y así alcanzar un mayor grado de efectividad de la acción gubernamental. Los gobiernos locales aparecen únicamente en cuanto receptores de nuevas responsabilidades y recursos. Se plantea la regionalización para descongestionar toma de decisiones, pero como ha ocurrido en otras experiencias, la descentralización ha implicado la reducción de las prerrogativas locales y ningún intento serio de “devolución” de poder a los gobiernos locales; no todo lo que suele llamarse “descentralización” fortalece a los gobiernos locales. Afirmamos que la descentralización no puede generar la transformación de las bases del poder político, sino únicamente un reacomodo de la distribución espacial de la administración del poder y que, incluso, esto último requiere la existencia de un proyecto político en el plano local.

Asimismo, los beneficios de la descentralización no son directos, sino que los determinan factores como la representación política y la capacidad de los gobiernos locales, y dependen de la voluntad y apoyo de los actores centrales; asimismo, incluye el favor y compromiso no sólo de los actores del gobierno central sino también –lo cual es muy importante– de los actores del sistema político y la sociedad civil. Las actuales estructuras del municipio imponen obstáculos a la representación y participación, una persistencia de formas de gobierno patrimonialistas y clientelares, así como pocos medios de participación. Un elemento fundamental es la descentralización fiscal, la cual siempre ha sido asociada con el desarrollo económico.

En nuestro país, el agua es un bien cada vez más escaso, lo que se ha transformado en una limitante muy importante para el desarrollo socioeconómico. Sin embargo, a pesar de las profundas transformaciones de las políticas ambientales y del agua, en particular, no se han logrado construir todavía las instancias adecuadas de mediación, representación y participación de los distintos grupos sociales e instituciones.



De manera preliminar, podemos afirmar que la participación social sigue apareciendo muy restringida en la figura de comisión de cuenca –lo que es aplicable en mayor medida a la de consejo o comité de cuenca y acuífero–, la cual se caracteriza por su condición corporativa. Aquí no aparecen nuevas formas de representación a nivel intermedio o local que permitan ampliar los canales y actores involucrados en la pequeña escala de intervención. La representación es cualitativa por tipo de uso, de carácter sólo consultivo.

En el desarrollo de la experiencia de gestión integral del agua por cuenca hidrológica se destaca la inexistencia de canales adecuados de participación, así como la persistencia de una estructura de representación corporativa que, aunque muy afectada y desquebrajada, continúa operando en el manejo del agua, sin encontrar el proceso de federalización de la gestión del agua con actores sociales claramente identificados y activos que promuevan el desarrollo sustentable del recurso agua. Por el momento, se prevé la continuación del esquema de centralización, ya sea a escala federal o en los gobiernos estatales, en cuanto no se generen formas de participación apropiadas a las características sociales de la cuenca.

10.6. Arreglo institucional para impulsar la mitigación y la adaptación al cambio climático

El cambio climático se ha posicionado en la palestra internacional como uno de los temas de mayor preocupación para la humanidad, dado que su efecto central, a saber, el aumento de temperatura en la Tierra, parece poner en entredicho la viabilidad de la especie



humana en el planeta a un futuro no muy lejano. Pero mientras eso sucede, hay una serie de efectos y consecuencias: probable reducción del suministro global de alimentos y de agua, deshielo de casquetes polares, aumento del nivel medio del mar, migraciones de personas y especies, etcétera, que están causando estragos en la vida de las personas.



Figura 10.2. Sistema Nacional de Cambio Climático.
Fuente: Estrategia Nacional de Cambio Climático. DOF, 2013.

A escala doméstica, el cambio climático ocupa hoy en día un lugar relevante en la agenda nacional, como se puede inferir del robusto entramado legal e institucional existente y que, de alguna manera, refleja el liderazgo y reconocimiento que México ha ganado, mantenido y que aspira a incrementar en los ámbitos regional e internacional.

La relación entre cambio climático y los recursos de agua dulce representa una preocupación de primer orden. Dentro de la problemática del cambio climático, el agua es vista como un factor interno del sistema climático, pero también como un recurso que puede ser impactado por éste, por lo que a través de los dos grandes pilares de la política pública de cambio climático: mitigación y adaptación, se propone actuar. Se identifica al



exceso de agua, la escasez de la misma y su contaminación como los problemas que han de atenderse, porque pueden amplificarse como efecto del cambio climático.

Preocupa el hecho de que no se observa una solidez adecuada en la gestión del agua que indique la existencia de capacidades necesarias para contrarrestar los efectos del cambio climático en los recursos hídricos (Bates et al., 2008, p. 4). En las áreas donde actualmente se padecen situaciones, como el estrés hídrico, personas y ecosistemas son particularmente vulnerables a una disminución o a una mayor variabilidad de la precipitación por efecto del cambio climático (Bates et al., 2008, pp. 4-9). Ello, también, porque dichas relaciones no se presentan como parte del orden natural de las cosas, sino que se dan dentro de contextos y condiciones socioeconómicas y medioambientales particulares que debe tenerse en cuenta en la política pública.

En términos de arreglos institucionales para el cambio climático, en congruencia con lo dispuesto por la Estrategia Nacional de Cambio Climático (ENCC), máximo instrumento de la política en la materia en México, las entidades federativas tienen la atribución de elaborar programas que estén alineados al Plan Nacional de Desarrollo y con los programas de Desarrollo Estatales. Morelos cuenta, desde 2015, con su Programa Estatal de Acción ante el Cambio Climático (Peaccmor), derivado de una convocatoria de participación a sectores y actores clave en la entidad. Como instrumento de planeación, el Peaccmor tiene el objetivo de coordinar e impulsar acciones públicas en la entidad para contribuir a las metas nacionales, prevenir riesgos e impactos, y establecer estrategias y el marco de acción para integrar y fomentar la participación de los sectores público y privado y la sociedad civil.⁴

4 Gobierno del Estado de Morelos (2015). *Programa Estatal de Acción ante el Cambio Climático del Morelos (Peaccmor)*. Cuernavaca, Morelos. Publicado el 4 de marzo de 2015 en el Periódico Oficial Tierra y Libertad, número 5268, Segunda Sección.



En septiembre del mismo año se crea la Comisión Intersecretarial de Cambio Climático y Ecozonas del Estado de Morelos, que constituye el instrumento institucional de coordinación en la materia. Es un órgano colegiado de carácter permanente integrado por los secretarios de Gobierno; Hacienda; Contraloría; Cultura; Desarrollo Agropecuario; Desarrollo Social; Economía; Educación; Innovación, Ciencia y Tecnología; Movilidad y Transporte; Obras Públicas; Salud; Turismo y Desarrollo Sustentable; así como los titulares de la Dirección General de Energía y Cambio Climático, y la Coordinación Estatal de Comunicación Social.

Como parte del Programa de Acciones frente al Cambio Climático, en 2013 Morelos elaboró su primer Inventario Estatal de Gases de Efecto Invernadero del Estado de Morelos, además del Plan de Gestión de Carbono y la actualización del Peaccmor, en lo referente a la mitigación de los gases de efecto invernadero.

A escala municipal, la Ley General de Cambio Climático (LGCC) asignó a los municipios las atribuciones de conducir y evaluar la política local en materia de cambio climático, instrumentar políticas y acciones de mitigación y adaptación en materias como la prestación del servicio de agua potable y saneamiento y el ordenamiento ecológico local y desarrollo urbano, entre otras. Hoy en día, sólo cuatro de los 17 municipios que conforman la cuenca del Apatlaco: Cuernavaca, Jiutepec, Xochitepec y Jojutla cuentan con planes de acción climática publicados (Plan de Acción Climática Municipal).

Como parte del diagnóstico estatal referente al cambio climático, en materia de mitigación se admite que una de las cinco principales fuentes de emisiones de GEI en la entidad son las aguas residuales, provenientes de la industria;⁵ mientras que

5 Los otros cuatro son: combustibles fósiles en el transporte terrestre, producción de cemento, residuos sólidos y suelos agrícolas.



en adaptación se reconoce la vulnerabilidad de los acuíferos y su impacto en la disponibilidad de agua futura en los cuatro acuíferos de la entidad, bajo algunos de los escenarios de cambio climático.⁶

En el Cuadro 10.1 se enlistan las medidas de mitigación y adaptación relativas a los recursos hídricos que se visualizan en el Programa Estatal de Acción ante el Cambio Climático del estado de Morelos.

Cuadro 10.1. Medidas de mitigación y adaptación relativas a los recursos hídricos.

MITIGACIÓN (aguas residuales)	ADAPTACIÓN
Impulsar el aseguramiento de la continuidad de operación de plantas tratadoras de agua residual mediante la venta del agua tratada, el suministro del 70% de la electricidad con plantas fotovoltaicas y un 30% con el biogás, producto de la biodigestión de los lodos residuales del tratamiento.	Impulsar la adecuación del marco legal correspondiente, considerando los efectos y tendencias del cambio climático.
Procurar el establecimiento de programas de adaptación tecnológica para el aprovechamiento del biogás generado en las plantas tratadoras de agua residual.	Procurar el establecimiento de programas de Restauración de Cuencas Hidrológicas que incorpore criterios de adaptación al cambio climático.
Promover la utilización de biosólidos como fertilizantes orgánicos y diseñar una estrategia estatal de mitigación en el manejo de aguas residuales.	Impulsar el establecimiento de programas de Modernización y Adecuación de la Infraestructura Hidráulica a las condiciones esperadas.
-	Promover el establecimiento de programas de Captura y Uso de Aguas Pluviales en zonas prioritarias específicas, y desarrollar una estrategia estatal para la gestión integral de riesgos climáticos.

Fuente: elaboración propia, con base en el Peaccmor, 2015.

⁶ Para Morelos se consideraron los escenarios del IPCC: A1B, que contempla un esfuerzo de la sociedad en cuanto a mitigación y un futuro con tecnologías más eficientes, y el A2, tendencial, donde se observan el crecimiento poblacional acelerado y un alto crecimiento económico con una orientación regional, principalmente (Peaccmor, 2015).



Morelos ha creado y alineado su marco legal e institucional para el cambio climático, de acuerdo con lo dispuesto en la LGCC y la ENCC, creando su ley, programa de acción y la comisión intersecretarial desde un principio de transversalidad en el diseño e implementación de políticas y programas en materia de mitigación y adaptación, aunque sin una conexión explícita con el tema del agua ni con los actores y estructuras sociopolíticas anidadas en la escala de cuenca.


En la relación agua-cambio climático, la existencia de dos arreglos institucionales independientes plantea varias interrogantes respecto a cómo se atenderán los problemas más apremiantes de agua en la cuenca del Apatlaco, cuando la experiencia empírica muestra grandes problemas tanto de diseño como de implementación en los espacios creados para la cooperación y la coordinación de la gestión del agua en la cuenca del Apatlaco.

No necesariamente una mayor densidad institucional –la ya existente sobre el agua y la nueva del cambio climático– será la mejor forma de promover una gobernanza más eficaz, sino tal vez todo lo contrario, si la operación de los dos andamiajes institucionales se mantiene inconexa.

El rol protagónico que pueden jugar las organizaciones de la sociedad civil y comunidades en los procesos de gestión del agua y de adaptación a los impactos del cambio climático, debe ser tenido en cuenta para avanzar en el diseño de esquemas más horizontales y democráticos de gobernanza de agua y climática capaces, además, de comprender la naturaleza compleja y dinámica de los diversos sistemas socioecológicos implicados en el binomio agua-cambio climático.



10.7. Reflexiones finales



Es imposible negar que la propuesta de la GIRH representara un avance significativo respecto a la administración fragmentada del agua que imperaba. En este nuevo paradigma de manejo del agua, el enfoque de cuenca y la participación social de igual manera fueron planteamientos imperfectos que, aunque no han funcionado, están colocados ahí para proponer modelos más adecuados. En la práctica, a escala de cuenca, no se ha avanzado mucho, a decir por la experiencia presentada acerca del río Apatlaco. Lógicas disímiles e intereses diferentes, entre muchos otros aspectos, parecen haber impedido lograr acuerdos sostenidos y vinculantes.

El caso de la gestión del agua en la cuenca del río Apatlaco, hasta ahora fallido, no ha hecho posible el cumplimiento del plan estratégico en su totalidad. Los grandes problemas y fuertes desafíos que hoy en día se registran en la cuenca deberían hacer reflexionar acerca de la necesidad de dar cabida a nuevos niveles de participación social local. Las exitosas experiencias de gestión de agua por cuencas, sin duda, se deben al trabajo de los actores locales, quienes han buscado acuerdos y logrado negociaciones en torno a la idea de bienes colectivos o comunes, superando con ello las restricciones presentes en el planteamiento de este paradigma y las contradicciones de autoridades promotoras del mismo. Esto habla de la capacidad de la sociedad civil para llevar adelante acuerdos que involucren a actores y grupos diferentes en la cuenca. Dichos casos se caracterizan por altos niveles de



participación social, al grado de poder calificarlos como de cogestión,⁷ lo cual no se contempla en el modelo de la Gestión Integral de los Recursos Hídricos.

El fenómeno del cambio climático ineludiblemente tendrá un impacto en los recursos hídricos del planeta. Necesita de formas de gestión novedosas y propositivas que busquen la integración del territorio, la recuperación de formas locales de gestión del bien común y, en consecuencia, la prevención de conflictos.

No obstante, queda la pregunta de cómo el entramado institucional de la GIRH se puede relacionar y complementar con el del cambio climático, para fortalecerlo y plantear los nuevos rumbos requeridos para gestionar el agua ante la amenaza que éste representa.

10.8. Referencias

- Bates, B. C., Z. W. Kundzewicz, S. Wu y J. P. Palutikof (Eds.) (2008). *El cambio climático y el agua*. Documento técnico del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático, Secretaría del IPCC, Ginebra, 224 pp.
- Biswas, A. K. (2004). Integrated water resources management: a re-assessment. *Water International*, 29(2): 248-256.
- Butterworth, J.; Warner, J.; Moriarty, P.; Smits, S. y Batchelor, C. (2010). Finding practical approaches to Integrated Water Resources Management. *Water Alternatives* 3(1): 68-81.

⁷ Nos referimos al caso de la subcuenca del río Pixquiaco, Coatepec, Veracruz, trabajado y documentado por la Dra. Luisa Paré (2017).



- Comisión Nacional del Agua (2008). *La cuenca del río Apatlaco. Recuperemos el patrimonio ambiental de los morelenses*. México: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.
- Fernández, Roberto (2000). *Gestión ambiental de ciudades. Teoría crítica y aportes metodológicos*, PNUMA, "Serie de Textos Básicos para la Formación Ambiental", 335 pp.
- Gobierno del Estado de Morelos (2015). Programa Estatal de Acción ante el Cambio Climático del Morelos (Peaccmor), Morelos, México. *Periódico Oficial Tierra y Libertad*, número 5268, Segunda Sección, 4 de marzo.
- Karpouzoglou, Timothy y Sumit Vij (2017). Waterscape: a perspective for understanding the contested geography of water. *WIREs Water*, vol. 4:e1210. doi: 10.1002/wat2.1210
- Kramer, Annika; Aaron T. Wolf, Alexander Carius y Geoffrey D. Dabelko (2013). Cooperación y conflictos en torno al agua: claves para manejarlos. *Un Mundo de CIENCIA*, Vol. 11, No. 1, enero-marzo.
- Lankford, B. and Hepworth, N. (2010). The cathedral and the bazaar: monocentric and polycentric river basin management. *Water Alternatives* 3(1): 82-101.
- Mollard, Eric y Sergio Vargas (2009). La gestión integrada del agua: una crítica social. En Sergio Vargas, Denise Soares, Ofelia Pérez Peña y Ana Isabel Ramírez (Eds.). *La gestión de los recursos hídricos: realidades y perspectivas*. Tomo II, Jiutepec, Morelos: Instituto Mexicano de Tecnología del Agua/Universidad de Guadalajara.
- Molle, F. (2008). Nirvana concepts, narratives and policy models: Insight from the water sector. *Water Alternatives* 1(1): 131-156.
- Molle, F., P. Wester & P. Hirsch (2010). River basin closure: processes, implications and responses. *Agricultural Water Management* 97: 569–577.
- Mussetta, P. (2009). *Participación y gobernanza. El modelo de gobierno del agua en México*. Espacios Públicos, 12(25), 66-84.
- OECD (2013), *Making water reform happen in Mexico*. OECD Studies on Water, OECD Publishing. <http://dx.doi.org/10.1787/9789264187894-en>
- Paré, L. (2017). La cogestión de cuenca: organización, integración territorial y prevención de conflictos. En José Luis Martínez Ruíz, Daniel Murillo Licea y Luisa Paré (Coords.).



- Conflictos por el agua y alternativas en los territorios indígenas de México.* Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, Jiutepec, Morelos.
- Placht, M. (2007). Integrated water resource management: incorporating integration, equity, and efficiency to achieve sustainability. *International Development, Environment and Sustainability*, (November): 3, <http://fletcher.tufts.edu/ierp/ideas/issue3.html>
- Rieta, E. (2000). Nueva política del agua: gestión de la demanda y mercados de agua. Universidad de Castilla-La Mancha, Facultad de Ciencias Sociales de Cuenca. Ponencia presentada en VII Jornadas de Economía Crítica: La fragilidad financiera del capitalismo; crecimiento, equidad y sostenibilidad: cómo cerrar el triángulo. Albacete, febrero. Disponible en: <https://webs.ucm.es/info/ec/jec7/pdf/com1-12.pdf>
- Sánchez, Juan Jaime (2008). *El mito de la gestión descentralizada del agua en México.* México: Instituto de Investigaciones Jurídicas, UNAM.
- Treffner J., V. Mioc y K. Wegerich (2010). A-Z Glossary. En Wegerich, Kai, Jeroen Warner (Eds.) *The politics of water. A survey.* Londres: Routledge, pp. 215-320.
- Valencia, J. C., Díaz, J. J. e Ibarrola, H. J. (2004). La Gestión Integrada de los Recursos Hídricos en México: nuevo paradigma en el manejo del agua. En Helena Cotler (compiladora). *El manejo integral de cuencas en México: estudios y reflexiones para orientar la política ambiental.* México: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales/Instituto Nacional de Ecología, pp. 201-210.
- Watson, N.; Walker, G. and Medd, W. (2007). Critical perspectives on integrated water management. *The Geographical Journal*, 173(4): 297-299.
- Whittingham, M. V. (2002). Aportes de la teoría y la praxis para la nueva gobernanza. VII Congreso Internacional del CLAD sobre la Reforma del Estado y de la Administración Pública, Lisboa, Portugal, octubre.





URBANIZACIÓN Y GESTIÓN DEL AGUA ANTE EL CAMBIO CLIMÁTICO, EN EL ÁREA METROPOLITANA DE CUERNAVACA

Sergio Vargas, Alejandra Peña y Denise Soares

11



11.1. Resumen

Lacuena del río Apatlaco es una cuenca urbanizada. La dinámica de crecimiento y actividades económicas en la Zona Metropolitana de Cuernavaca (ZMC) determinan cada vez más su funcionamiento hidrológico. Los problemas de gestión de servicios de agua y saneamiento, de agua potable y para riego, así como la insuficiente construcción acerca del deterioro hidrológico como un asunto público, definen que el régimen de gestión del agua continúe siendo endeble.

Se puede afirmar que la gestión del agua por cuenca es una gestión de conflictos (Dourojeanni, 1994). Por ello, se requiere un sistema de gestión capaz de dar respuesta a las demandas sociales. Sin embargo, en la ZM de Cuernavaca prevalece un arreglo institucional que no logra gestionar el crecimiento de la demanda de agua, la calidad del servicio y las descargas de agua residual, estableciendo así un escenario de acciones públicas insuficientes ante cualquier escenario de largo plazo, como el que implica el cambio climático.

Palabras clave: urbanización, gestión del agua, Cuernavaca.

11.2. Introducción

Para obtener respuestas efectivas de mitigación y adaptación al cambio climático es necesario implementar políticas públicas que organicen, conduzcan y trasformen las acciones gubernamentales y sociales en acciones públicas (Cabrero, 2005: 29). Esto significa que las respuestas efectivas posibles no pueden lograrse sin la concurrencia de entidades gubernamentales pertenecientes a distintos niveles y de acciones colectivas de diversos grupos sociales, tales como grupos de interés, grupos de presión, organizaciones privadas o no gubernamentales; o bien, movimientos sociales contestatarios.

Su articulación no puede lograrse solo mediante una pura discusión racional sobre riesgos y vulnerabilidades, o con la presentación de las mejores acciones a realizar por parte de los científicos que estudian el cambio climático, sino, como muestra la sociología de los problemas públicos, a través de un proceso de construcción del cambio climático como problema colectivo, por medio de acciones conflictivas de impugnación y réplicas desde los distintos grupos sociales y agentes gubernamentales involucrados en la definición conjunta de los problemas públicos relacionados con el agua, así como en la definición de las soluciones más convenientes (Neveu, 2015). Rara vez esto sucede sin disputas y tensiones a escalas diversas, e igualmente con dificultad se logra el consenso de todos los involucrados. Incluso, las comunidades de académicos y científicos participan con regularidad en alguna de las facciones que se constituyen en torno a los problemas públicos, contraponiéndose con aquellos ubicados en las facciones contrarias (Hannigan, 2006).

Para enfrentar el cambio climático, lo primero que se requiere en la cuenca del río Apatlaco es un arreglo institucional que permita y promueva la interlocución de los



actores gubernamentales con los sociales en una arena de discusión pública, donde se expongan los riesgos y acciones a efectuar con la participación efectiva e interesada de los involucrados. De otra manera, es muy probable que muchas acciones de los distintos actores se diluyan frente a otros problemas más inmediatos o se conviertan sólo en actividades rutinarias insustanciales de algún programa de gobierno, o bien, simplemente, nunca se implementen.

La particularidad de esta cuenca es que ya se encuentra urbanizada. Por ello, los procesos hidrológicos se encuentran estrechamente afectados por lo que sucede en el espacio urbano, no sólo en lo físico, sino en términos de actividades humanas. Esto se manifiesta en su densidad y concentración demográfica; tipo de urbanización difusa donde se entremezclan áreas rurales con concentraciones urbanas que alteran definitivamente la hidrología y el paisaje; pérdida de vegetación; acarreo de sedimentos; tipo de degradación de la calidad del agua; volumen de descargas no tratadas de aguas residuales; impermeabilización de la superficie que altera la infiltración hacia el acuífero al tiempo que acelera y concentra los escurrimientos en temporada de lluvias, provocando inundaciones; erosión de taludes de ríos y barrancas; decrecimiento de la recarga de acuíferos, y la degradación de suelos y agua. También, es una cuenca urbanizada en el sentido de que lo que suceda en su territorio está definido por los intereses y acciones de los actores sociales y gubernamentales vinculados al espacio urbano. Explicar lo que sucede en la ZMC implica proporcionar pistas de lo que sobrevendrá en toda la cuenca, en cualquier escenario de cambio climático.



La gestión del agua en la ZMC tendrá que ser adaptativa (Hollis, 1978; Riste *et al.*, 2013) para que logre ajustarse a las transformaciones que impone inexorablemente el cambio climático. La gestión adaptativa del ambiente plantea, en principio, que los resultados de un primer ciclo de una gestión ambiental integrada deben ser tomados como insumos de un segundo y nuevo proceso de diagnóstico y análisis, lo cual conlleva a mejorar el proceso de gestión ambiental precedente. Es decir, el proceso de gestión ambiental adaptativa es un proceso continuo, cuyos resultados parciales se utilizan para mejorar cada vez más la estrategia de gestión previa; se basa en un proceso de aprendizaje y mejora los resultados de gestión a largo plazo. Sin embargo, lo que encontramos en la cuenca del río Apatlaco, como parte del modelo de Gestión Integrada de los Recursos Hídricos, y el mismo proceso de gestión urbana de la ZMC, muestran más bien una serie amplia de profundas limitaciones tanto en el arreglo institucional de la gestión del agua como en los procesos de interacción entre actores sociales y gubernamentales, en el manejo del agua en esta zona metropolitana.

Son numerosos los factores limitantes de la gestión del agua en la ZMC y, por ende, en la cuenca del río Apatlaco, como cuenca urbanizada, pero a modo de amplia generalización se pueden enumerar, en principio, las condiciones de desarrollo económico y social, en tanto determinan una configuración de intereses (industriales de la Ciudad Industrial del Valle de Cuernavaca [CIVAC]; agricultores de riego de Las Fuentes y Alto Apatlaco; urbanizadores y empresas inmobiliarias, como Casas ARA y Casas Geo, y organizaciones sociales vecinales o ambientalistas, entre muchos otros) sobre un espacio fuertemente intervenido, disputado y débilmente regulado mediante la planeación urbana; también, los efectos de las políticas gubernamentales macroeconómicas y, si se puede decir todavía, de desarrollo económico, carentes de consideraciones ambientales, incluidas las de sostenibilidad hidrológica, así como el carácter predominantemente gubernamental de la gestión del agua y del medio ambiente,



implementado y realizado más como una iniciativa de carácter gubernamental, en contraste con los países desarrollados (Desay, 1998; Platt, 2006), en tanto los temas ambientales y el deterioro hidrológico siguen teniendo dentro de amplios sectores de la población. De igual forma, se encuentran diversos aspectos institucionales y organizativos del manejo del agua y ambiental que limitan las respuestas efectivas a los numerosos déficits de gestión de la cuenca y de la zona metropolitana de Cuernavaca.

Un gran ausente es la participación ciudadana adecuadamente incorporada en la definición, ejecución y control de la política pública, más allá del lema inserto en los documentos oficiales. La movilización de la sociedad civil en torno a la temática ambiental, no puede ser vista únicamente como resultado de la existencia de un mecanismo gubernamental mediante el cual pueden ser incorporados o consultados ya que, en nuestro caso, la Comisión de Cuenca del Apatlaco ni siquiera ha funcionado para tales fines consultivos. Los responsables gubernamentales, actores políticos y empresariales han adoptado el enfoque "*business-as-usual*", aparentemente satisfechos de evitar tomar las decisiones difíciles que parece requerir una transición hacia el "desarrollo sostenible".

Algunos cambios en la gestión sucederán como resultado de eventos extremos, incluso catastróficos, como respuestas urgentes. Otras transformaciones deberán hacerse mediante procesos en el largo plazo, mediante cambios incrementales. Pero toda respuesta vendrá del régimen de gestión del agua de la zona metropolitana a partir de la capacidad que exista de definir metas colectivas, movilizar los recursos necesarios para perseguirlas, tomar las decisiones que impone su consecución y asumir las consecuencias que de ellas resulten. Por lo tanto, para concebir las acciones a llevar a cabo dirigidas a enfrentar el cambio climático, el disponer de una



gestión integrada del agua para la ZMC es una condición anterior indispensable, de la cual exponemos su enorme fragilidad y fragmentación.

1.1.3. Los problemas públicos del agua

Discernir los posibles escenarios ante el cambio climático en el espacio urbano de Cuernavaca impone elaborar un escenario base respecto a cómo se lleva a cabo la gestión del agua para uso urbano. Más allá de la información básica referente a las características del servicio, eficiencias físicas de facturación o global de los organismos operadores de agua potable y saneamiento de Cuernavaca y de los municipios conurbados, así como de los múltiples sistemas de gestión local operados por organizaciones de usuarios, afirmamos que existe una dificultad generalizada relativa a la implementación de la política pública del agua urbana en razón del insuficiente desarrollo de acciones públicas en torno a la gestión del agua para la ciudad. En gran medida, por que no existe la necesaria problematización de la situación de los recursos hídricos como un asunto público.

Las políticas públicas son acciones de gobierno con objetivos de interés público que surgen de decisiones sustentadas en un proceso de diagnóstico y análisis de factibilidad para atención efectiva de problemas públicos específicos, donde participa



la ciudadanía en la definición de problemas y soluciones (Franco, 2012). Pero los problemas son públicos cuando existen individuos, grupos de interés, movimientos sociales u organizaciones que impulsan la transformación de problemas privados en problemas públicos a través de discursos y acciones, la mayoría de las veces de forma contenciosa porque generalmente compiten con otros no sólo en cuanto a las acciones a tomar, sino incluso en la misma definición de cuál es el problema.

La construcción del problema público sucede en una arena política o pública, definida como el conjunto de reglas y recursos que permiten o alientan ciertos tipos de interacciones para actuar con objetivos a alcanzar –una agenda–, en la que comúnmente unos a otros se observan y responden a las acciones de los otros, aunque esa capacidad no siempre esté distribuida por igual (Jaspers y Duyvendak, 2015: 15-17). La arena se constituye a través de los medios de comunicación, pero no exclusivamente, ya que puede ser mediante oficios y otros escritos, manifestaciones y actos presenciales o el conjunto de todos. Las acciones de los contendientes son públicas en tanto se efectúan en el espacio definido para la realización de la contienda y son observados por los demás. La acción pública es, precisamente, la forma en que se articulan los actores, sus intercambios y el sentido que les dan a estos, pero también a las instituciones, normas y procedimientos que gobiernan el conjunto de las interacciones, así como las representaciones colectivas (Lascoumes y Le Gales, 2014: 33-52).

De esta forma, las aproximaciones que sólo observan los elementos tecnológicos como soluciones a la problemática del cambio climático sobre los recursos hídricos de la ZMC invisibilizan la dimensión sociopolítica de cualquier acción pública, en la que concurren individuos y grupos sociales en condiciones de gran desigualdad, y establecen estrategias para lograr su agenda sobre los demás. No se debe perder de vista que los mismos funcionarios de gobierno, a cualquier escala, también elaboran su propia



agenda, mientras que los actores locales construyen su interpretación y se movilizan con base en sus propias historias de interacción en el plano local, compromisos construidos y alianzas establecidas, incluyendo a los funcionarios de gobierno.

Es imprescindible mostrar el contexto sobre el cual es posible o se concreta la acción de distintos grupos, y esto depende, en primer lugar, de los condicionamientos estructurales donde están insertos, es decir, la dinámica de expansión demográfica que presiona los recursos hídricos y el espacio –con todos sus grupos de interés y conflictos–, así como de la diversificación y crecimiento de la economía que determina las necesidades de agua a ser abastecidas.

El primer punto relevante es la existencia de “hechos” que pueden considerarse problemas colectivos, como es el cambio climático y, de allí, susceptible a un tratamiento específico por parte de los poderes públicos. Pero no hay nada natural en que ello suceda. Lo que es necesario, en primer lugar, para que algo sea considerado problema, es que ciertos actores conciban y reconozcan su existencia, que se movilicen para mostrar que tal es el caso y que sus definiciones de la realidad sean aceptadas por un público más amplio. En el caso del cambio climático, es un problema definido desde fuera del ámbito local, traído al espacio local por entidades gubernamentales con un enfoque de arriba hacia abajo, como han sido también los enfoques de gestión del agua por cuencas y la constitución de la Comisión de Cuenca del río Apatlaco, los cuales ya no están en sus discursos públicos ni es una arena donde se disputen los problemas del agua en Cuernavaca.

En el presente trabajo mostramos las condiciones actuales de la ZMC, donde existen varios problemas de gestión –no precisamente tecnológicos–, sino fundamentalmente sociales y de gestión pública. Existe un amplio problema de gestión del agua ante el



proceso de “metropolización” de Cuernavaca, ante el cual no existe la problematización gubernamental necesaria que lo ponga en la arena pública. Dichos problemas de gestión se muestran en la carga demográfica, interconexión y urbanización de la cuenca y problemas asociados, problemas de gestión del agua para el entorno urbano, tipo de conflictos sociales en torno al agua y ausencia de actores sociales que presenten los problemas por el agua a la escala requerida por el cambio climático.

Los promotores de un problema potencial que no ha recibido atención pública o gubernamental hasta ese momento, y que necesitan hacer conocer a otros segmentos de la sociedad (grupos más sensibles al tema, franjas informadas del público o sociedad en general) o a las autoridades estatales (legisladores, funcionarios o de cualquier nivel institucional) una dificultad que los afecta directa o indirectamente, por lo general se involucran en conflictos para colocar sus demandas en la agenda gubernamental de abajo hacia arriba. Pero el cambio climático es una narrativa gubernamental aún no asumida por los actores sociales y gubernamentales en el plano local; todavía no se identifica una arena pública al respecto.

Para Hannigan (2006), la construcción de un problema ambiental requiere varios factores. Primero, debe existir alguna autoridad científica para validar la demanda. Resulta imposible para una condición ambiental “transformarse” en un problema sin la confirmación de datos que provienen regularmente de las ciencias físicas o naturales. La segunda es que deben aparecer aquellos agentes que lo conviertan en tal; en algunos casos son científicos en su función de divulgadores y en otros pueden ser actores sociales de muy diversa índole que pueden establecer vínculos entre el ambientalismo y la ciencia –ONG, movimientos sociales, grupos de interés–; a fin de cuentas, tienen que lograr “filtrar” la situación ambiental en la percepción de un grupo mayor que respalde su posición. En tercer lugar, un problema ambiental en construcción tiene que recibir



atención de los medios de comunicación —aunque no necesariamente de manera masiva y generalizada—, en los cuales la situación o demanda sea “enmarcada” como asunto real —a veces es sólo una percepción sin la suficiente justificación científica— y de carácter público. Asimismo, el problema ambiental debe ser “dramatizado” en términos simbólicos y visuales; por ejemplo, con respecto a la crisis mundial del agua, el “discurso” —más que realidad— de que las guerras del siglo XXI serán por el agua.

Otro elemento es la existencia de incentivos económicos para tomar medidas sobre un problema ambiental. Hay una competencia por el valor económico que representa el agua y son razones económicas las que determinan, en muchos casos, la posibilidad de que se logre un acuerdo público para la resolución del problema. Finalmente, para que un conflicto ambiental encuentre un cauce de resolución, debe haber un garante institucional que asegure la legitimidad y continuidad del proceso de resolución.

Una primera aproximación a la conflictividad por el agua en la ZMC permite afirmar que aquí —y seguramente en toda la cuenca del río Apatlaco— nos encontramos en una etapa muy incipiente de formulación de una disputa pública respecto a las eventualidades que podrá generar en el futuro el cambio climático. En realidad, es una temática prácticamente ausente en el discurso y los conflictos por el agua revelan que todavía los problemas del agua siguen siendo los de acceso y distribución, en primer lugar, enmarcados en las tarifas y calidad del servicio; y, en segundo plano, aparece la calidad del agua, a pesar de las continuas movilizaciones y gasto público en plantas de tratamiento.

El cambio climático es sólo parte de la narrativa gubernamental y aparece principalmente como una narrativa de arriba hacia abajo. Por ejemplo, las acciones propuestas a partir del Programa Estatal de Acción ante el Cambio Climático de Morelos, como



uno de los justificantes en la documentación presupuestal y planificación municipal, pero no como parte de la narrativa de los conflictos por el agua. En los municipios de Cuernavaca, Temixco, Emiliano Zapata, Xochitepec, Zacatepec y Puente de Ixtla es posible identificar que las disputas por el agua se concentran en el derecho al agua de manantiales y acuíferos entre las poblaciones originarias y los asentamientos modernos, caracterizados sobre todo por desarrollos inmobiliarios a través de la urbanización difusa. Los conflictos por el agua están asociados, entonces, a la acelerada urbanización. En primer lugar, a la cantidad, y de forma creciente a la calidad de agua para riego y uso doméstico. Las dos fuentes sobre conflictos por el agua prevaletes en la ZMC son registros del Observatorio de Conflictos (IMTA, 2014) que cubre del año 2000 a 2014, y la base elaborada por Bazán *et al.* (2014).

1.1.4. “Metropolización” de Cuernavaca: urbanización de la cuenca

Cuernavaca se ubica al noreste del estado de Morelos, pertenece a la vertiente sur de la sierra del Chichinautzin y cuenta con rocas y suelos de origen predominantemente volcánico. Posee dos tipos de clima: templado subhúmedo con lluvias de verano, en la porción norte, y semicálido semihúmedo cálido con lluvias de verano, en su parte urbanizada. La cuota máxima de la cabecera municipal es de 2 200 msnm, en la parte norte de la colonia del Bosque, y la mínima alcanza los 1 255 msnm en la parte sur, en la confluencia de los ríos Apatlaco y El Pollo. Estos casi mil metros de diferencia de altitud conllevan problemas de inundaciones debido a la velocidad de escurrimiento del agua en periodos de lluvias y, sin la menor duda, esta característica debe ser tomada en cuenta en tiempos de cambio climático, dado que el potencial de



las inundaciones con sus posibles desastres podría incrementarse (Conagua, 2008; Ramírez, 2007).

Las precipitaciones pluviales son el principal abastecimiento de agua de Cuernavaca. La precipitación media anual oscila entre 800 y 1 500 mm, con un régimen de lluvias que inicia a mediados de mayo, concluyendo en octubre. Sin embargo, esta estacionalidad se ha vuelto un tanto imprevisible por la alteración de los regímenes de precipitaciones.

Los cauces formados en épocas de lluvias en las barrancas de Minaltepec, Ajomulco, Los Caldos (con la cascada de San Antón), Los Pocitos, de El Pollo y de El Chiflón, unidos forman el río de Cuernavaca. Con el objetivo de mantener las áreas de infiltración y recarga de agua en el municipio se han decretado zonas de conservación tanto federales como estatales y municipales; entre ellas: zona protectora forestal de la ciudad de Cuernavaca, Parque Ecológico Chapultepec y barrancas urbanas de Cuernavaca (Jaramillo *et al.*, 2018: 36; IMTA, 2007; Ramírez, 2007).

En términos de aguas superficiales, el municipio cuenta con corrientes de tipo perenne. El río Apatlaco nace en el límite de los municipios de Huitzilac y Cuernavaca, drena en dirección sur y en su curso confluyen arroyos del manantial de Chapultepec y de una serie de barrancas. De esa manera, las corrientes superficiales cuentan con un aporte de flujo importante de las aguas subterráneas, motivo por el cual hay una estrecha relación entre el agua superficial y subterránea en el municipio. Las barrancas más relevantes del municipio son: San Antón, Minaltepec, Ajomulco, Canoas, Tetela del Monte, Los Caldos, Los Pocitos, El Pollo, Tecolote y Atzingo (Ramírez, 2007).

La contaminación de las barrancas de Cuernavaca ha implicado una problemática de índole sanitaria, estética y económica, en virtud de la carencia de planeación



urbana, aunado al manejo inadecuado de los residuos sólidos urbanos y al vertido sin tratamiento de aguas residuales domiciliarias y municipales. Frente a dicho escenario, se vienen planteando iniciativas para su rescate y, la más reciente de ellas, es el Plan para el Manejo Integral del Sistema de Barrancas del Norponiente de Morelos, elaborado en 2018 (Jaramillo *et al.*, 2018).

La principal fuente de abastecimiento de agua para uso consuntivo humano es de origen subterráneo, al que hay que añadir los principales aprovechamientos de manantiales. En el estado existen más de cincuenta manantiales de importancia, de los cuales diez se encuentran dentro del municipio de Cuernavaca. Los principales manantiales que afloran en la ciudad de Cuernavaca son: Atzingo, Chapultepec, El Túnel, Pilancón, Tezontepec, Santa María, Tepeite, Sanguijuela, Axomulco y Gualupita. Desafortunadamente algunos de ellos, como es el caso de El Túnel, constituido como una de las principales fuentes de abastecimiento de la ciudad de Cuernavaca, corren el riesgo de contaminarse con aguas residuales domésticas, en virtud del crecimiento desordenado de la mancha urbana. La urbanización provocó el rodeo de los manantiales (Jaramillo *et al.*, 2018; IMTA, 2007).

Lo primero que resalta de la ZMC es la rapidez y características de su proceso de conformación, ya que ha sido en dos décadas y, en gran medida, a través de un tipo de expansión urbana de baja densidad, caracterizada de difusa, la cual ha creado varios espacios periurbanos al mismo tiempo que una ciudad fragmentada, donde el efecto ambiental se magnifica en tanto se pavimenta y divide el entorno natural, incrementándose los costos ambientales. Los conflictos por el agua asociados a este proceso se concentran entonces en el acceso al agua, en el espacio urbanizado, y el tratamiento de las aguas residuales para uso agrícola, en el entorno periurbano.



Cuadro 11.1. Población de la ZMC.

MORELOS	Población										Superficie (km ²)	DMU ¹ (hab/ha)
	1950	1960	1970	1980	1990	2000	2010	2015				
Población total	272 842	386 264	616 119	947 089	1 195 059	1 555 296	1 777 227	1 903 811				
Población urbana total	118 354	205 534	430 968	699 331	1 023 228	1 328 722	1 492 871	1 573 314				
Población rural total	154 488	180 730	185 151	247 758	171 831	226 574	284 356	330 497				
Municipios ZMC	94 552	142 765	260 079	441 391	587 495	798 782	924 964	983 365	1 189.9	70.7		
Cuernavaca ²	54 928	85 620	160 804	232 355	281 294	338 706	365 168	366 321	199.7	73.6		
Emiliano Zapata	4 532	5 237	10 670	20 977	33 646	57 617	83 485	99 493	68.3	56.6		
Huitzilac	3 668	4 238	6 010	8 388	10 573	15 184	17 340	19 231	189.1	30.0		
Jiutepec	4 096	8 448	19 567	69 687	101 275	170 589	196 953	214 137	56.0	93.9		
Temixco	5 081	8 817	19 053	45 147	67 736	92 850	108 126	116 143	102.8	59.3		
Tepoztlán	7 264	8 265	12 855	19 122	27 646	32 921	41 629	46 946	242.4	58.8		
Tlaltizapán	9 351	13 772	19 695	29 302	37 497	45 272	48 881	52 110	238.5	38.1		
Xochitepec	5 632	8 368	11 425	16 413	27 828	45 643	63 382	68 984	93.2	43.2		

Notas:

- 1 Densidad Media Urbana (DMU): el dato de superficie para el cálculo de la DMU se reporta a partir de las Áreas Geoestadísticas Básicas (AGEB) urbanas, de la Cartografía Geoestadística Urbana del Censo de Población y Vivienda 2010.
- 2 La población que se indica por municipio corresponde únicamente a la urbana.

Fuente: Censos Generales de Población 1990, 2000, 2010. Encuesta Intercensal 2015. Anuario Estadístico de Morelos 2017 (Inegi). Zonas metropolitanas (Conapo, 2010).

De acuerdo con el Consejo Nacional de Población (Conapo), se define como zona metropolitana el conjunto de dos o más municipios donde se localiza una ciudad de 50 mil o más habitantes, cuya área urbana, funciones y actividades rebasan el límite del municipio que originalmente la contenía, incorporando como parte de sí misma o de su área de influencia directa a municipios vecinos, predominantemente urbanos, con los que mantiene un alto grado de integración socioeconómica.

Cuernavaca ha sido un punto de atracción de fin de semana para los habitantes del Valle de México desde la década de 1930, cuando por su cercanía, por ferrocarril o carretera, era posible llegar para hacer estancias cortas. Esta condición es clave en su posterior expansión poblacional, ya que en sucesivos intentos de generar polos de desarrollo o proyectos de desconcentración económica, se le ha visto como una opción importante.

El crecimiento urbano inicia en Cuernavaca entre 1930 y 1940, al pasar de 15 102 habitantes a 25 666, pero entre 1940 y 1950 registra la tasa más alta con 7.7% anual y llega 55 000 habitantes. Posteriormente, se sostiene como centro de crecimiento poblacional en la década 1960 a 1970, pero la nueva población urbaniza los municipios adyacentes, dada la modalidad de baja densidad urbana establecida.

Entre 1950 y 1960 se constatan acomodos importantes en las localidades todavía rurales de Jiutepec y Temixco ya que, siendo la agricultura de exportación centrada en la caña de azúcar su principal actividad, previa a la Revolución de 1910, la reforma agraria desestructura profundamente la cadena productiva de este cultivo, lo cual va a repercutir en las condiciones de empleo en una región que previamente había atraído a muchos trabajadores libres a las haciendas cañeras. La intensidad de la reforma agraria genera un cambio demográfico importante, al fijar a la tierra a núcleos de



Cuadro 11.2. Tasas de Crecimiento Medio Anual por décadas, en Morelos, y población urbana en la ZMC, 1950-2015.

MORELOS	Tasa Media de Crecimiento Anual						
	1950-1960	1960-1970	1970-1980	1980-1990	1990-2000	2000-2010	2010-2015
Población total	3.54%	4.78%	4.39%	2.35%	2.67%	1.34%	1.39%
Población urbana total	5.67%	7.69%	4.96%	3.88%	2.65%	1.17%	1.06%
Población rural total	1.58%	0.24%	2.96%	-3.59%	2.80%	2.30%	3.05%
Municipios ZMC	4.21%	6.18%	5.43%	2.90%	3.12%	1.48%	1.23%
Cuernavaca	4.54%	6.51%	3.75%	1.93%	1.87%	0.76%	0.06%
Emiliano Zapata	1.46%	7.38%	6.99%	4.84%	5.53%	3.78%	3.57%
Huitzilac	1.45%	3.56%	3.39%	2.34%	3.69%	1.34%	2.09%
Jiutepec	7.51%	8.76%	13.54%	3.81%	5.35%	1.45%	1.69%
Temixco	5.67%	8.01%	9.01%	4.14%	3.20%	1.53%	1.44%
Tepoztlán	1.30%	4.52%	4.05%	3.76%	1.76%	2.37%	2.43%
Tlaltizapán	3.95%	3.64%	4.05%	2.50%	1.90%	0.77%	1.29%
Xochitepec	4.04%	3.16%	3.69%	5.42%	5.07%	3.34%	1.71%

Fuente: Conapo. Proyección de población municipal. http://www.conapo.gob.mx/work/models/CONAPO/Proyecciones/Datos/Bases_de_Datos/Proyecciones_Municipios/CSV/baseprymunMX.csv, Cepal (2001). Coespo (s/f)

Nota: la población que se indica por municipio corresponde únicamente a la urbana.



población importantes. Pero, a la vez que facilita el asentamiento de esta población como ejidatarios, también establece condiciones para el fraccionamiento del suelo, dando origen a un dinámico mercado de tierras ejidales.

La región de Cuernavaca apareció como alternativa para la incipiente actividad turística de fin de semana. De esta manera, para las décadas siguientes se perfila un proceso de urbanización sobre terrenos ejidales y comunales, tanto para vivienda de la creciente población local, como para el creciente número de casas de fin de semana en fraccionamientos cerrados.

La década 1960-1970 es la de mayor expansión de Cuernavaca pero, ya con anterioridad, Jiutepec se encontraba a tasas de crecimiento anual por arriba de Cuernavaca, lo cual va a durar hasta la década de 1980 para luego desacelerarse en 1990. De esta manera, el crecimiento de Cuernavaca disminuye pero es sustituido por el de los municipios conurbados hacia el sur y oriente: Jiutepec, con tasa promedio anual de 13% entre 1970-1980; posteriormente Temixco y Emiliano Zapata, en 1980-1990, y luego Xochitepec, siendo finalmente Emiliano Zapata el que muestra todavía tasas de crecimiento altas.

Resulta significativo que la actual tasa de crecimiento de población está sostenida en la ZMC por el crecimiento de la población rural. Esto se debe al efecto que tiene el tipo de urbanización difusa que promueve la construcción, tanto de fraccionamientos cerrados para población pendular de distintos niveles socioeconómicos, principalmente de la ciudad de México, así como el desplazamiento por gentrificación hacia áreas con renta del suelo mucho más baja, como son zonas habitacionales populares, sea en unidades habitacionales o por autoconstrucción en Emiliano Zapata y Jiutepec y, más recientemente, Temixco.



Cuadro 11.3. Proyección de población municipal de la ZMC.

Municipios de la ZMC	Población				Tasa Media de Crecimiento Anual		
	2010	2015	2020	2030	2015-2020	2015-2020	2020-2030
ZMC	938 409	997 803	1 054 190	1 149 814	1.23%	1.11%	0.87%
Cuernavaca	370 290	386 337	404 181	433 759	0.85%	0.91%	0.71%
Emiliano Zapata	84 768	94 076	100 835	111 747	2.11%	1.40%	1.03%
Huitzilac	17 618	19 220	20 508	22 749	1.76%	1.31%	1.04%
Jiutepec	199 880	212 716	225 483	247 025	1.25%	1.17%	0.92%
Temixco	109 749	116 668	123 805	136 903	1.23%	1.19%	1.01%
Tepoztlán	42 218	45 878	48 821	53 884	1.68%	1.25%	0.99%
Tlaltizapán	49 577	52 352	55 189	60 375	1.10%	1.06%	0.90%
Xochitepec	64 310	70 556	75 368	83 371	1.87%	1.33%	1.01%

Fuente: Conapo. Proyección de población municipal. http://www.conapo.gob.mx/work/models/CONAPO/Proyecciones/Datos/Bases_de_Datos/Proyecciones_Municipios/CSV/baseprymunMX.csv

Cuadro 11.4. ZMC: municipios centrales y criterios de incorporación.

Municipio	Conurbación física	Integración funcional
Cuernavaca	•	
Emiliano Zapata	•	
Huitzilac		•
Jiutepec	•	
Temixco	•	
Tepoztlán	•	
Tlaltizapán		•
Xochitepec	•	

Fuente: Conapo (2018). Delimitación de las zonas metropolitanas de México 2015, México.



Actualmente, la ZMC se encuentra con una tasa de población estable, en tanto la tasa media de crecimiento se encuentra en un 1.11%, y, con base en las proyecciones de población a 2030, estará incluso por abajo del 1%. Sin embargo, la densidad de población, características de la urbanización, infraestructura disponible y conurbación de cabeceras municipales y pequeñas localidades del conjunto de municipios involucrados, han transformado la dinámica económica de forma sustancial.

La definición de zona metropolitana no obedece a una simple cercanía, sino implica un cálculo respecto a los niveles de dependencia económica, circulación de personas y mercancías (Conapo, 2015) que, en este caso, obedece a criterios estadísticos geográficos. Para este trabajo, lo que resalta es la vinculación entre todos los municipios, excepto Tepoztlán, mediante los cursos de agua superficial en las numerosas barrancas que conforman la topografía de la región, teniendo como cuerpo de agua receptor final al río Apatlaco. La conurbación física implica ya la cercanía entre los distintos espacios urbanos y su fuerte comunicación.

El Conapo (2018) caracteriza esta conurbación como física para todos los municipios vinculados en la mancha urbana, excepto para Huitzilac y Tlaltizapan, en donde todavía existen relictos de vegetación natural o cultivos. Sin embargo, existe una fuerte interconexión con las zonas metropolitanas de Cuautla, Jojutla y Miacatlán, cada una de las cuales integra varios municipios. Este proceso de urbanización exige enormes esfuerzos de ordenamiento territorial que deberán contener la multiplicación de fraccionamientos y zonas habitacionales.



De igual manera, Cuernavaca y alrededores se han transformado sustancialmente a partir, primero, de un proyecto de turismo iniciado en la década de 1950, bajo distintas modalidades y en sucesivas ondas que se han diferenciado considerablemente a partir del mercado al cual ha estado orientada esta actividad terciaria. Esta orientación económica ha tenido importantes consecuencias para los residentes y para quienes llegan a residir, ya que se encuentran inscritos en fuerzas del mercado –casi como únicos operadores, pero en perfecta alianza con instituciones públicas– que transforman los barrios y pueblos originarios (Sánchez, 2006); en particular los centros históricos, buscando en su propio interés su revalorización económica, cultural, espacial y social, fundamentados en la circulación sin restricciones de capital en la construcción (Colomb, y Novy, 2017), así como el desplazamiento de población local mediante la gentrificación de pueblos y centros urbanos.

La otra gran transformación ha sido el conformar un polo de atracción para la población rural de Morelos y, principalmente, de Guerrero, Michoacán y Puebla, a raíz de la instalación del parque industrial entre 1960 y 1970, así como la instalación de múltiples instituciones de investigación y de gobierno con posterioridad al sismo de 1985, que crearon un mercado inmobiliario distinto pero también sobre la base de una débil planeación y regulación de los asentamientos.

En distintas etapas, la ZMC ha atraído a inmigrantes nacionales e internacionales, si bien en la actual década esto se ha reducido significativamente. De esta manera, el espacio urbano se consolidó, en parte, con la creación de fraccionamientos campestres y urbanizaciones cerradas (Rosas y Di Castro, 2013), iniciadas desde la década 1950-1960, fuertemente orientados primero a estratos sociales de ingresos altos, pero que a la fecha continúan con un perfil muy diversificado, tanto para casas de fin de semana de trabajadores de la ciudad de México, como para extranjeros de altos ingresos. En



menos de treinta años, Cuernavaca pasó de ser una ciudad compacta a una ciudad extendida, mediante un proceso de privatización del espacio urbano.

La fragmentación socioterritorial que generan las urbanizaciones cerradas de viviendas de alta seguridad corresponden a un proceso por el que la ciudad se divide en trozos urbanos a partir del establecimiento de fronteras interiores (Rosas y Di Castro, 2013), muchas veces invisibles, que se manifiestan cotidianamente mediante patrones de desplazamiento, valorización del suelo urbano, infraestructura de todo tipo y actuando como una pauta de la desigualdad social. En cuanto a la infraestructura de agua y saneamiento, el escenario de desigualdad social se expresa con plenitud, ya que la infraestructura de abastecimiento se concentra en estos fraccionamientos, dejando con un acceso precario a las zonas de autoconstrucción o vivienda obrera.

Estos conflictos por el espacio urbano, el control del mercado inmobiliario y el ordenamiento territorial tienen una larga trayectoria. En particular, se han enmarcado en la conservación de las áreas verdes que representan las barrancas dentro del espacio urbano de Cuernavaca (García Barrios, 2012, 2013), pero también ha implicado una lucha por conservar áreas de reserva, creación de espacios verdes de carácter público y creación de una política pública, en tal sentido. Sin embargo, los recursos hídricos no han sido incorporados de manera central en la arena pública de los problemas ambientales de la ciudad y su área metropolitana, quedando más bien supeditadas a la conservación de áreas de captación, a la necesidad de ampliar su infraestructura y, principalmente, como una arena pública distinta en cuanto a descargas urbanas y su efecto sobre los módulos del distrito riego (Zavaleta, 2013; Hernández, 2016).

Esta expansión de infraestructura urbana se ha dado sobre el espacio periurbano y el agrícola ya no tan próximo, a través de una retícula que fragmenta zonas de riego



y cultivo, como son los conflictos contra la urbanización de La Ciénega, municipio de Emiliano Zapata, que movilizó en 2006 a los 13 pueblos, encabezados por Xoxocotla y el de La Tortuga, donde el pueblo de Tetelpa se opuso a la construcción de Casas GEO, ya en el municipio de Zacatepec, o en otras áreas de lo que resta de la zona de riego de los módulos Las Fuentes y Alto Apatlaco del Distrito de Riego 16 Estado de Morelos. Esto transforma la conurbación funcional de forma importante, en tanto que transforma la relación entre las áreas de consumo y producción de rurales a urbanas.

Desde los años setenta existe una transformación en la composición del Producto Interno Bruto del estado de Morelos, que expresa estos cambios en la región de Cuernavaca. Primero, a partir del impulso industrializador que se tenía en esos años que promovía, al mismo tiempo, una especialización en la caña de azúcar como producto exportable y generador de divisas y, por el otro, la desconcentración industrial hacia ciudades medias, como era ya Cuernavaca, con la instalación de fábricas textiles. En este caso, la instalación de uno de los primeros parques industriales, CIVAC, en 1966, que aceleró otro tipo de urbanización: la de clases trabajadoras que se acomodaban sobre las áreas expropiadas para tal fin a ejidos y comunidades de los municipios de Cuernavaca, Jiutepec y Emiliano Zapata. Este impulso industrializador encontraría límites pronto. Ante ello, para las décadas de los años noventa y adelante los sectores con mayor dinámica han sido el comercial y el de servicios, siendo aún ésta la tendencia dominante; la terciarización de la economía.

Sámamo (2008) caracteriza estos cambios desde la perspectiva de los habitantes de Chiconcuac, pequeña localidad, ya conurbada, ubicada al sur de la cabecera municipal de Emiliano Zapata. Ahí, la mayoría de los ejidatarios han optado por buscar un empleo en sectores diferentes al agrícola, siendo esta última una actividad secundaria, ya sólo de una fracción mínima de la población original. Ahí se han construido numerosos



fraccionamientos sobre terrenos agrícolas, pero a través del mercado inmobiliario, los recién llegados, con mayores posibilidades económicas, han comprado los predios dentro de la comunidad, desplazando a los anteriores propietarios.

Al lado de esto suceden fenómenos de contraurbanización que implican cambios de residencia de una parte de la población local de las zonas céntricas hacia asentamientos situados en la periferia. Ello explica el hecho de que estas áreas crezcan más rápido que el centro del área metropolitana, al tiempo que los flujos migratorios ciudad-ciudad y desde las grandes metrópolis hacia ciudades de menor tamaño se tornan predominantes. También, existe un flujo importante de desplazamientos diarios que se mueven desde diferentes localidades: de la zona urbana central y viceversa. Asimismo, existe un desplazamiento de la población urbana que está cambiando su residencia hacia las zonas periurbanas, transformando poco a poco el paisaje rural y la forma de vida. Esto ha dado lugar a la conformación de una gran región “rururbana” que abarca prácticamente todo el estado (Sámamo, 2015), pasando de un tipo rural a otro de carácter urbano. Es la población rural que participa cada vez más en actividades industriales, comerciales y de servicios, coexistiendo con actividades agropecuarias.

11.5. Consecuencias sociohídricas de la expansión urbana

La urbanización siempre ejerce una gran presión sobre los ecosistemas y recursos hídricos. En el caso que nos ocupa, no ha sido la excepción en los últimos cincuenta años. El incremento en la demanda de agua y la limitación de la recarga de mantos acuíferos implican más extracciones de agua superficial o subterránea, al mismo tiempo que por efecto del asfalto y concreto, existe menor infiltración al acuífero y



escorrentías más rápidas (Ramírez, 2007; Carreño, 2011; Hernández, 2007). A esto hay que agregar que una parte considerable del crecimiento urbano proviene de asentamientos sin planificación, o bien, se da en la periferia de áreas metropolitanas, donde no existe infraestructura suficiente y adecuada.

Los habitantes de la ciudad se benefician de los ecosistemas que brindan servicios, como agua limpia, tratamiento de aguas residuales, productos agrícolas y aire limpio. Sin embargo, los flujos netos de servicios ecosistémicos en las ciudades están aumentando incluso más rápidamente que las poblaciones urbanas, y también lo es la distancia promedio de estos flujos. Con el cambio climático se pueden modificar todos los elementos del ciclo del agua; las ciudades son particularmente vulnerables a: sequías prolongadas, mayores riesgos de inundación, suministro insuficiente de agua en cantidad y calidad, saneamiento, drenaje y a efectos sobre los servicios ecosistémicos dentro y en las áreas circundantes.

El impacto de una ciudad en sus recursos hídricos se debe analizar desde la perspectiva del “metabolismo urbano del agua” (Díaz, 2014; García *et al.*, 2014), en tanto permite vincular cantidad y calidad del agua, ciclo hidrológico de aguas subterráneas y superficiales, servicios públicos, conectividad a la red de agua, uso del suelo y asentamientos con las dimensiones sociales, económicas y políticas. El metabolismo urbano del agua hace referencia a los procesos concretos mediante los cuales el agua es extraída, usada y descargada como agua residual, pero se debe ampliar hacia el concepto de “huella hídrica” de la ciudad, en cuanto permite visualizar los impactos que una ciudad tiene en los recursos hídricos a escalas local, regional y global. En la ciudad se consumen productos provenientes de otras regiones que implicaron el consumo de ingentes cantidades de agua. La mayoría de las áreas metropolitanas tienen una huella hídrica que va más allá de sus límites directos. El metabolismo urbano del agua se



conecta con el ciclo hidrosocial, entendido éste como la vinculación entre el ciclo hidrológico y los procesos sociales asociados al agua, pero centrados en el análisis de las relaciones de poder, siendo el juego de las escalas la que permitirá visualizar qué tanto entran en el análisis los fenómenos organizativos o económicos respecto a los cambios hidrológicos (Swyngedouw, 2009).

En México, varias regiones alcanzaron sus límites hidrológicos en las últimas décadas del siglo pasado. Por el ejemplo, el Valle de México, la cuenca Lerma-Chapala y la cuenca del río Bravo están en alto estrés hídrico, y poco más de cien acuíferos (Conagua, 2016: 51-54, 84). El paradigma actual para la resolución de la problemática hídrica del país enfatiza la redistribución del agua disponible, siguiendo criterios de población y actividad económica, a los cuales habría que agregar el peso político de los sectores sociales involucrados.

La cuenca del río Balsas –de la cual el río Apatlaco es una subsubcuenca–, es una región hidrológica técnicamente cerrada, ya que toda el agua que escurre por ella ya está distribuida entre distintos usuarios y usos. El hecho obedece a una política gubernamental de uso del agua hasta sus límites, e incluso, más allá de sus límites ecosistémicos.

En su caso, a diferencia de cuencas mucho más secas del norte del país o con mayor densidad de población, como el valle de México y la cuenca Lerma-Chapala, la cuenca del río Balsas se caracteriza por su orografía accidentada, lo que siempre ha obstaculizado



los proyectos de infraestructura de riego en amplias zonas, quedando el mismo restringido a las vegas de los ríos principales y a algunos valles, en especial a la región del Alto Atoyac, Amacuzac, así como en Tierra Caliente, Michoacán, en la subcuenca del río Tepalcatepec. El cierre de la cuenca se explica más por el hecho de que el uso del agua está concentrado en la parte baja para la generación de energía hidroeléctrica (Parra, 2008) y no tanto para la agricultura, como usualmente sucede en cuencas con nula disponibilidad, donde la solución es quitarle agua a la agricultura para transferirla al uso urbano-industrial. Este uso está sustentado en los proyectos que para tal fin se dieron desde la década de los años treinta, cuando se visualizó que por características propias de la cuenca ahí no se podrían ampliar las superficies de riego (Parra, 2008).

Si ubicamos a la ZMC en la Región Hidrológica-Administrativa del Río Balsas, se observa que en conjunto ya es objeto de trasvases hacia la cuenca del Valle de México, a partir del volumen extraído de la subcuenca del Cutzamala hacia el valle de Toluca, y de ahí a Ciudad de México. El trasvase ha resultado la principal tecnología para reducir el déficit en ciudades y regiones hidroagrícolas, y se define como la transferencia de volúmenes de agua de áreas o regiones que se estima tienen excedentes o disponibilidad hídrica, a regiones o áreas con déficit (Shiklomanov, 1999). Pero estas soluciones tecnológicas sólo trastornan aún más los flujos naturales de agua, ecosistemas y sociedades locales que se afectan al tener que amortizar las externalidades negativas, mientras que los grandes centros urbano-industriales se favorecen. Todos estos procesos de redistribución del agua al interior o entre regiones se realiza con base en relaciones de poder asimétrico y desigualdad socioeconómica. En el caso de la cuenca del Apatlaco, como parte de la región del río Amacuzac, en la década de 1960 se planeó un trasvase hacia el Valle de México, el cual nunca se llevó a cabo por dificultades técnicas, aunque todavía hace una década existían intereses que continuaban planteándolo como una solución para abastecer a la Ciudad de México (González y Hurtado, 2006).



Es importante visualizar la cuenca del río Apatlaco como una cuenca urbanizada, donde el metabolismo urbano de agua, energía y flujos económicos y personas ejercen presión sobre los recursos hídricos, más allá del espacio urbano pero que, al mismo tiempo, en el espacio urbano se consumen productos y servicios que implicaron volúmenes de agua en otras regiones hidrológicas.

En México, las ciudades no cuentan con un marco general que permita guiar la gestión pública en favor de su sustentabilidad. En la práctica tampoco existe una regulación en las decisiones públicas locales para enfrentar el crecimiento y expansión de las ciudades en el territorio adyacente (Figuroa, 2014: 2-3). No obstante, los efectos negativos de la urbanización se acrecientan con la expansión física de las áreas urbanas de baja densidad, en tanto ésta tiende a fragmentar aún más los ecosistemas y el ciclo hidrológico. Cuernavaca expresa esta problemática con creces, al carecer del arreglo institucional y el sistema de planeación urbana adecuado, y abarcar en su área metropolitana otros municipios incluso más frágiles institucionalmente (Monroy, 2006, 2011). El área que abarca la cuenca del Apatlaco, en lo correspondiente a superficie total de los municipios conurbados, es de 3 352.62 km², el 35% de todos los municipios de la cuenca, pero algunos municipios están marginalmente en la cuenca. La superficie de 806.29 km² es de municipios conurbados dentro de la cuenca, que representan el 72% del total de ésta.

El abastecimiento de agua potable a la población de Cuernavaca se da mediante la operación de 133 fuentes de abastecimiento, con 78 equipos de bombeo, de los cuales cinco corresponden a manantiales y el resto a pozos. Los manantiales que abastecen de agua potable a la ciudad son: Chapultepec, Lomas Pinar (manantial de la India), Santa María, El Túnel y El Cebadal. Asimismo, los manantiales Sanguijuela y Axomulco se utilizan para otros fines. Las norias Chamilpa I y Ocotepec I también contribuyen



para la dotación de agua potable al municipio, complementando la dotación de agua para suplir la demanda con la extracción de pozos profundos. La Cabecera Municipal y las principales localidades reciben el servicio que proporciona el organismo público descentralizado del municipio, Sistema de Agua Potable y Alcantarillado de Cuernavaca (Sapac), de tal suerte que éste opera 86 fuentes de abastecimiento (del total de 133); una más operada por la comunidad de Santa María, otra por el poblado de Ahuatepec y 45 son concesionadas por la Comisión Nacional del Agua (Conagua) a particulares y fraccionamientos (Jaramillo *et al.*, 2018; IMTA, 2007).

Como puede observarse en el Cuadro 11.5, la oferta de agua en el municipio (gastos de extracción) es superior a la demanda. Sin embargo, es pertinente resaltar que no necesariamente el tiempo de bombeo es equivalente a las 24 horas del día, toda vez que en muchos pozos se opta por limitar el servicio a determinadas horas de extracción, dado que el organismo operador no cuenta con recursos económicos suficientes para cargar con los elevados precios de la energía eléctrica utilizada para el bombeo del agua. Si bien podemos asegurar que la capacidad de las fuentes de abastecimiento es superior a la demanda, no podemos soslayar el elevado incremento de la demanda los fines de semana y en vacaciones por el aumento poblacional de la ciudad (IMTA, 2007).

Cuadro 11.5. Demanda y oferta de agua potable en Cuernavaca.

Demanda			Oferta		
Población (habitante)	Dotación (l/hab/día)	Demanda gasto medio diario (lps)	Fuentes de abastecimiento	Gasto de aforo (lps)	Gasto de extracción (lps)
349 102	300	1 212.16	133 pozos y seis manantiales	3 632.00	3 123.00

Fuente: IMTA, 2007.



Para Cuernavaca, los datos del acuífero indican que en 2009 su recarga media anual fue de 395 hm³/año (DOF, 2009), en contraste con los años cincuenta, cuando se tenía 50% mayor capacidad de recarga (Monroy, 2006: 52). Por ello, si continúan las tendencias de la demanda de agua, junto con las de ocupación del suelo, se proyecta un 20% de déficit para la siguiente década (Monroy, 2006: 46-57).

Los usos de suelo de densidad baja generan alrededor del 66% de la demanda total de agua municipal y solamente concentra el 37% de la población de Cuernavaca. Por lo tanto, la distribución del agua es inequitativa, ya que los habitantes de altos ingresos en las zonas residenciales de baja densidad habitacional consumen mucho más que los habitantes de menores ingresos de las zonas de media y alta densidad habitacional. Esto se debe, en gran parte, a que las estructuras tarifarias no sancionan a los altos consumidores con precios significativamente altos, pudiendo consumir más de 70m³ y sólo pagar 0.085 de salario mínimo; es decir, pagan aproximadamente 5.42 pesos por m³ consumido (Figuroa, 2014).

Los acuíferos ubicados en la cuenca del Apatlaco son Cuernavaca y Zacatepec. El acuífero Cuernavaca abarca los municipios de Huitzilac, Cuernavaca, Emiliano Zapata, Jiutepec y Temixco, así como la parte norte del municipio de Xochitepec y el poniente de los municipios de Tepoztlán y Yautepec. Asimismo, la zona norte de dicha región hidrogeológica incluye parcialmente los municipios de San Pedro Atlapulco, Ocuilán de Arteaga y Chalma, Estado de México, y las alcaldías Milpa Alta y Tlalpan, de la Ciudad de México. El acuífero Cuernavaca incluye parcialmente las cuencas de los ríos Tembembe, Apatlaco y Yautepec. Por su parte, los municipios bajo los cuales subyace la zona acuífera de Zacatepec son: Miacatlán, Mazatepec, Tetecala, Coatlán del Río, Amacuzac, Puente de Ixtla, Jojutla, Zacatepec, Tlaltizapán y Tlaquiltenango, así como la parte sur de Xochitepec, todos en Morelos. El acuífero Zacatepec se localiza al sur



de las cuencas de los ríos Chalma, Tembembe y Apatlaco, así como en la confluencia del Yautepec con el Amacuzac (Conagua, 2008: 53).

Las zonas de recarga de los acuíferos se encuentran en las sierras Chichinautzin y Zempoala. Es evidente que la disponibilidad del agua en los acuíferos de la cuenca del río Apatlaco depende principalmente de los ecosistemas ubicados en el norte del estado, y preocupa el hecho de que se ejerza una presión constante sobre regiones destinadas a la conservación ambiental, sea a través de tala indiscriminada de árboles, invasión de terrenos o incendios provocados para permitir el cambio de uso de suelo, razón por la cual es imprescindible fortalecer las medidas de control y sanciones, así como implementar estrategias robustas de mitigación frente al cambio climático (Aguilar Benítez, 1999; Ortiz Hernández *et al.*, 2013).

El cambio climático afectará directamente los acuíferos debido a sus consecuencias en la disminución de precipitación e incremento de temperatura. De hecho, Bolongaro *et al.* (2013) construyeron un *Índice de Vulnerabilidad de los Acuíferos de Morelos*, estableciendo como indicadores los siguientes parámetros: excedente (mm), disponibilidad (hm^3), población (% estado), dotación de agua (% población) e Índice de Calidad del Agua (ICA). Los resultados para los acuíferos de la cuenca del Apatlaco revelan que el acuífero Cuernavaca presentará una vulnerabilidad media en el escenario A1B, con valores que oscilan entre 4.88 (2020), 4.52 (2050) y 5.18 (2080); mientras que para el escenario A2, los valores encontrados en las proyecciones para los años 2020, 2050 y 2080 son 5.43, 5.34 y 5.45, respectivamente, manteniendo su vulnerabilidad media. Con relación al acuífero Zacatepec, presentará una vulnerabilidad alta en ambos escenarios. Sus valores son, para el escenario A1B: 6.61 (2020), 6.58 (2050) y 6.93 (2080); en el escenario A2, 6.88 (2020), 6.85 (2050) y 6.96 (2080) (Ortiz Hernández *et al.*, 2013).



Si bien según las cifras oficiales en la actualidad no hay un problema evidente de sobreexplotación de los acuíferos en la cuenca del río Apatlaco, la situación del saneamiento en la cuenca no es un asunto de menor relevancia. De hecho, para encauzar acciones orientadas a reducir las dimensiones de dicha problemática se ha creado la Comisión Intersecretarial e Intersectorial para la Recuperación Ambiental de la Cuenca del río Apatlaco, constituyéndose un parteaguas en iniciativas de este tipo, con el objetivo de vincular experiencias y recursos de los gobiernos municipal, estatal y federal, para sumarlos y complementarlos con las iniciativas y aportes que provienen de la sociedad. Dicha iniciativa se enmarcó en los compromisos asumidos por el gobierno del presidente Felipe Calderón (2007-2012), de priorizar el saneamiento de las aguas residuales y lograr el tratamiento del 60% de las aguas residuales colectadas en los alcantarillados (Conagua, 2008).

El *Saneamiento integral de la cuenca del río Apatlaco* fue uno de los proyectos prioritarios definidos en el sexenio 2007-2012, compuesto por tres vertientes: 1) conformación de la Comisión de Cuenca del río Apatlaco, con la concurrencia de los tres niveles de gobierno, usuarios del agua y organizaciones de la sociedad civil, 2) elaboración de un diagnóstico de la calidad del agua en la cuenca y 3) definición de las acciones a realizar para resolver esta problemática (Conagua, 2008).

1.1.6. Gestión de agua potable en el municipio de Cuernavaca

Nadie podrá poner en duda que el acceso al agua potable es una condición inherente a la salud y al bienestar de la población, más aún si ésta cumple con las características



señaladas en la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos inherentes al derecho humano al agua: suficiente, salubre, aceptable y asequible. La Organización Mundial de la Salud (2016) reconoce que las mejoras en el abastecimiento de agua, el saneamiento y la gestión de los recursos hídricos impulsan el crecimiento económico de los países y tienen un decisivo impacto en aspectos tales como la reducción de la pobreza.

El presente apartado inicia con la presentación de datos estadísticos sobre la gestión del agua en el municipio de Cuernavaca, para posteriormente abordar las problemáticas que muestra la actual gestión y desafíos de la misma, en función del cambio climático. Las fuentes de información consultadas fueron diversas, comenzando por las oficiales: Instituto Nacional de Estadística y Geografía (Inegi), Conagua y planes de desarrollo locales, y luego contrastándolas con fuentes no oficiales, como la emanada del Centro de Investigación Morelos Rinde Cuentas, A. C.

El municipio de Cuernavaca se abastece primordialmente de agua del subsuelo, particularmente de pozos profundos (157), ya que significa una fuente constante para la provisión del recurso, seguido por agua de manantial (34), y en tercer lugar por agua de otras fuentes como presas, canales, arroyos, lago, laguna, bordos, galería filtrante, norias y otros (7) (Ceagua, 2017).

Anualmente se extraen 133 860 miles de metros cúbicos de pozos, frente a 9 201 miles de metros cúbicos de otras fuentes y 3 172 miles de metros cúbicos extraídos de manantiales. Según fuentes oficiales, 91% de la demanda urbana es para uso doméstico y, el resto, se distribuye en usos comerciales e industriales. En cuanto a la disponibilidad per cápita en Cuernavaca, una estimación señala que es de 123.58 m³/persona/año.



Cuadro 11.6. Fuentes de abastecimiento por municipio y volumen promedio de extracción de agua.

ENTIDAD	RUBRO	POZO FRONFUNDO	MANANTIAL	RÍO	OTROS	TOTAL
ESTATAL	Fuente	2 154	208	157	161	2 680
	Volumen	376 785	44 421	73 419	49 372	543 996
Cuernavaca	Fuente	157	34	-	7	198
	Volumen	133 860	3 712	-	9 201	146 773
Emiliano Zapata	Fuente	42	-	-	-	42
	Volumen	10 892	-	-	-	10 892
Huitzilac	Fuente	-	3	-	1	4
	Volumen	-	1 266	-	315	1 581
Jiutepec	Fuente	90	3	-	1	94
	Volumen	20 434	723	-	313	21 470
Jojutla	Fuente	77	4	11	3	95
	Volumen	10 003	4 443	2 220	634	17 301
Tlaltizapan	Fuente	156	7	4	2	169
	Volumen	11 517	3 307	1 958	661	17 443
Temixco	Fuente	43	1	99	-	143
	Volumen	14 272	170	117	-	14 558
Puente de Ixtla	Fuente	76	22	6	25	129
	Volumen	10 638	211	4 582	958	16 389
Xochitepec	Fuente	63	4	-	1	68
	Volumen	11 910	83	-	8	12 001
Zacatepec	Fuente	36	-	-	-	36
	Volumen	10 135	-	-	-	10 135

Fuente: elaboración propia, con base en Ceagua, 2017.



En términos de **infraestructura hidráulica**, no todos los pozos ni manantiales se encuentran en operación. Datos oficiales de 2006 hacen referencia a 58 pozos profundos y cuatro manantiales fuera de operación. De los 64 tanques de regulación o almacenamiento con los que se cuenta, sólo 47 están en servicio, con una capacidad de 27 408 m³, y se tienen 354.8 km de líneas de conducción (Secretaría de Desarrollo Urbano y Obras Públicas de Morelos, 2016).

Por las condiciones en las que se encuentra la infraestructura, se habla de pérdidas del orden del 44%, principalmente por fugas en tuberías (34%) y por escurrimientos en tanques (10%). El municipio no cuenta con plantas potabilizadoras, pero sí con ochenta equipos de cloración. La calidad del agua se monitorea a fin de garantizar la potabilidad y calidad del agua para consumo humano (NOM-127-SSA1-1994), con supervisiones de la Conagua, y se recibe la inspección de la Secretaría de Salud de Morelos. El agua se clora cada tercer día.¹

Con 17 plantas de bombeo y sesenta tanques de regulación se distribuye agua por la red, que tiene una longitud de 850 km. El organismo operador municipal tiene registradas 69 384 tomas domiciliarias: 91.1% habitacionales, 8.5% comerciales y 0.4% industriales.

El tipo de servicio que se presta es intermitente; es decir, se aplican tandeos explicados por la disminución del caudal en la época de estiaje y falta de infraestructura, tales como tanques elevados para ciertas zonas de la ciudad.² La cobertura de la red es incompleta, por lo que colonias como Ahuehuetitla, Sacatierra, Lomas de Cortés, Hacienda Tetela,

¹ Boletín_002_072. Sapac. Disponible en: [https://sapac.gob.mx/wp-content/uploads/2018/04/BOLET% C3%8DN_072.pdf](https://sapac.gob.mx/wp-content/uploads/2018/04/BOLET%20C3%8DN_072.pdf)
² Casos de colonias como Ahuehuetitla y Lomas de Cortés.



Lázaro Cárdenas, Primero de Mayo, Texcaltepec, Federación, Tlalquiltopan y el sur de Ocotepc se abastecen de forma no convencional; es decir, mediante pipas.

Finalmente, es importante señalar que aparte de las fuentes de almacenamiento que administra el Sapac, varios fraccionamientos de la ciudad se abastecen por medio de pozos privados, con concesiones otorgadas por la Comisión Nacional del Agua.

La cobertura de agua potable en la entidad, de acuerdo con la Conagua (2016) y basándose en datos estadísticos de la Encuesta Intercensal de Inegi 2015, con una población de 1 903 811 habitantes, es del orden del 90.5%; es decir, que 1 721 357 personas cuenta con cobertura de agua potable, mientras que 180 324 personas carecen de éste.

En contraste, la Comisión Estatal de Agua (Ceagua) Morelos, en su publicación *Estadísticas de Agua en Morelos, 2017* indica que la cobertura es del 95.5%, dato positivo considerando que la cobertura nacional es de 95.7%. En la misma publicación, con un manejo más puntual de la cobertura y considerando una población de 1 901 681 personas ocupantes de viviendas particulares habitadas en la entidad, se indica que el 94.1% de las mismas disponen de agua entubada y 5.8% la obtienen por acarreo. El 63.8% del agua entubada se encuentra dentro de la vivienda y 36.2% fuera de ella, pero dentro del mismo predio. Del agua a la que se accede por acarreo en Morelos, el 42.9% corresponde a acarreo por pipas.

En Cuernavaca, el 97.8% de los ocupantes de viviendas habitadas cuenta con agua entubada y sólo 2.2% disponen de agua por acarreo, de un total de 365 779 ocupantes. Del dato total de agua entubada, 88.8% está dentro de la vivienda y el 11.2% fuera de ella, pero dentro del mismo terreno. Al igual que en la entidad, las pipas son la forma de



acarreo más frecuente en el municipio, representando el 44.2% del porcentaje total de agua que se suministra de manera no convencional.

Si nos referimos a tomas instaladas, tenemos que en el municipio de Cuernavaca se registran 102 878, de un total de 366 871 en toda la entidad. De este total estatal, 343 530 tomas son para el uso doméstico y el resto se reparten en uso comercial, industrial y público. El dato de Cuernavaca no se presenta desglosado, por lo que es necesario tomarlo con reserva. No obstante, como en los demás casos, Cuernavaca es el municipio que más tomas de agua tiene en toda la entidad y cuenca, independientemente de su uso.

Los relativos altos porcentajes de cobertura de agua potable en Cuernavaca se deben a que este municipio es, sin duda alguna, el más urbanizado de la entidad, lo que muy seguramente se repite en el resto de los servicios públicos.

Referente a la cobertura de drenaje, la población estatal registra a 1 820 806 personas que cuentan con el servicio (95.7%), mientras que 80 875 habitantes aún carecen del mismo. Está pendiente dotar al 4.3% de la población de cobertura de drenaje en los próximos años. Las estadísticas estatales reportan para 2015, 92.7% de viviendas que cuentan con este servicio, y para el municipio de Cuernavaca, el 98.9% de las viviendas lo tienen (Ayuntamiento Constitucional de Cuernavaca, 2016).

La infraestructura de tratamiento de aguas residuales en el municipio de Cuernavaca asciende a 26 plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR) en 2016; dato significativo en relación a las 17 plantas registradas en 2012. En la entidad se contabilizan 155 PTAR, tanto públicas como privadas, para ese mismo año (Ceagua, 2017: 120).



Cuadro 11.7. Viviendas con agua entubada, con agua por acarreo, drenaje e infraestructura para el tratamiento.

	Con agua entubada %	Con agua por acarreo	Con agua entubada dentro de la vivienda	Con agua entubada fuera de la vivienda ¹	Con drenaje %	PTAR en operación
Entidad	94.10	5.81	63.84	36.16	92.7	155
Cuernavaca	97.70	2.18	88.8	11.2	98.84	26
Emiliano Zapata	97.65	2.35	66.97	33.03	98.76	8
Huitzilac	78.08	21.79	49.43	50.57	95.94	1
Jiutepec	97.70	2.27	80.99	19.01	99.21	25
Jojutla	96.72	3.19	67.04	32.96	98.05	6
Puente de Ixtla	93.10	6.33	54.89	45.11	96.71	7
Temixco	97.07	2.89	62.37	37.63	98.93	3
Tlaltizapán	93.76	6.15	45.91	54.09	97.35	3
Xochitepec	92.78	6.98	54.83	45.17	97.23	9
Zacatepec	98.51	1.14	74.91	25.09	98.95	6

Fuente: Elaboración propia con base en CEAGUA, 2017 y Secretaría de Desarrollo Urbano y Obras Públicas de Morelos, 2016.

11.7. La gestión del agua urbana: problemas

La gestión urbana del agua representa problemas complejos y un reto permanente para los municipios, quienes tienen la función de prestar el servicio de agua potable y saneamiento. La Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE, 2013) resalta la necesidad de contar con proveedores de servicios de agua autónomos, eficientes y financieramente sostenibles, mediante mecanismos como la rendición de cuentas, monitoreo social y participación de usuarios.



Toda esta debilidad institucional para atender un tema clave para el desarrollo de los municipios plantea un gran reto relacionado no sólo con la necesidad de fortalecimiento institucional a escala local, sino con la necesidad de fortalecimiento de la coordinación entre instituciones y sus capacidades para movilizarse o adaptarse. De acuerdo con Noble *et al.* (2014), citado por Transparencia Mexicana A. C. (2017: 19-20), los elementos críticos de diseño institucional para entender las necesidades institucionales de adaptación al cambio climático son:

1. Grado de flexibilidad a través y al interior de las instituciones para evaluarse y reorganizarse.
2. Grado en que la adaptación puede ser incorporada en el proceso, a corto y largo plazos, de toma de decisiones.
3. Potencial para la coordinación, comunicación y cooperación efectiva a través de diferentes órdenes de gobierno y sectores.
4. Grado en que las instituciones son lo suficientemente robustas para atender las necesidades de los tomadores de decisión e involucrarlos en las decisiones y acciones de adaptación.

Al igual que la mayoría de los organismos operadores del país, los de Morelos en general, y el de Cuernavaca, en particular, presentan grandes deficiencias, lo que impacta en la capacidad del operador para dar el servicio a una población y demandas crecientes.

La prestación del servicio de agua potable por lo común es vista desde una perspectiva técnica-operativa, donde se toman las decisiones que afectan a los receptores de los servicios (Peña y Flores, 2017). Las evaluaciones que se efectúan a los operadores de agua, de igual manera, priorizan lo técnico y lo operativo al considerar casi exclusivamente variables e indicadores de operación y no de satisfacción de los



servicios, o bien, de aspectos estrechamente relacionados con estos, como la salud y el medio ambiente. Ello es un aspecto que precisa ser replanteado y reconsiderado, al tratarse de un servicio básico para la reproducción personal, familiar y de la sociedad en general.

Por tal motivo, resulta de gran valía contar con información de ejercicios ciudadanos que muestren nuevas y frescas perspectivas de la gestión del agua en general, y de la prestación de los servicios de agua potable y saneamiento, en particular, que de alguna manera indiquen a las autoridades sus debilidades y puntos de mejora, así como las acciones a realizar con la participación de la ciudadanía.

En la ciudad de Cuernavaca la prestación del servicio de agua potable y saneamiento está a cargo del ya mencionado Sapac, institucionalizado por decreto en 1995. Anteriormente, las instituciones a cargo de esta función fueron: Junta Federal de Agua Potable; Sistema de Agua Potable del Municipio de Cuernavaca; Comisión Estatal de Agua Potable y Saneamiento de Morelos y el Sistema de Agua Potable y Saneamiento de Cuernavaca.

Derivado de un estudio ciudadano publicado en noviembre 2016 (Sisniega y Salinas) y encabezado por la organización de la sociedad civil denominada Centro de Investigación Morelos Rinde Cuentas A. C., para evaluar la administración del agua por parte del Sapac, se identificaron las fallas y problemáticas más apremiantes a atender para mejorar el servicio. A continuación se comentan:



Cuadro 11.8. Algunas problemáticas del servicio de agua potable y saneamiento en Cuernavaca.

Problemática	Descripción
Tandeos de agua	Sólo el 0.48% de la población recibe agua de forma permanente; ² cada tercer día una colonia de la ciudad no tiene agua; el 57% de los habitantes de Cuernavaca padecen fallas en el suministro.
Falta de cobertura de agua entubada	Aún hay 40 mil personas que no cuentan con agua entubada dentro de sus viviendas, 8 400 que reciben agua por acarreo y, de ellos, 3 500 que se surten a través de pipas.
Pérdidas físicas y agua no contabilizada	Ambas rebasan el 50%, siendo su eficiencia física para 2015 del 47.50% (PMDC, 2016).
Inconformidades por el servicio	El 28.2% de la población está insatisfecha con el servicio de agua potable de la ciudad. Los usuarios otorgan una calificación al servicio de agua potable de 6.5%, y 41% al de drenaje y alcantarillado. Se tienen registrado 593 reclamos en el periodo de 2011 a 2016, por cada mil tomas, lo que significa un incremento en 45.8% (Pigoo, 2017) respecto a años anteriores.
Contaminación de barrancas	Por descargas de aguas residuales crudas. Los esfuerzos por elaborar y poner en práctica planes y programas para la protección y manejo integral de las barrancas de Cuernavaca y del norponiente de Morelos no han tenido continuidad.

Fuente: elaboración propia, con base en Sisniega y Salinas, 2016.

Para dar atención a las problemáticas del servicio de agua potable, las propuestas de referida asociación civil son:

1. Eliminar pagos en efectivo.
2. Poner fin a los descuentos discrecionales.
3. Reclasificar cuentas
4. Detectar tomas clandestinas de agua
5. Implementar la medición electrónica.



6. Congelar plazas.
7. Cambiar equipos de bombeo.

Además de las mejoras que con estas medidas se podrían suscitar, se destaca la posibilidad de ahorrar recursos económicos de manera significativa, lo que podría traducirse como oportunidad a inversiones en aspectos clave en el funcionamiento del sistema urbano del agua. De acuerdo con el estudio, el ahorro en estos rubros podría ascender a 297 millones 606 mil 981 pesos anuales; es decir, dos veces la suma que hoy en día se recauda por derechos de agua y saneamiento.

En opinión de la asociación civil, el deterioro de la calidad de los servicios tiene que ver con cuestiones de inestabilidad en la gobernabilidad interna del organismo operador, al crecimiento del número de usuarios y a la falta de recursos económicos.

Los tandeos son un buen ejemplo de un servicio de mala calidad –que rebasa los aspectos técnicos– por el impacto que tiene en las economías y organizaciones familiar y personal el recibir agua corriente sólo unas horas del día, ciertos días a la semana. Esta situación posiciona a Cuernavaca como uno de los municipios con menor número de usuarios con servicio continuo de agua en el país. Dicha situación no se refleja en los datos estadísticos de cobertura de agua, por lo que en realidad es mucho mayor la población que termina siendo servida a través de métodos alternativos como las pipas. Para quienes reciben agua en pipas, el gasto es aproximadamente cinco veces mayor con respecto a quienes cuentan con la infraestructura.

Los problemas derivados de la urbanización no planificada de Cuernavaca dentro de la cuenca del Apatlaco, manifestados en la ocupación incompleta de amplias zonas de vivienda, construcción en zonas de riesgo (barrancas) y contaminación derivada



de la actividad industrial, entre las más relevantes, fueron perfilando las problemáticas de gestión del agua presentes en la actualidad: tanques, infraestructura incompleta y obsoleta, insuficientes inversiones, etcétera.

Problemáticas puntuales como el tanqueo, mala calidad del agua recibida, fugas y baja facturación, entre otras, no siempre encuentran su explicación en cuestiones de disponibilidad o escasez del recurso, como parece suceder en el municipio de Cuernavaca, ya que las fuentes de abastecimiento de la ciudad y las asignaciones aprobadas por la autoridad nacional del agua, incluso a pesar de los problemas derivados de la urbanización mencionados líneas arriba, parecen ser suficientes para cubrir los requerimientos actuales de los diferentes usos del agua.

En Cuernavaca, aún hay 40 mil personas que no cuentan con agua entubada dentro de sus viviendas, 8 400 que reciben agua por acarreo y, de ellos, 3 500 que se surten a través de pipas, como se infiere de los datos estadísticos. Esto, sin contar la población afectada en su acceso al agua por cortes programados al suministro, los cuales se han normalizado como práctica característica del servicio que presta el Sapac, situación denunciada en el estudio de la asociación civil y reconocida por las mismas autoridades estatal y locales del agua.

Cuernavaca tiene agua disponible en suficiencia y su calidad es buena, como lo muestran los datos oficiales. El estudio de la asociación civil (2016) señala que de los 133 hectómetros cúbicos de agua concesionada que recibe el municipio, únicamente se utilizan 69 hectómetros cúbicos, lo que habla de una cantidad de agua importante para satisfacer íntegramente las demandas actuales y, más aun, ampliar la oferta de la misma.



No obstante, gestionar esa agua a lo largo del ciclo urbano es más un tema de voluntad política, negociaciones y arreglos institucionales, claves para lograr una gestión del agua con características de sustentabilidad, equidad, democracia, justicia y participación social, que permita producir espacios urbanos menos vulnerables y más resilientes a embates externos, como son los eventos hidrometeorológicos extremos, sismos e impactos atribuibles al cambio climático y otros de naturaleza antrópica, como el crecimiento desordenado de la urbe o la contaminación. Lo anterior hace poco deseable que el operador del sistema de agua de Cuernavaca sencillamente apueste a una gestión de la oferta.

El actual desempeño del sistema no muestra las capacidades necesarias para afrontar nuevos retos, como el cambio climático. El impacto del cambio climático y de la variabilidad climática en México, concretamente en Morelos y Cuernavaca, obligan a las instituciones a estar en alerta y preparadas para afrontar los cambios que se den en los sistemas hidrológicos regionales y locales. Sin duda, la prevención siempre será la mejor manera de aproximarse a lo aún desconocido.

11.8. Conclusiones

En el caso de la cuenca del río Apatlaco es posible observar, en el ámbito de acciones de distintos tipos de actores, formas de organización y acceso al recurso. En Morelos, como en otras partes del país, las ciudades se enfrentan con su periferia por el reparto de la disponibilidad de agua, las externalidades que generan las ciudades en sus descargas y afectaciones. Las formas comunitarias de manejo del agua hacen frente al arreglo institucional, se vuelven antisistémicas y aparecen como subversivos



sus discursos respecto a la naturaleza, en tanto su conservación afronta las fuerzas demográficas y económicas estructurales que transforman y se apropian del paisaje. En estos conflictos, se evidencia la dinámica social en torno a la redistribución del agua en las cuencas cerradas.

Nos parece relevante tratar de comprender y explicar el desigual acceso a los servicios de agua y saneamiento, ya sea en términos de cantidad o calidad, a partir de lo que Peña y Pérez (2016) denominan como “geografía de la desigualdad urbana”. Es decir, las zonas socialmente periféricas, entendidas como tal por dichos autores, no como una expresión de su ubicación física sino por el rol desarrollado en la reproducción de la vida urbana, con población subempleada o desempleada, tienen un acceso limitado a los servicios de agua y saneamiento, con una evidente heterogeneidad y desigualdad en términos de oportunidades en comparación con zonas poblacionales de ingresos elevados. Los autores citan a Isch (2012) al ironizar la descripción del ciclo del agua como:

... un sofisticado proceso hidrosocial que ofrece una paradoja, el agua de mejor calidad escurre, fluye o brota hacia los centros de poder económico e influencia política. Se aleja con facilidad de las casas humildes y parece preferir las zonas industriales, los complejos habitacionales de altos ingresos y los agronegocios globales (Peña y Pérez, 2016: 21).

La gran heterogeneidad en el acceso a los servicios de agua y saneamiento en las urbes suele justificarse a partir de argumentos relacionados con la escasez del recurso hídrico; costos elevados de la conducción del agua en las tuberías; carencia de recursos para el mantenimiento de la infraestructura, aunada a la obsolescencia de las redes; falta de pago del servicio y desperdicio del agua por los usuarios. En estos términos se construye un discurso centrado en las carencias de agua, inversión, tecnología y



cultura, sin mencionar un factor de suma relevancia asociado con las relaciones de poder y la corrupción, creado por la distribución desigual y acaparamiento de distintos bienes, entre ellos el agua, como resultado de la geografía de la desigualdad urbana, la cual promueve la escasez del servicio concentrada en determinadas regiones, generando de esa manera periferia social, segregación y desigualdad territorializada. Es decir, el agua no se gestiona como un bien público homogéneo, sino existen profundas heterogeneidades en su suministro no relacionadas con cuestiones técnicas; más bien con intereses empresariales y actores privilegiados, quienes definen las zonas de buena y mala calidad del servicio, convirtiendo la red de agua potable en un ente segmentador del territorio y excluyente (Peña y Pérez, 2016).

Frente a este escenario de injusticia en la gestión del agua, se hace imprescindible retomar el concepto de justicia hídrica, que plantea la necesidad de desarrollar políticas hídricas democráticas y estrategias de desarrollo sostenibles y orientadas a promover una distribución equitativa del agua. En este orden de ideas, no se pueden seguir aceptando los argumentos tecnicistas y economicistas para justificar una distribución inequitativa del agua, sino más bien se deben privilegiar el entendimiento de su gestión, uso y aprovechamiento a partir de estructuras ideológicas y de manifestación del poder que operan en medio de una serie de intereses divergentes, mientras que el recurso hídrico es esencial para la acumulación del capital y, por ello, motor del proceso de desarrollo económico. Este es el motivo por el que grupos con poder económico y político pugnan por controlarlo, a fin de perpetuar su proceso de acumulación de capital (Isch López, 2012; Isch López *et al.*, 2012).



11.9. Referencias

- Aguilar Benítez, Salvador (1999), Manejo de la cuenca del río Apatlaco. En Universidad Autónoma del Estado de Morelos, *Perspectivas para el desarrollo social de la microcuenca del río Apatlaco, Cuernavaca*: UAEM, pp. 51-65.
- Alvarado Rosas, Concepción y Di Castro, María Rita (2013). *Cuernavaca, ciudad fragmentada. Sus barrancas y urbanizaciones cerradas*. México: Juan Pablos-UAEM.
- Ayuntamiento Constitucional de Cuernavaca (2016). Plan Municipal de Desarrollo 2016-2018, Cuernavaca, Morelos. *Periódico Oficial Tierra y Libertad*, núm. 5395, Segunda Sección. Consejería Jurídica del Poder Ejecutivo del Estado de Morelos. Dirección General de Legislación. Subdirección de Jurismática. Disponible en: <http://cuernavaca.gob.mx/wp-content/plan/PMD%20Cuernavaca%202016-2018%20VRFinalC%20ok%20terminado.pdf>
- Bazán Pérez, César Israel y Suárez Lastra, Manuel (2014). Propuesta metodológica para detectar patrones geográficos de conflictos por el agua en el estado de Morelos, 2000-2010, *Investigaciones Geográficas*, Boletín núm. 84, 2014, pp. 69-80, *Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía*, UNAM, doi: 10.14350/rig.37877
- Bolongaro-Crevenna, R. A., Torres R. V., Pohle M. O., Chavarría H. J. y García V. F. (2013). Vulnerabilidad del recurso hídrico en el estado de Morelos ante el cambio climático. En: Ortiz-Hernández M. L. y Sánchez-Salinas E. (comps.). *Cambio climático: Vulnerabilidad de sectores clave en el estado de Morelos*. Cuernavaca: Universidad Autónoma del estado de Morelos.
- Cabrero, Enrique (2005). *Acción pública y desarrollo local*, México, FCE.
- Carreño Nicolás, David (2011). *Relaciones de sistemas de alcantarillado con cauces y barrancas en la ciudad de Cuernavaca*, Morelos. Tesis para obtener el título de Ingeniero Civil, México: UNAM.
- Colomb, C. and Novy, J. (Eds.) (2017), *Protest and resistance in the tourist city. Contemporanea*, New York, NY: Routledge.



- Comisión Económica para América Latina y el Caribe (Cepal) (2001). Urbanización y evolución de la población urbana de América Latina. *Boletín demográfico. Edición especial*, año XXXIII, Santiago de Chile: Comisión Económica para América Latina y el Caribe-Centro Latinoamericano y Caribeño de Demografía (Celade).
- Comisión Estatal del Agua del Estado de Morelos (Ceagua) (2017). *Estadísticas del Agua en el Estado de Morelos, 2017*. Ceagua-Semarnat-Conagua. Cuernavaca, Morelos. Disponible en: http://ceagua.morelos.gob.mx/sites/ceagua/files/eda2017-baja_11.pdf
- Comisión Nacional del Agua (Conagua) (2016). *Situación del Subsector Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento. Edición 2016*. Comisión Nacional del Agua (Conagua). México. México D.F. Disponible en: http://sina.conagua.gob.mx/publicaciones/EAM_2017.pdf
- Comisión Nacional del Agua (Conagua) (2008), *La cuenca del río Apatlaco. Recuperemos el patrimonio ambiental de los morelenses*. México: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.
- Comisión Nacional del Agua (2012). *El saneamiento del río Apatlaco. De lo crítico a lo sustentable*. México: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.
- Desay, U. (Ed.) (1998). *Ecological policy and politics in developing countries*. New York: State of New York University Press.
- Díaz Álvarez, Cristian Julián (2014). Metabolismo urbano: herramienta para la sustentabilidad de las ciudades. *Interdisciplina*, 2, núm. 2: p. 51–70.
- Dourojeanni, Axel (1994). La gestión del agua y las cuencas en América Latina. *Revista de la CEPAL*, 53, agosto, pp. 111-127.
- Fernández, Roberto (2000). *Gestión ambiental de ciudades. Teoría crítica y aportes metodológicos*. México: Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente. Serie Textos Básicos para la Formación Ambiental.
- Figuroa Mendiola, Juan Manuel (2014). *La planeación urbano-ambiental: un caso de aprovechamiento de escorrentía urbana para usos suntuarios en la ciudad de Cuernavaca, Morelos*. Tesis de maestría en gestión integral de agua, Monterrey: El Colegio de la Frontera Norte.
- Franco Corzo, Julio (2012). *Diseño de políticas públicas*, México: IEXE editorial.



- García-Barrios Raúl (2012). La disputa por el territorio y su ordenamiento en Cuernavaca (primera parte), *Cultura y representaciones sociales*, año 7, núm. 13, pp. 136-184.
- García-Barrios Raúl (2013). La disputa por el territorio y su ordenamiento en Cuernavaca (segunda parte), *Cultura y representaciones sociales*, año 7, núm. 14, marzo, pp. 67-99.
- García Serna, María Isabel; Morales-Pinzón, Tito y Guerrero Erazo, Jhoniers (2014). Análisis de flujos de agua en áreas metropolitanas desde la perspectiva del metabolismo urbano. *Revista Luna Azul*, núm. 39, julio-diciembre, pp. 234-249.
- Garrocho Rangel, Carlos (2013). "Ciudades y agua: un enfoque de cuencas hidrográficas". En Garrocho Rangel, Carlos. *Dinámica de las ciudades de México en el siglo XXI. Cinco vectores clave para el desarrollo sostenible*. Zinacantepec, Estado de México: El Colegio Mexiquense, A. C.: Consejo Nacional de Población: Fondo de Población de las Naciones Unidas, pp. 281-358.
- González, Lilian y Hurtado, Santiago (2006). Agua para el valle de México proveniente del río Amacuzac: algunas implicaciones de una propuesta de transferencia acuífera. En Sergio Vargas, Denise Soares y N. B. Guzmán. *La gestión del agua en la cuenca del río Amacuzac: diagnósticos, reflexiones y desafíos*. Jiutepec: IMTA.
- Hannigan, John (2006). *Environmental sociology*. Second edition. New York, NY: Routledge,
- Hernández Arce, Cipriana (2016), *Construcción social de la contaminación del agua como problema público en la cuenca del río Apatlaco*. Tesis de doctorado, UAEM.
- Hernández Benítez, Mónica Margarita (2007). *Impacto del proceso de conurbación frente a los servicios urbanos y su relación con la planeación del valle de Cuernavaca (1970-2005)*. Tesis de maestría en ciencias con especialidad en Planificación Urbano Regional. México: Instituto Politécnico Nacional Escuela Superior de Ingeniería y Arquitectura.
- Holling, C. S. (1978). *Adaptive environmental assessment and management*. Londres: John Wiley & Sons-International Institute for Applied Systems Analysis.
- Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (2007). *Plan Estratégico para la Recuperación Ambiental de la Cuenca del río Apatlaco*. Jiutepec: IMTA, Semarnat, Ceama, Conagua, Fundación Gonzalo Río Arronte.
- Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (2015). *Proyecto Observatorio de Conflictos por el Agua en México CP1407.1*. Informe final. Subcoordinación de Participación Social- Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, Jiutepec, Morelos, México.



- Isch López, Edgar (2012). Justicia hídrica: una sistematización conceptual introductoria. En: Isch López, Edgar; Rutgerd Boelens y Francisco Peña (Eds.). *Agua, injusticia y conflictos*. Lima: Justicia Hídrica; CBC; Fondo Editorial PUCP; IEP. (Serie Agua y Sociedad, Sección Justicia Hídrica, 2), pp. 21-43.
- Isch López, Edgar; Rutgerd Boelens y Francisco Peña (2012). Agua, acumulación y acción local: a modo de conclusiones. En: Isch López, Edgar; Rutgerd Boelens y Francisco Peña (Eds.). *Agua, injusticia y conflictos*. Lima: Justicia Hídrica; CBC; Fondo Editorial PUCP; IEP. (Serie Agua y Sociedad, Sección Justicia Hídrica, 2), pp. 273-283.
- Jaramillo, F., González, J. y Flores-Armillas, V. (Ed.) (2018). *Plan para el Manejo Integral del Sistema de Barrancas del Norponiente de Morelos*. Cuernavaca: El Colegio de Morelos, Fundación Biósfera del Anáhuac, A. C. y Reconcilia A. C.
- Jasper, James M. and Jan Willem Duyvendak (2015). *Players and arenas. The interactive dynamics of protest*. Amsterdam: Amsterdam University Press.
- Lascombes, Pierre; Le Gales, Patrick (2014). *Sociología de la acción pública*. México: El Colegio de México.
- Lorenc Valcarce, Federico (2005) La sociología de los problemas públicos. Una perspectiva crítica para el estudio de las relaciones entre la sociedad y la política. *Nómadas. Critical Journal of Social and Juridical Sciences*, vol. 12, núm. 2, 2005<18153295010>
- Monroy, Rafael (2006). El agua en Cuernavaca. La ruta de la insustentabilidad. *Revista Economía Informa*, México: Universidad Nacional Autónoma de México, vol. 21, núm. 339, marzo-abril, pp. 46-57.
- Monroy, Rafael (2011). La Agenda Urbana en Morelos, El problema del mismo programa para condiciones diferenciales. *Quivera*, vol. 13, núm. 2, julio-diciembre, pp. 259-279.
- Neveu, Érik (2015). *Sociologie politique des problèmes publics*. Paris: A. Colin.
- Peña, Francisco & Pérez, Ricardo (2016). Abasto de agua y geografía de la desigualdad urbana. Periferia social y bienes públicos impuros. En Santacruz de León, Germán & Peña, Francisco (editores). *Problemática y desigualdad en la gestión del agua de la cuenca semiárida y urbanizada del Valle de San Luis Potosí*. El Colegio de San Luis.
- Peña, A. y Flores, R. (2017). Los tandeos de agua potable en Pachuca: un enfoque de racionalidad y gobernanza. En S. G. Ceballos (Coord.), *Estudios de los problemas y la realidad urbana actual en México*. Pachuca: El Colegio de Hidalgo, Editorial Elementum.



- Platt, Rutherford H. (2006). Urban watershed management. Sustainability, one stream at a time. *Environment*, Volume 48, Number 4, pp. 26–42.
- Programa de Indicadores de Gestión de Organismos Operadores (Pigoo) (2017). Programa de Indicadores de Gestión de Organismos Operadores. Disponible en: <http://www.pigoo.gob.mx/descargarData.jsp>. Consulta: 7 de mayo de 2018.
- Peña, Francisco & Pérez, Ricardo (2016). Abasto de agua y geografía de la desigualdad urbana. Periferia social y bienes públicos impuros. En Santacruz de León, Germán & Peña, Francisco (editores). *Problemática y desigualdad en la gestión del agua de la cuenca semiárida y urbanizada del Valle de San Luis Potosí*. El Colegio de San Luis.
- Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE) (2013). *Hacer posible la Reforma de la gestión del Agua en México. Diagnóstico y propuestas*. Noviembre de 2012. Disponible en: http://www.oecd.org/cfe/regional-policy/Hacer%20Posible%20Reforma%20Agua_Mexico_Jan18.pdf
- Organización Mundial de la Salud (OMS) (2016). *Planificación de la seguridad del saneamiento. Manual para el uso y la disposición seguros de aguas residuales, aguas grises y excretas*. Disponible en: <http://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/250331/9789243549248-spa.pdf?sequence=1>
- Ortiz Hernández, María Laura, Enrique Sánchez Salinas, María Luisa Castrejón-Godínez, Ignacio Terrazas Hoyos, Alexis Joavany Rodríguez Solís, Rosa Estela Quiróz-Castañeda, Julio Cesar Lara Manrique (2013). *Morelos frente al cambio climático. Análisis y perspectivas*. Universidad Autónoma del Estado de Morelos.
- Parra, Hugo (2008). Discusión del Acuerdo de Veda de Agua Superficial en la Cuenca del Río Balsas, a más de 40 años de su establecimiento. Tesis de maestría en elaboración. Posgrado en Ciencias del Agua, IMTA.
- Ramírez Baeza, Marco Antonio (2007). Factores mediadores entre el desarrollo de los asentamientos humanos y la contaminación hídrica en el municipio de Cuernavaca, México. Tesis de maestría en Estudios Urbanos, México: El Colegio de México.
- Rist, Lucy, Adam Felton, Lars Samuelsson, Camilla Sandström y Ola Rosvall (2013). A New Paradigm for Adaptive Management. *Ecology and Society* 18(4): 63. <http://dx.doi.org/10.5751/ES-06183-180463>.



- Sámano Muñoz, José Luis y Marcos Antonio Rodríguez Páramo (2015). "Metropolización y región periurbana en Morelos". En 20º Encuentro Nacional sobre Desarrollo Regional en México. Amecider-CRIM, UNAM. Cuernavaca, Morelos. <Eje9-167-Samano-Rodriguez>
- Sámano Muñoz, José Luis (2008). La participación de los espacios rurales en el proceso de metropolización de Cuernavaca: el caso de Chiconcuac, 1980-2005. Tesis de doctorado en Geografía, México: UNAM.
- Sánchez Reséndiz, Víctor Hugo (2006). Ejidos urbanizados de Cuernavaca. En *Cultura y representaciones*, Vol. 1, No 1, pp. 67-92.
- Sánchez Rodríguez, Roberto (Ed.) (2013). *Respuestas urbanas al cambio climático en América Latina. Naciones Unidas*. Santiago de Chile: Comisión Económica para América Latina y el Caribe (Cepal) e Instituto Interamericano para la Investigación del Cambio Global (IAI).
- Secretaría de Desarrollo Urbano y Obras Públicas de Morelos (2016). *Actualización del Programa de Desarrollo Urbano de Centro de Población del Municipio de Cuernavaca*. Subsecretaría de Planeación y Desarrollo Urbano. Dirección de Planeación Urbana. Cuernavaca: Honorable Ayuntamiento de Cuernavaca 2000-2003. Disponible en: http://www.transparenciamorelos.mx/sites/default/files/OT17%20memoria%20PDUCPMC%202006%2B_1.pdf
- Sisniega, V. y Salinas, R. (2016). *Del caos a la eficiencia. Siete propuestas para mejorar el servicio de agua potable y saneamiento en Cuernavaca*. Cuernavaca: Centro de Investigación Morelos Rinde Cuentas, A. C. Disponible en: <http://www.morelosrindecuentas.org.mx/sapac/upload/sapac-estudio-2018.pdf>
- Shiklomanov, I. A. (1999). Water transfer as one of the most important ways to eliminate water resources deficits and to solve water management problems. En *Interbasin water transfer. Proceedings of the International Workshop*. Paris: UNESCO-International Hydrological Programme.
- Swyngedouw, Erik (2009). The Political Economy and Political Ecology of the Hydro-Social Cycle. *Journal of Contemporary Water Research & Education*, issue 142, pp. 56-60.
- Zavaleta Cruz, Kenia (2013), El agua y la tierra como recursos del ejido de Tejalpa, Jiutepec, Morelos, Tesis de maestría, UAEM.





RESILIENCIA URBANA AL CAMBIO CLIMÁTICO. CASO DE ESTUDIO: CIUDAD DE CUERNAVACA

Rabindranath Bahena-Ayala, Felipe I. Arreguín Cortés
y Elizabeth Cervantes-Jaimes

12

12.1. Resumen

El cambio climático puede ocasionar que los fenómenos hidrometeorológicos y climáticos se conviertan en fenómenos extremos que incrementan el riesgo y las afectaciones socioeconómicas de las poblaciones. Una ciudad que sufre un desastre tarda un par de años, o bien, décadas, en recuperar su funcionamiento original y reconstruir su infraestructura dañada, lo cual genera rezago en el desarrollo.

Por lo anterior, resulta imperativo crear capacidades en las ciudades para enfrentar el cambio climático. En la comunidad científica se han organizado dos grandes grupos de especialistas: expertos en reducción del riesgo de desastre y expertos en el cambio climático, quienes persiguen objetivos similares. Sin embargo, es necesario unificar ambos enfoques.

“Resiliencia” puede ser el concepto que cierre la brecha entre ambas perspectivas y el medio para construir ciudades más seguras y dinámicas. En este capítulo se presenta una evaluación del nivel de resiliencia ante fenómenos extremos de la ciudad de Cuernavaca, Morelos, una de las principales urbes en la cuenca del río Apatlaco.

Palabras clave: resiliencia urbana, cambio climático, fenómenos extremos, reducción del riesgo, evaluación.

12.2. Introducción

El cambio climático puede ocasionar que los fenómenos hidrometeorológicos y climáticos incrementen su frecuencia, intensidad, radio de afectación y duración, provocando fenómenos extremos que aumenten el riesgo y afectaciones socioeconómicas de las poblaciones (IPCC, 2012; Centro Mario Molina, 2014; Advancing Science, Serving Society, 2015).

Las ciudades son los principales centros afectados, ya que concentran la mayor cantidad de población y riqueza en los países. Una ciudad que sufre un desastre tarda un par de años o, incluso, décadas, en recuperar su funcionamiento original y reconstruir su infraestructura dañada, generándose un rezago en el desarrollo, aletargando el proceso de crecimiento y originando fuga de inversiones (OECD, 2017). Por ello, para las ciudades es imperativo desarrollar capacidades que les permitan enfrentar el cambio climático.

En la comunidad científica se han organizado dos grandes grupos de especialistas: los expertos en reducción del riesgo de desastre y los expertos en cambio climático (IFRC, 2010; UNISDR, 2008; Unicef, 2012). La gestión del riesgo considera, entre otras, las amenazas naturales (eventos hidrometeorológicos), su probabilidad de ocurrencia e intensidad, las cuales van ligadas a los efectos del cambio climático en el ciclo hidrológico. Dos de sus objetivos son: reducir la vulnerabilidad y, como consecuencia, el riesgo, y contar con un plan de acción ante su impacto.



Por su parte, los especialistas en cambio climático identifican las causas, dan seguimiento a los indicadores o variables (cambio en la temperatura superficial del mar) y alertan sobre el impacto con objeto de prevenir mayores cambios que incrementen la severidad de estas amenazas.

Al perseguir objetivos similares, se hace necesario unificar ambos enfoques, integrar los conocimientos y diseñar las mejores alternativas. La resiliencia puede ser el concepto que cierre la brecha entre ambas perspectivas (Rockefeller & ARUP, 2016; PNUD, 2010) y ser el medio para construir ciudades más seguras y dinámicas.

Para diseñar estrategias que construyan resiliencia urbana ante el cambio climático, primero hay que conocer el nivel de resiliencia presente en la ciudad e identificar fortalezas y debilidades de los sistemas que la integran. Así, se requiere llevar a cabo una evaluación.

En la literatura se encuentran diversas herramientas para evaluar la resiliencia en ciudades y muchas de ellas lo hacen conjuntando múltiples componentes presentes en la ciudad, tales como: servicios de salud, nivel de bienestar, economía, organización, planes de desarrollo, infraestructura y ecosistema, entre otros; además de su comportamiento ante diferentes situaciones críticas, tensiones crónicas o agentes perturbadores que pueden enfrentar.

En este capítulo se presenta la evaluación del nivel de resiliencia ante fenómenos extremos, desde el punto de vista técnico, de la ciudad de Cuernavaca, Morelos, una de las principales urbes en la cuenca del río Apatlaco, mediante la implementación de dos herramientas metodológicas: una cuantitativa, denominada "Índice de resiliencia en ciudades", y otra complementaria a éste, desde una perspectiva cualitativa, denominada "Perfil de



resiliencia”, donde se definen los aspectos que fortalecen las capacidades de resistencia, adaptación, recuperación y preparación, características esenciales de la resiliencia.

12.3. ¿Resiliencia al cambio climático o capacidad adaptativa?

De los dos grupos de especialistas anteriormente citados, mientras uno se refiere al aumento de la resiliencia de las naciones y las comunidades ante los desastres, tal y como lo establece el Marco de Acción de Hyogo, Japón (UNISDR, 2005), el otro dialoga sobre la gestión de los riesgos de fenómenos meteorológicos extremos y desastres para mejorar la adaptación al cambio climático, tal y como lo señala el Panel Intergubernamental contra el Cambio Climático (IPCC, 2012).

Como se mencionó párrafos arriba, la resiliencia puede ser el concepto que cierre la brecha entre ambas perspectivas.

12.3.1. Cambio climático y capacidad adaptativa

El IPCC define cambio climático como “cualquier cambio en el clima a lo largo del tiempo, ya sea debido a la variabilidad natural o como resultado de una actividad humana (IPCC, 2002)”. El cambio climático puede enfrentarse desde dos enfoques. Por un lado, se tiene la *mitigación* de sus efectos, a través de la reducción de los agentes que lo ocasionan, como son los gases de efecto invernadero; y, por otro, la *adaptación* al cambio climático, que se define como el ajuste en sistemas humanos o naturales como respuesta a los estímulos climáticos previstos o sus efectos, que pueden moderar el daño o explotar sus oportunidades (IPCC, 2002; Centro Mario Molina, 2014).



12.3.2. Reducción del riesgo de desastre y resiliencia

La Oficina de las Naciones Unidas para la Reducción del Riesgo de Desastre (UNISDR, por sus siglas en inglés) define la reducción del riesgo de desastre (RRD) como:

... acciones que se llevan a cabo para reducir el riesgo y los impactos adversos de las amenazas naturales, mediante esfuerzos sistemáticos para analizar y gestionar las causas de los desastres, lo que incluye la prevención de las amenazas, la reducción de la vulnerabilidad social y económica frente a éstas y una mejor preparación frente a los eventos adversos (UNISDR, 2009).

En 2005, en el Marco de Acción de Hyogo, Japón, la Conferencia Mundial sobre la Reducción de los Desastres definió que la estrategia a seguir en la década 2005-2015 es el “aumento de la resiliencia de las comunidades para lograr la reducción considerable de las pérdidas ocasionadas por desastres, tanto las de vidas humanas como los bienes sociales, económicos y ambientales”. Así, la resiliencia adquiere un papel protagónico en cuanto al desarrollo de capacidades en las comunidades ante eventos de la naturaleza.

Originalmente, el concepto “resiliencia” fue utilizado en la ingeniería para denotar la capacidad que tienen algunos materiales de absorber energía elástica, resistir fuerzas que intentan deformarlos y regresar a su estado original (Gere & Goodno, 1972). Posteriormente, dicho concepto se adoptó en otras disciplinas, entre ellas la ecología, psicología, economía, sociología y la política (Meerow, Newell, & Stults, 2016).

En la actualidad, el concepto “resiliencia” ha trascendido su contexto original. Con ello, se ha transformado en un concepto innovador utilizado ahora al interior de varias disciplinas para significar la capacidad de un ente para resistir, adaptarse, recuperarse



y prepararse ante un evento o situación crítica e inusual (Parsons M. *et al.*, 2017; Sharifi & Yamagata, 2016).

En los últimos años, en el área de desarrollo urbano, el concepto “resiliencia” se ha empleado para denotar la capacidad que tienen las ciudades de resistir, adaptarse, recuperarse y prepararse ante las amenazas que puedan dañar la integridad de su estructura física y sistémica, originando el concepto “resiliencia en ciudades o resiliencia urbana” (UN HABITAT, 2015). De esta manera, la *resiliencia* va más allá de solo una resistencia ante una amenaza, ya que considera también la recuperación y regreso a un estado de equilibrio o a un estado superior, así como la adaptación a nuevas circunstancias. Es un proceso dinámico y no una etapa final consolidada, pues siempre existirá una mejora constante (Sharifi, 2016).

Como ya expresamos anteriormente, las cuatro características esenciales de un ente resiliente son: resistencia, adaptación, recuperación y preparación (UN HABITAT, 2015; UNISDR, 2015; UNISDR, 2005; The National Academies, 2012; Rockefeller & ARUP, 2016; Parsons M. *et al.*, 2016; IPCC, 2012).

La resistencia es la oposición a los efectos que originan una amenaza, reduciendo o evitando los posibles impactos, generalmente a través de elementos físicos que se cumple con esta cualidad.

Por su parte, la adaptación es el ajuste en los sistemas como respuesta a las condiciones cambiantes del entorno debido al impacto y secuelas de una amenaza.

La recuperación se refiere a la restauración y mejoramiento del funcionamiento y de la estructura física de los sistemas que componen un ente, mientras que la preparación



engloba la parte del análisis del riesgo, aprendizaje y planificación, así como la forma en que se lleva a cabo la gestión integral del riesgo (UNISDR, 2009).

12.3.3. Resiliencia al cambio climático

Al analizar los conceptos “adaptación al cambio climático” y “resiliencia ante fenómenos extremos”, vemos que existe coincidencia. Ambos buscan una respuesta ante las situaciones de riesgo, así como una disminución de la vulnerabilidad y de los efectos de las condiciones anómalas del clima, por lo que es viable una homologación de términos.

Sin embargo la resiliencia, a diferencia de la capacidad de adaptación, es más amplio e integral; busca la resistencia ante embates de agentes perturbadores, la adaptación a los cambios constantes y la recuperación ante desastres naturales y antrópicos, manteniendo un nivel de funcionamiento aceptable, preparándose cada vez mejor para el futuro y aprendiendo de eventos pasados.

El IPCC, en su informe *Gestión de los riesgos de fenómenos meteorológicos extremos y desastres para mejorar la adaptación al cambio climático*, conceptualiza la resiliencia como:

... habilidad de un sistema y sus componentes para anticipar, absorber, adaptarse o recuperarse de los efectos de un fenómeno peligroso de forma oportuna y eficiente, incluso velando por la conservación, restauración o mejora de sus estructuras y funciones básicas esenciales (IPCC, 2012).



Observamos entonces que el concepto “capacidad de adaptación” se incluye en el concepto “resiliencia”. Por tal motivo, cuando hablamos de capacidad adaptativa al cambio climático estamos hablando también de una de las componentes de la resiliencia al cambio climático. Así, en este capítulo se propone que más allá de crear capacidad de adaptación, debemos construir resiliencia al cambio climático; en especial, a los fenómenos extremos asociados con él.

12.3.4. Cambio climático y fenómenos extremos

El cambio climático puede incrementar la frecuencia, intensidad, radio de afectación y duración de los fenómenos hidrometeorológicos y climáticos, tales como inundaciones, sequías, ciclones tropicales, tormentas severas y heladas (Advancing Science, Serving Society, 2015; IPCC, 2012). La combinación de fenómenos extremos con el incremento de la vulnerabilidad de las localidades, debido a la escasa e inadecuada planeación urbana, el crecimiento acelerado de la población y las políticas públicas de cada lugar, que no consideran la gestión del riesgo, ocasionan que los desastres naturales sean más costosos.

En las últimas décadas ha existido un incremento en la incidencia de los fenómenos hidrometeorológicos y climáticos. En 2015, las sequías se incrementaron 200%, en comparación con el promedio durante el periodo 2005- 2014, de acuerdo con cifras del Center for Research on the Epidemiology of Disasters (CRED, 2016). Además, al comparar los periodos 1971-1975 y 2002-2005, la frecuencia de inundaciones, ciclones tropicales y sequías se incrementó en 266, 521 y 360%, respectivamente (EM-DAT, 2018). Pero no solo los fenómenos naturales han incrementado su frecuencia e intensidad, también los asentamientos en zonas de riesgo de inundación aumentaron 114%, y 192% los asentamientos en zonas costeras propensas al impacto de ciclones tropicales (UN, 2012). El incremento de ambos factores deriva en mayores pérdidas y daños.



Hoy en día, es complicado definir cuándo un fenómeno climático o hidrometeorológico es consecuencia del cambio climático. Existen esfuerzos en la comunidad científica para demostrar qué tanto interviene el cambio climático en la frecuencia e intensidad de los fenómenos, pero aún no se tienen resultados concluyentes.

No obstante, dado que existe un consenso general en la comunidad científica de que los fenómenos hidrometeorológicos y climáticos están incrementando su frecuencia, intensidad, radio de afectación y duración como consecuencia del cambio climático, en el presente capítulo se propone que al hablar de fenómenos extremos se hable de las consecuencias del cambio climático en los fenómenos hidrometeorológicos y climáticos.

Por dicha situación, es necesario proteger a la población mediante la construcción de ciudades más seguras, dinámicas, resistentes y que mantengan un nivel aceptable de funcionamiento ante desastres naturales, para así garantizar la integridad de sus habitantes y de los sistemas.

12.4. Medidas e infraestructura resilientes al cambio climático

Una estrategia de resiliencia es un eje rector que delinea cuáles deben ser las acciones a emprender para construir capacidad de resistencia, adaptación, recuperación y preparación ante situaciones críticas inusuales y tensiones crónicas. El plan de acción es el que permite dar forma a las medidas a implementarse para incrementar la resiliencia. Contempla tanto medidas estructurales como no estructurales y es, a través de la implementación de esas medidas, que es posible construir ciudades más seguras, dinámicas y en continua adaptación a las circunstancias cambiantes.



12.4.1. Medidas resilientes

Una medida estructural es aquella que considera la construcción de infraestructura para disminuir las posibles afectaciones por agentes perturbadores: fenómenos hidrometeorológicos, geológicos, químico-biológicos y socio-organizativos; o bien, tensiones crónicas, como falta de abastecimiento de agua potable, contaminación, sistemas de transporte obsoletos, etcétera (UNISDR, 2009). Una medida no estructural es aquella que no tiene que ver con el desarrollo de infraestructura y está enfocada en la implementación de prácticas, desarrollo de estrategias, políticas y leyes; involucra la generación de conocimiento, concientización pública, capacitación y educación (UNISDR, 2009).

Una medida resiliente es aquella que tiene las cuatro características esenciales de la resiliencia; es decir, que contribuye directamente a la resistencia, recuperación, adaptación y preparación de la ciudad. Existen medidas que no son puramente resilientes pero que coadyuvan, de alguna manera, a la construcción de resiliencia al aportar alguna de sus características esenciales. Generalmente, son aquellas medidas que no han nacido bajo un enfoque resiliente.

Dentro de los tipos de medidas estructurales y no estructurales existen aquellas que han nacido bajo un enfoque de resiliencia, denominadas “medidas resilientes estructurales” y “medidas resilientes no estructurales” (Figura 12.1).

Un ejemplo de medida resiliente estructural es el túnel SMART (*Stormwater Management and Road Tunnel*), ubicado en Kuala Lumpur, Malasia; infraestructura desarrollada para gestionar las aguas pluviales y el tráfico del centro de la ciudad. El túnel se compone de tres niveles: inferior, destinado a drenaje pluvial, y dos superiores utilizados para el tráfico local (Figura 12.2). Cuando una tormenta se presenta en



la ciudad y ocasiona inundaciones, se cierra el paso a los vehículos en los niveles superiores y se utilizan para encauzar el flujo de agua, reduciendo las afectaciones (UNISDR, 2012).



Figura 12.1. Medidas resilientes estructurales (MRE) y medidas resilientes no estructurales (MRNE).

Fuente: elaboración propia.



Por otra parte, un ejemplo de medida resiliente no estructural es la reforestación de manglares para mitigar los efectos de las inundaciones producidas por la marea de tormenta. Existe evidencia de que las comunidades costeras que han preservado sus ecosistemas (como los manglares) presentan menos afectaciones por inundaciones que aquellas que han cambiado el uso de suelo (WaterClima LAC, 2017) (Figura 12.3). Esta misma medida también se considera como medida resiliente no estructural sostenible.

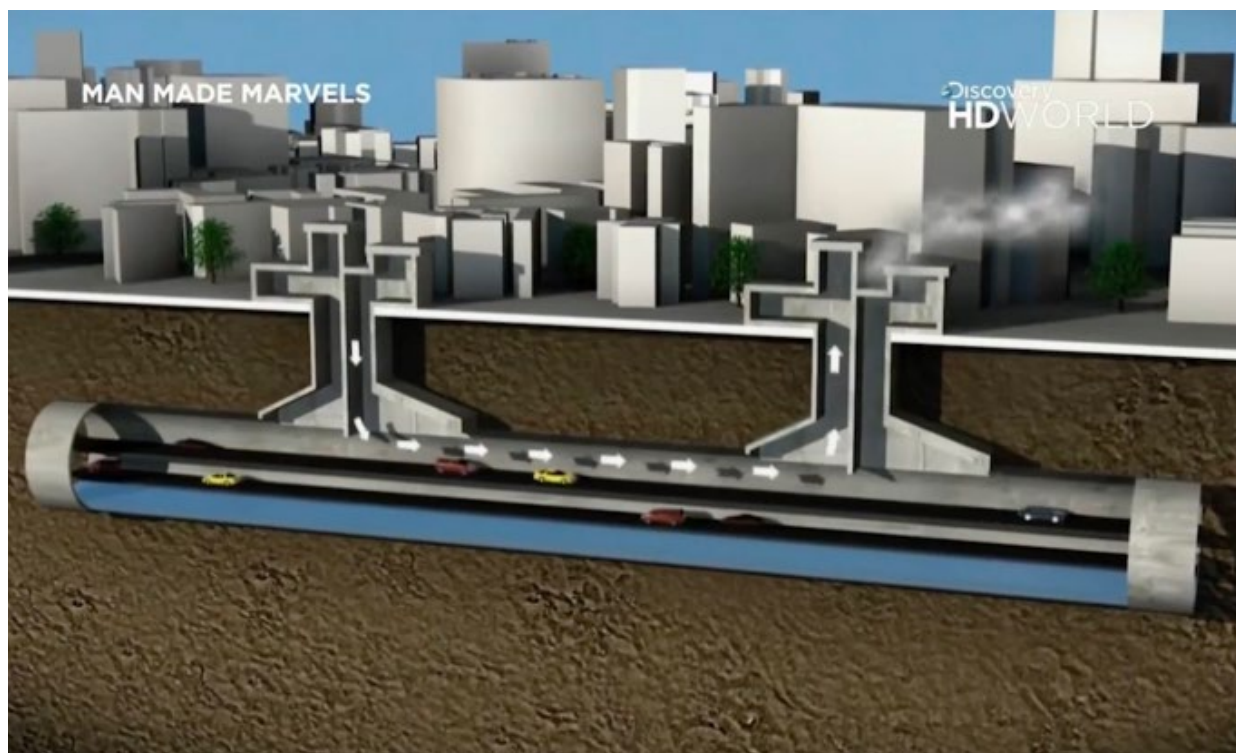


Figura 12.2. Infraestructura multipropósito: túnel SMART.

Fuente: Discovery Channel.



Otro tipo de medidas a implementarse son las resilientes sostenibles. La sostenibilidad se define como la satisfacción de las necesidades del presente sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras para atender sus propias necesidades (UN-WATER, 2015). La resiliencia puede estar o no contenida dentro de este concepto (Figura 12.4). La tendencia es que las medidas resilientes sean asimismo sostenibles.



Figura 12.3. Reforestación de manglares en el Caribe.
Fuente: Autoridad de los Recursos Acuáticos de Panamá.





Figura 12.4. Concepto de resiliencia en el de sostenibilidad. La tendencia es que las medidas resilientes estén dentro de la sostenibilidad.

Fuente: elaboración propia, adaptada de Arreguín (2016).

Una medida estructural resiliente no sostenible es toda aquella infraestructura que no considere los aspectos ambientales ni sociales. Un caso de medida no estructural resiliente y no sostenible es el abastecimiento de agua potable a ciudades en constante crecimiento, mediante la explotación sin control de fuentes no renovables (Arreguín, 2016).

Por otro lado, una medida resiliente estructural sostenible es aquella infraestructura que contribuye a las características esenciales de la resiliencia y que procura la satisfacción de necesidades del presente sin comprometer los recursos para las generaciones futuras. Como ejemplo, podemos mencionar el Parque Hídrico La Quebradora, en Iztapalapa (Figura 12.5), una infraestructura multipropósito y sostenible. Su función es mitigar las afectaciones por inundaciones, captar el agua pluvial de la zona e infiltrarla



al subsuelo, tratar el agua residual y ser un espacio público de recreación, convivencia y paisaje, incrementado el valor económico de la zona (Fundación UNAM, 2017).



Figura 12.5. Parque Hídrico La Quebradora, Iztapalapa.
Fuente: (Fundación UNAM, 2017).

12.4.2. Infraestructura resiliente

La infraestructura que compone los sistemas que integran una ciudad es el principal elemento físico que contribuye con la resiliencia ante desastres y tensiones crónicas (Figura 12.6). Esto, debido a su papel en la resistencia, adaptación, preparación y recuperación de los sistemas urbanos diseñados para fines como suministro de agua potable, saneamiento, salud, educación, movilidad, telecomunicaciones y residencia.

El desarrollo de infraestructura adecuada y confiable no solo es pilar en el crecimiento económico, sino base para incrementar la resiliencia ante el cambio climático, garantizar la gestión integral del riesgo y generar la atracción de nuevas inversiones (OECD, 2017).



Algunos países en situaciones de alto riesgo han desarrollado infraestructura que les permita ser resilientes ante amenazas hidrometeorológicas, como es el caso de los Países Bajos que han construido modernos diques para evitar inundaciones e incrementar la superficie útil y habitable. (Figura 12.7).



Figura 12.6. Puente Coyuca, estado de Guerrero: a) Colapso del puente, b) Puente provisional construido 15 días después del colapso, c) Nuevo puente Coyuca construido un año y dos meses después.
Fuente: www.eluniversal.com.mx



Figura 12.7. Sistema de diques en Países Bajos. a) Dique Maeslant, con sus puertas cerradas, b) Estructura del dique Maeslant. Fuente: holland.com



Sin este elemento, muchas naciones desarrolladas no tendrían el nivel económico alcanzado, pues los desastres serían una constante en su territorio. Las decisiones para localización, diseño y operación de la infraestructura deben permitir resiliencia a largo plazo contra embates del cambio climático, al reducir el riesgo de desastre y no incrementar la probabilidad de éste, como sucede con infraestructura mal planeada.

La infraestructura resiliente, además de contribuir a las características esenciales de la resiliencia mediante un carácter multipropósito, como el túnel SMART, debe también ser de carácter sostenible.

Otro ejemplo son las casas diseñadas para resistir vientos de un huracán categoría 5 e inundaciones por marejadas ciclónicas. Este tipo de construcciones aportan directamente a las características de resistencia, recuperación, adaptación y preparación ante ciclones tropicales (Figura 12.8).



Figura 12.8. Casas diseñadas para resistir vientos de huracán categoría 5 e inundaciones por marejadas ciclónicas. Barrio Nueve, Nueva Orleans.

Fuente: elmundo.es



Como ejemplo de infraestructura no diseñada bajo un enfoque de resiliencia, pero que contribuye de alguna forma a las características resilientes, se puede mencionar el drenaje profundo de las ciudades, como el Emisor Central de la Ciudad de México, que aporta a la capacidad de resistencia de la ciudad al ayudar en la mitigación de afectaciones por inundaciones. Otro caso es el gran albaradón, diseñado por Nezahualcóyotl (Figura 12.9), construido entre 1440 y 1503 d. C., con una longitud de 16 km, para defender a la ciudad de Tenochtitlán de las inundaciones. Es una de las primeras obras, de las que se tiene registro, para proteger ante fenómenos hidrometeorológicos (Semarnat, 2010).

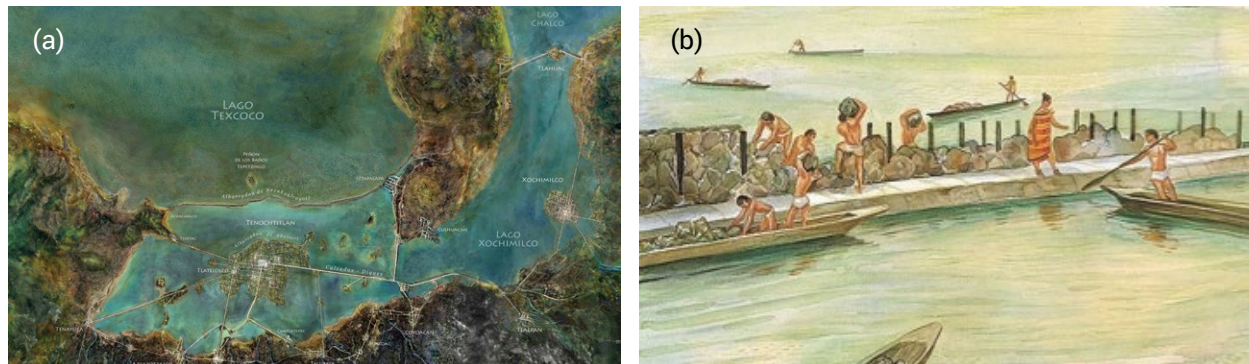


Figura 12.9. a) Albaradón de Nezahualcóyotl. B) Representación de la construcción del dique prehispánico.

Fuente: a) Tomás Filsinger. b) izt.uam.mx

Los planes de desarrollo deben contemplar la construcción de infraestructura multipropósito y sostenible; es decir, plantear inversiones que permitan resolver varios problemas a la vez y sean viables desde la perspectiva social, económica y ambiental. El desarrollo de infraestructura debe garantizar resiliencia a largo plazo.



12.5. Resiliencia urbana al cambio climático: Cuernavaca

Ante la posible ocurrencia de fenómenos hidrometeorológicos y climáticos de mayor intensidad debido al cambio climático, es importante desarrollar capacidades de resistencia, adaptación, recuperación y preparación en las ciudades ante eventos de esta índole. Para definir qué medidas implementar, estructurales o no estructurales, es necesario evaluar cuáles son las fortalezas y debilidades de las ciudades, por lo que el primer paso antes de definir estrategias y medidas que coadyuven a crear o fortalecer la resiliencia actual, es evaluar los aspectos que definen la resiliencia urbana e identificar los que se requieren fortalecer. En este apartado se describe la aplicación de la metodología desarrollada para evaluar el nivel de resiliencia urbana ante fenómenos extremos en la ciudad de Cuernavaca.

12.5.1. Caracterización de la ciudad de Cuernavaca

Cuernavaca es la ciudad más importante de la cuenca del río Apatlaco. Cuenta con una superficie de 207.8 km² (Gobierno del Estado, 2012) y una población de 366 321 habitantes (Inegi, 2016) que se incrementa 15% debido a la población flotante (Monroy, 2006). Concentra el 20.6% de la población del estado de Morelos en 4.1% del territorio (UAEM, 2007) y es la zona de mayor crecimiento económico al generar 56.9% del Producto Interno Bruto estatal (Banamex, 2017).



12.5.2. Fisiografía

El 53.32% del territorio de Cuernavaca se ubica en la provincia del Eje Neovolcánico, subprovincia Lagos y Volcanes de Anáhuac, y el 46.68% en la provincia de la Sierra Madre del Sur, subprovincia Sierras y Valles Guerrerenses. Las altitudes van desde los 1 100 hasta los 3 000 msnm. El 45.44% del territorio es lomerío en cañadas, 30.27% sierra volcánica con estrato de volcanes aislados, 23.04% lomerío de basalto y 1.25% llanura aluvial con lomerío (Inegi, 2009).

12.5.3. Hidrografía

Cuernavaca se encuentra en la Región Hidrológico-Administrativa Balsas, en la cuenca del río Grande Amacuzac y drena sus aguas en tres subcuencas: 90.89% del territorio en el río Apatlaco (Figura 12.10), 2.26% en el río Coatlán y 6.85% en el río Yautepec (Inegi, 2009). Las corrientes perennes de Cuernavaca son: El Túnel, Los Sabinos, Cocotzina, La Tilpeña, San Antón, Apatlaco y Tembembe (Figura 12.11); mientras que las intermitentes son: Ahuatlán, Amacuzac, Atzingo, Balada, Chalchihuapan, El Alguacil, El Cabellito, El Cerro, El Mango, El Tecolote, La Fundición, El Sabino, Panocheras, Pollo, Puente Blanco, Salada, Tres Cruces y Zempantle (Inegi, 2009).



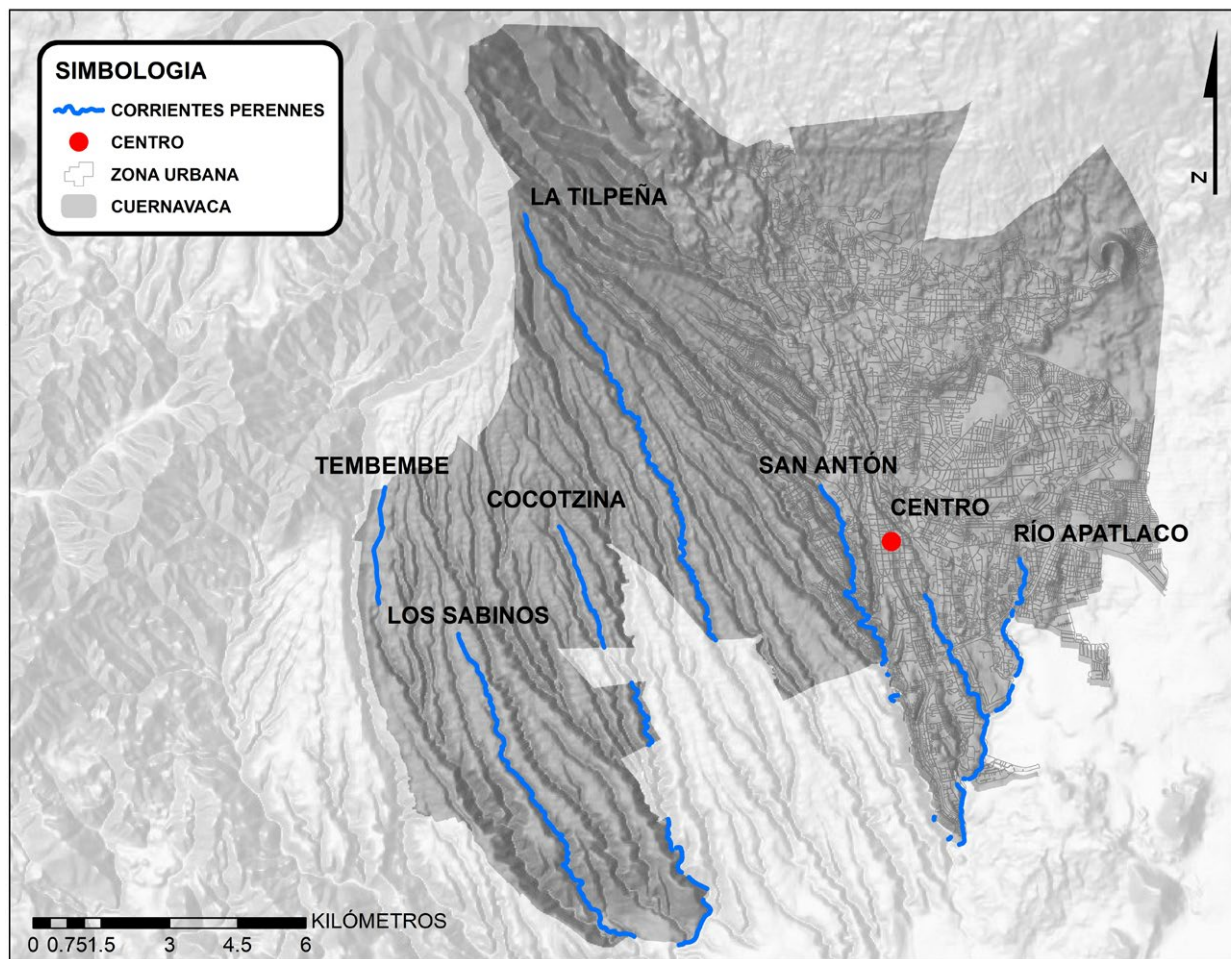


Figura 12.11. Corrientes perennes de Cuernavaca.
Fuente: elaboración propia con datos obtenidos del Inegi.



12.5.4. Clima

La ciudad de Cuernavaca tiene cuatro tipos de clima: semifrío húmedo, templado subhúmedo, semicálido subhúmedo y cálido subhúmedo (clasificación Köppen), por lo que el clima es templado debido principalmente a los vientos anabáticos y catabáticos que circulan por la topografía en las barrancas (Contreras & Mora, 2009). La temperatura oscila entre los 12 y 24 °C. El rango de precipitación anual fluctúa entre 88 y 1 600 mm, siendo la precipitación media anual 1 208 mm, con temporada de lluvias de mayo a octubre (Inegi, 2009).

12.5.5. Sistemas de barrancas

El sistema está compuesto por 293 barrancas visibles e inmersas en la mancha urbana (H. Ayuntamiento Cuernavaca, 2007). Las barrancas son paso de corrientes perennes e intermitentes que rodean o cruzan la ciudad para finalmente formar parte del río Apatlaco, afluente del río Amacuzac, en la zona sur del estado (García, 2008). En la zona oriente y en la zona norponiente de la ciudad se ubican dos de las principales barrancas de Cuernavaca: la de Amanalco y la de Analco, cuyos afluentes contribuyen al río Apatlaco (CRIM-UNAM). Otra de las barrancas destacadas es la de Tetela, afluente de la de Atzingo o Salto de San Antón, ubicada al poniente. Al noroeste se encuentran las barrancas de El Tecolote, La Tilpeña, La Colorada, Los Sabinos y Tembembe (Figura 12.12).



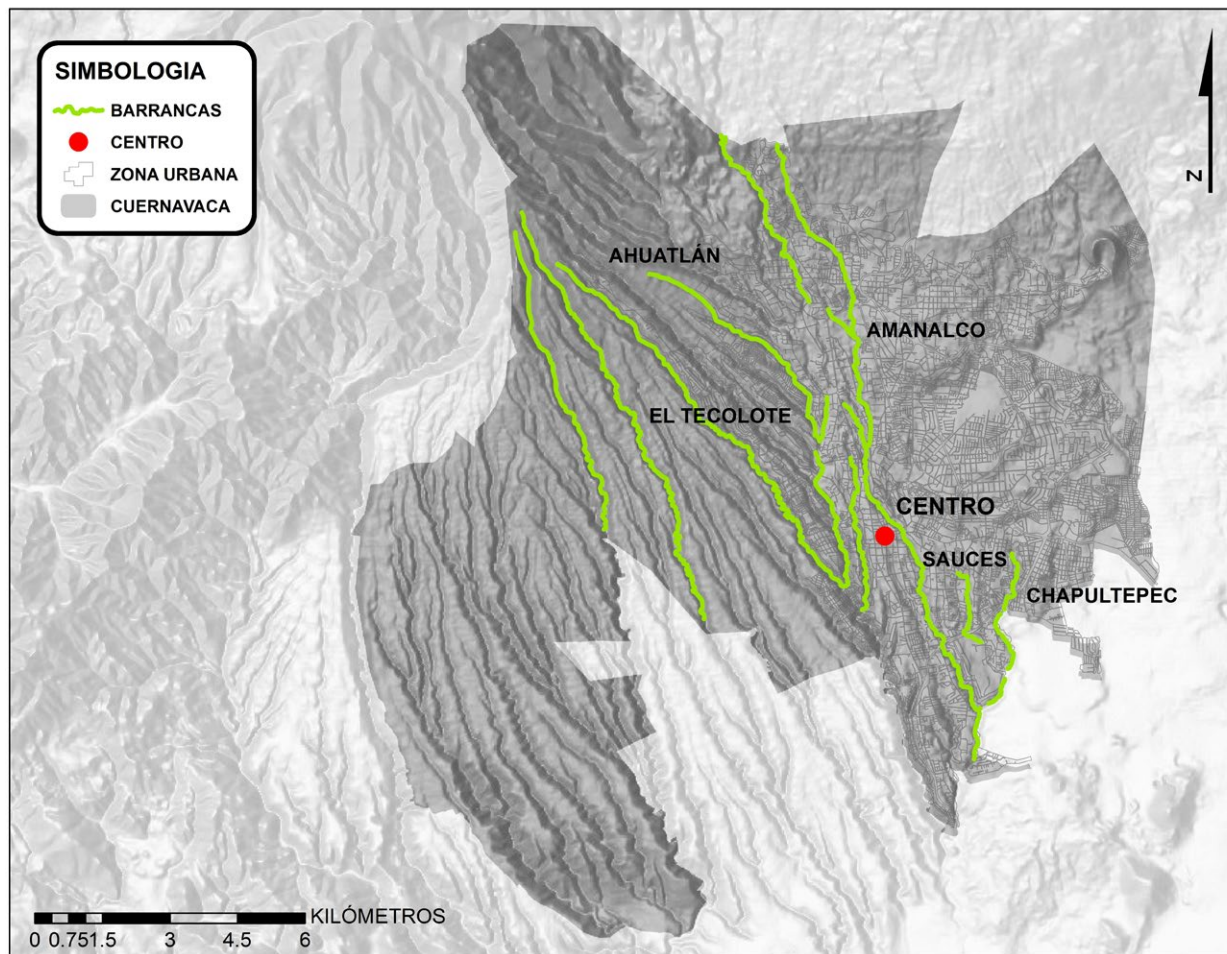


Figura 12.12. Principales barrancas de Cuernavaca.
Fuente: elaboración propia con datos obtenidos del Inegi.



12.5.6. Infraestructura vial

La capacidad de la red vial de la ciudad de Cuernavaca (Figura 12.13), de acuerdo con el índice de Engel, que relaciona la longitud de la infraestructura vial con la superficie de la ciudad y cantidad de población, alcanza el 2.82%, valor relativamente bajo; mientras que el grado de accesibilidad a carretera pavimentada es de 91.9%, considerándose un grado muy alto (H. Ayuntamiento Cuernavaca, 2016).

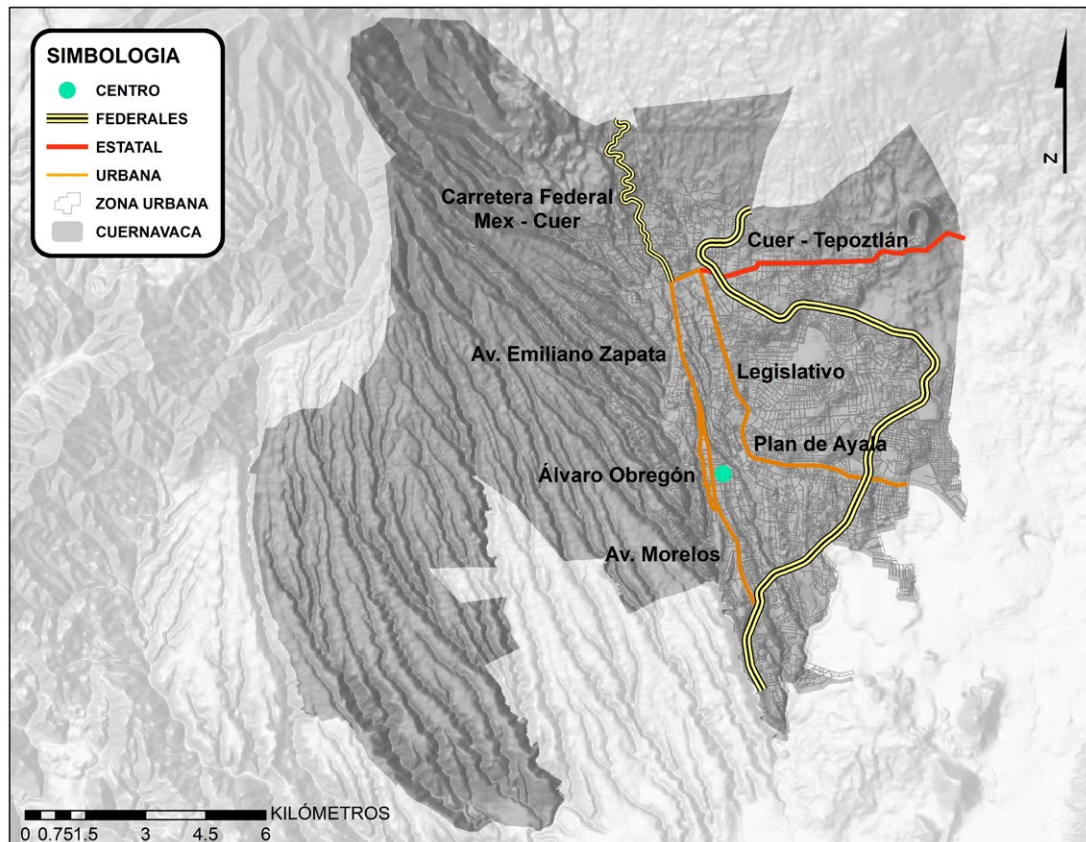


Figura 12.13. Principales vías de comunicación en la ciudad de Cuernavaca.

Fuente: elaboración propia con datos obtenidos del Inegi.



Cuernavaca fue seleccionada por ser el mayor centro de población de la cuenca del río Apatlaco, en gran parte a causa del acelerado y desordenado crecimiento que sufrió a raíz del terremoto de 1985, que originó una migración desde la Ciudad de México y, a su vez, por las evidentes zonas de riesgo en los asentamientos de laderas de cauces (barrancas) y falta de capacidad del drenaje urbano para desalojar los escurrimientos en la cuenca.

Por lo anterior, Cuernavaca es un área de interés para analizar el efecto de los fenómenos hidrometeorológicos y climáticos, aunado a que las instituciones gubernamentales no consideran la gestión integral del riesgo, situación que se evidencia en el diseño y planeación de la infraestructura de la ciudad.

12.6. Metodología para evaluar la resiliencia urbana ante fenómenos hidrometeorológicos y climáticos: Cuernavaca

El propósito de una herramienta de evaluación consiste en medir y monitorear las cuatro características de un sistema resiliente: resistencia, adaptación, recuperación y preparación ante el cambio climático. La metodología para calcular el nivel de resiliencia urbana ante fenómenos climáticos e hidrometeorológicos asociados al cambio climático consiste en la aplicación de dos herramientas de evaluación: *Índice técnico de resiliencia* urbana, de carácter cuantitativo, y *Perfil técnico de resiliencia de*



la ciudad, que complementa al primero mediante la aplicación de un análisis cualitativo. Este último contempla la propuesta de medidas estructurales y no estructurales, y sienta las bases para desarrollar una estrategia de resiliencia ante fenómenos hidrometeorológicos y climáticos intensificados debido al cambio climático.

La metodología permite evaluar, por medio de un índice, la componente técnica de una ciudad; es decir, los elementos físicos o normativos de origen ingenieril que, directa o indirectamente, ayudan a la ciudad para que pueda resistir, adaptarse, recuperarse y prepararse en caso de desastre por este tipo de amenazas de origen natural. En cada indicador se incluye un semáforo: el rojo (rango de 0 a 35% de la calificación total) se asigna a los indicadores que requieren atención inmediata; el amarillo (rango de 36 a 70% de la calificación total) a los indicadores que han obtenido una calificación media y que pueden atenderse a mediano y largo plazo y, finalmente, el color verde se asigna a los indicadores con buen resultado (rango de 71 al 100% de la calificación total).

12.6.1. Índice técnico de resiliencia urbana de Cuernavaca

De acuerdo con la información y datos recopilados, se evaluó la componente técnica que contribuye a la resiliencia urbana, a través de los siguientes indicadores:

12.6.1.1. Indicador de amenaza principal

Las instituciones asociadas con la reducción del riesgo de desastre no cuentan con un historial de impacto socioeconómico, por lo que para este caso, el indicador fue evaluado con base en información recopilada de otras fuentes de información, tales como notas periodísticas y estudios; por ejemplo: *Evaluación del riesgo de inundación a través del cálculo del DAE municipal-regional (RH), zonas de riesgo por inundaciones en la*



ciudad/cuenca Cuernavaca-Jiutepec, Morelos (Conagua, 2014) y el Programa de Medidas Preventivas y de Mitigación de la Sequía (PMPMS) en la ciudad de Cuernavaca (IMTA, 2014), resultando que las inundaciones y las sequías operativas son las principales amenazas que enfrenta la ciudad.

12.6.1.2. Indicador de infraestructura

De la información proporcionada por las instituciones que desarrollan infraestructura relacionada con la reducción del riesgo de desastres, se seleccionaron las obras y acciones que de alguna manera incrementan la resiliencia, como el saneamiento de cauces, rehabilitación de plantas de tratamiento de aguas residuales, incremento de redes de agua potable y alcantarillado y bordos de protección en márgenes de cauces.

En el Cuadro 12.1 se muestra que, tanto por la nula supervisión de las condiciones físicas de la infraestructura como por la falta de recursos para su mantenimiento, la calificación de estos subindicadores fue 0, mientras que la calificación del indicador sobre infraestructura crítica resultó aceptable. El valor del indicador de infraestructura es 11.56, de un valor máximo de 30, por lo cual se concluye que Cuernavaca requiere una mayor inversión en infraestructura que incremente su resiliencia.

12.6.1.3. Indicador de programas de ordenamiento y códigos normativos

La ciudad cuenta con programas de Ordenamiento Ecológico, de Ordenación de la Zona Conurbada y un Reglamento de Construcción, por lo que este indicador obtuvo una calificación de 9.45 puntos de 10 posibles.



Cuadro 12.1. Estructura de los indicadores que integran el índice técnico y calificación para la ciudad de Cuernavaca.

INDICADORES	PESO	PREPARACIÓN	RESISTENCIA	RECUPERACIÓN	ADAPTACIÓN	CALIFICACIÓN CUERNAVACA	SEMÁFORO
A. Indicador de Fenómenos Hidrometeorológicos							
A.1 Sequías		✓			✓	-	
A.2 Ciclones tropicales		✓			✓	-	
A.3 Inundaciones		✓			✓	-	
A.4 Tormentas intensas		✓			✓	-	
A.5 Heladas		✓			✓	-	
1. Infraestructura							
1.1 Inversión en nueva infraestructura	30	✓	✓	✓	✓	4.97	
1.2 Inversión en mantenimiento		✓	✓	✓		0.00	
1.3 Supervisión de las condiciones físicas de la infraestructura		✓				0.00	
1.4 Infraestructura crítica							
1.4.1 Hospitales		✓	✓	✓	✓	3.35	
1.4.2 Escuelas						3.24	
2. Programas de Ordenamiento y Códigos Normativos							
2.1 Territoriales	10	✓		✓	✓	1.25	
2.1.1 Existencia						0.70	
2.1.2 Actualización							
2.2 Ecológico		✓		✓	✓	1.25	
2.2.1 Existencia						1.25	
2.2.2 Actualización							
2.3 Códigos normativos y de construcción		✓		✓	✓		
2.3.1 Existencia						1.25	
2.3.2 Actualización	1.25						
2.4 Aplicaciones de planes y códigos normativos	✓		✓	✓	2.50		
3. Evaluaciones del Riesgo							



Cuadro 12.1 Estructura de los indicadores que integran el índice técnico y calificación para la ciudad de Cuernavaca. (Continuación).

INDICADORES	PESO	PREPARACIÓN	RESISTENCIA	RECUPERACIÓN	ADAPTACIÓN	CALIFICACIÓN CUERNAVACA	SEMÁFORO
3.1 Proyecciones y tendencias climáticas de riesgo	10	✓			✓		
3.1.1 Existencia						1.00	Verde
3.1.2 Actualización						1.00	Verde
3.2 Mapas de amenazas, exposición y riesgo		✓			✓		
3.1.1 Existencia						1.00	Verde
3.1.2 Actualización		0.50	Amarillo				
3.3 Estadísticas de cobertura de seguros		✓			✓		
3.1.1 Existencia						1.00	Verde
3.1.2 Actualización		1.00	Verde				
3.4 Historial de impactos socioeconómicos		✓			✓		
3.1.1 Existencia	0.00					Rojo	
3.1.2 Actualización	0.00					Rojo	
3.5 Población en zona de riesgo	✓			✓	0.00	Rojo	
4. Planes de reducción del riesgo de desastre (RRD)							
4.1 Proactivo	10	✓	✓		✓		
4.1.1 Existencia						0.00	Rojo
4.1.2 Actualización		0.00	Rojo				
4.2 Reactivo		✓	✓		✓		
4.1.1 Existencia						1.50	Verde
4.1.2 Actualización		1.50	Verde				
4.3 Post desastre	✓		✓	✓			
4.1.1 Existencia					0.00	Rojo	
4.1.2 Actualización	0.00	Rojo					
5. Presupuesto asignado a la atención de emergencias							
5.1 Presupuesto asignado a emergencias	10		✓	✓	✓	0.00	Rojo
5.2 Presupuesto asignado a programas de prevención		✓				0.00	Rojo
6. Institución relacionada con RRD							



Cuadro 12.1 Estructura de los indicadores que integran el índice técnico y calificación para la ciudad de Cuernavaca. (Continuación).

INDICADORES	PESO	PREPARACIÓN	RESISTENCIA	RECUPERACIÓN	ADAPTACIÓN	CALIFICACIÓN CUERNAVACA	SEMÁFORO	
6.1 Personal capacitado (atención de emergencias)	10	✓	✓	✓	✓	0.83		
6.2 Equipamiento		✓	✓	✓		0.00		
6.3 Número de unidades		✓	✓	✓		2.50		
6.4 Sistemas de alerta temprana		✓	✓			0.00		
7. Servicios vitales								
7.1 Agua potable	20							
7.1.1 Cobertura del servicio						0.87		
7.1.2 Cobertura del servicio 24 h						0.00		
7.1.3 Eficiencia global Pígoos						0.88		
7.1.4 Grado de presión hidrológica						2.00		
7.1.5 Dotación						0.62		
7.2 Saneamiento								
7.2.1 Cobertura del servicio de alcantarillado							1.47	
7.2.2 Agua residual vs. agua tratada							0.24	
7.2.3 Plantas de tratamiento de aguas residuales							0.66	
7.3 Energía	✓	✓	✓		5.94			
B. Evaluación de daños, tiempo y velocidad de recuperación								
B.1 Infraestructura dañada								
B.1.1 Actualización del importe de la infraestructura afectada						✓		
B.1.2 Tiempo de ejecución actualizado								
B.2 Evaluación global	--							
B.2.1 Costo del desastre						✓		
B.2.2 Tiempo estimado de recuperación								
B.3 Velocidad			✓					



12.6.1.4. Indicador de evaluaciones del riesgo

No existen registros oficiales sobre el impacto socioeconómico de fenómenos hidrometeorológicos y climáticos en la ciudad, y tampoco un atlas de riesgo municipal.

La calificación de este indicador fue 5.5 de 10 posibles, debido a la falta de información. Cabe mencionar que el desconocimiento de los riesgos a los que se está expuesto, así como el tipo de vulnerabilidad, limita la identificación de los elementos de resiliencia a fortalecer y, por lo tanto, dificulta el proceso de toma de decisiones.

12.6.1.5. Indicador de planes de reducción del riesgo de desastre (RRD)

Este indicador obtuvo una calificación baja, 3 de 7 posibles, debido a que la ciudad de Cuernavaca solo cuenta con un plan de acción reactiva y carece de un plan proactivo y posterior al desastre. Dicha situación propicia que las autoridades no cuenten con una estrategia para el manejo de emergencias ni de recuperación después de un desastre. Esta última situación genera una mala coordinación en la gestión y distribución de los recursos y en el apoyo para el restablecimiento de los servicios, reconstrucción de infraestructura y atención a damnificados.

El desarrollo de un plan proactivo permite anticiparse ante una catástrofe, al incrementar la capacidad de resiliencia de una ciudad, mientras que el plan posterior



al desastre permite tener una recuperación adecuada ante el impacto de un fenómeno hidrometeorológico, por lo que la elaboración de estos documentos es importante dentro de la gestión integral del riesgo.

12.6.1.6. Indicador de presupuesto asignado a la atención de emergencias

No se tiene un monto asignado para la atención de emergencias dentro del presupuesto de la ciudad ni para la elaboración de documentos acerca de estrategias, programas o planes de prevención.

Los programas Operativos Anuales de Cuernavaca 2015 y 2016 no consideraron un presupuesto para Protección Civil. La nula o baja inversión en la gestión del riesgo contribuye a la reducción de la resiliencia urbana.

12.6.1.7. Indicador de institución relacionado con reducción del riesgo de desastre

En Cuernavaca existe la Dirección de Protección Civil, institución encargada de contribuir a la prevención y mitigación de desastres; sin embargo, al no tener asignado un recurso directo, su capacidad para atender emergencias se ve limitada, por lo que la calificación de este indicador es baja: 3.33 de 10 posibles.

12.6.1.8. Indicador de servicios vitales

Este indicador obtuvo una calificación de 12.60 sobre 20 posibles. Los subindicadores con aportación son: cobertura de energía, cobertura de agua potable y cobertura de alcantarillado, así como el grado de estrés hídrico que evalúa el estado del acuífero del



que se abastece a la ciudad. Otro factor importante es el porcentaje de agua tratada: 12% del agua residual. De las seis plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR) existentes, únicamente dos se encuentran en operación.

12.6.1.9. Indicador de daños, tiempo y velocidad de recuperación

Este indicador solo puede ser evaluado después de la ocurrencia de un desastre. Al no presentarse un evento catastrófico durante el periodo del análisis, el indicador no pudo ser estimado.

12.7. Perfil técnico de resiliencia de Cuernavaca

De acuerdo con la metodología propuesta para el perfil técnico de resiliencia, se llevó a cabo la recopilación y análisis de información, así como la generación de nueva información requerida. Tal fue el caso del historial de impacto socioeconómico, mapas, cuadros y gráficos.

Uno de los principales problemas ante fenómenos hidrometeorológicos que enfrenta la ciudad de Cuernavaca son las inundaciones, debido a la escasa planeación urbana, invasión de zonas de regulación y estrangulamiento de corrientes. La población asentada en las laderas de las barrancas está expuesta a escorrentías de alta velocidad, a reblandecimiento del suelo y a deslizamientos que ponen en riesgo a los habitantes, además de la poca infraestructura de servicios para las viviendas instaladas en estas zonas.



A lo anterior se suma la mala gestión del recurso hídrico, lo cual ha propiciado la existencia de sequías operativas derivando, en algunos casos, en sequías socioeconómicas. No existe una conciencia de las autoridades ni de la población en general sobre la importancia de la gestión integral del recurso hídrico en la ciudad, en donde el organismo operador trabaja en números rojos y el sistema de drenaje ha sido superado por la intensidad de las tormentas que se presentan cada año. Existe poca atención al sistema de saneamiento, ya que la mayor parte de las plantas de tratamiento instaladas no están en operación. Es de notar que el 100% de las PTAR instaladas solo tiene capacidad para sanear un pequeño porcentaje de las aguas residuales urbanas.

Adicionalmente, la falta de presupuesto para mantenimiento de la infraestructura y la ausencia de supervisión de sus condiciones físicas es otro de los problemas detectados. Estos dos puntos son importantes porque, incluso, la nueva infraestructura que incrementa la resiliencia requiere revisiones periódicas para detectar necesidades de mantenimiento y mantenerla en condiciones óptimas, sobre todo durante el impacto de un fenómeno hidrometeorológico para así evitar una falla que derive en desastre.

Por otro lado, es importante considerar la generación de documentos que den rumbo a las acciones que deben emprender las autoridades y la población, así como su actualización con base en las disposiciones del marco legal vigente. Tal es el caso de los programas de ordenamiento territorial y ecológico.

La Organización de las Naciones Unidas recomienda que existan planes de reducción del riesgo de desastre que especifiquen qué hacer antes, durante y después de una catástrofe (UNDP, 2015), considerados como instrumentos para incrementar la resiliencia. Cuernavaca solo cuenta con un plan reactivo, por lo que las medidas que toman las instituciones asociadas con la reducción del riesgo de desastre son



de corto plazo, únicamente con la finalidad de subsanar, de manera momentánea, las situaciones de riesgo.

Para poder crear los planes correspondientes es necesario contar con información confiable; registros sistemáticos, homogéneos y comparables; antecedentes; mediciones y, en general, con datos para definir las acciones que deben priorizarse en los planes, programas y estrategias que incrementen la resiliencia a corto y largo plazo.

Es importante que las autoridades tomen conciencia de que invertir en la reducción del riesgo de desastre garantiza que el desarrollo alcanzado en la ciudad permanezca y no se pierda debido al impacto de un fenómeno natural (OECD, 2017), por lo cual deben tener instituciones dedicadas a la reducción del riesgo de desastres con personal capacitado, equipo especializado y unidades adecuadas.

Un elemento importante para tener un nivel de resiliencia alto es el suministro de servicios básicos a la ciudadanía, tales como agua, luz, alcantarillado y saneamiento, en cantidad y calidad suficientes. Asegurar estos suministros garantizará resiliencia a largo plazo. Una ciudad con una administración sana en recursos hídricos es una ciudad preparada para hacer frente a fenómenos de cualquier índole (Agencia de Resiliencia, 2018), pero una ciudad sin agua es una ciudad destinada a desaparecer. Tanto las autoridades como la ciudadanía deben asignar el verdadero valor al agua, que va desde la asignación de un precio justo al servicio de suministro hasta el consumo moderado sin desperdicio, y evitar que el tema del sea politizado. La ciudadanía debe asimilar que invertir en un mejor servicio de abastecimiento de agua significa una mejor calidad de vida.








12.7.1. Nivel de resiliencia de Cuernavaca

La estimación del índice de resiliencia de la componente técnica dio como resultado 45.52 % que, de acuerdo con el Cuadro 12.2, corresponde a un nivel medio.

Cuadro 12.2. Nivel de resiliencia, de acuerdo con la calificación del índice.

Fuente: elaboración propia.

RANGO	NIVEL DE RESILIENCIA	
81 A 100		MUY ALTA
61 A 80		ALTA
41 A 60		MEDIA
21 A 40		BAJA
0 A 20		MUY BAJA

El índice técnico de resiliencia urbana ante fenómenos hidrometeorológicos en la ciudad de Cuernavaca se resume en el Cuadro 12.3:



Cuadro 12.3. Resultados de la evaluación de la resiliencia urbana de Cuernavaca.

Fuente: elaboración propia, con datos obtenidos del sistema computacional del Índice de Resiliencia en Ciudades.

ÍNDICE DE RESIDENCIA DE CUERNAVACA - COMPONENTE TÉCNICA			
	PESO	CALIFICACIÓN	SEMÁFORO
A. Amenaza principal	---	Inundaciones y sequías operativas	--
1. Infraestructura	30	11.56	
2. Programas de ordenamiento y códigos normativos	10	9.45	
3. Evaluaciones del riesgo	10	5.5	
4. Planes de reducción del riesgo de desastre (RRD)	10	3	
5. Presupuesto asignado a la atención de emergencias	10	0	
6. Instituciones de reducción del riesgo de desastre (RRD)	10	3.33	
7. Servicios vitales	12-	12.68	
8. Velocidad de recuperación	.	-	-
	100	45.52	



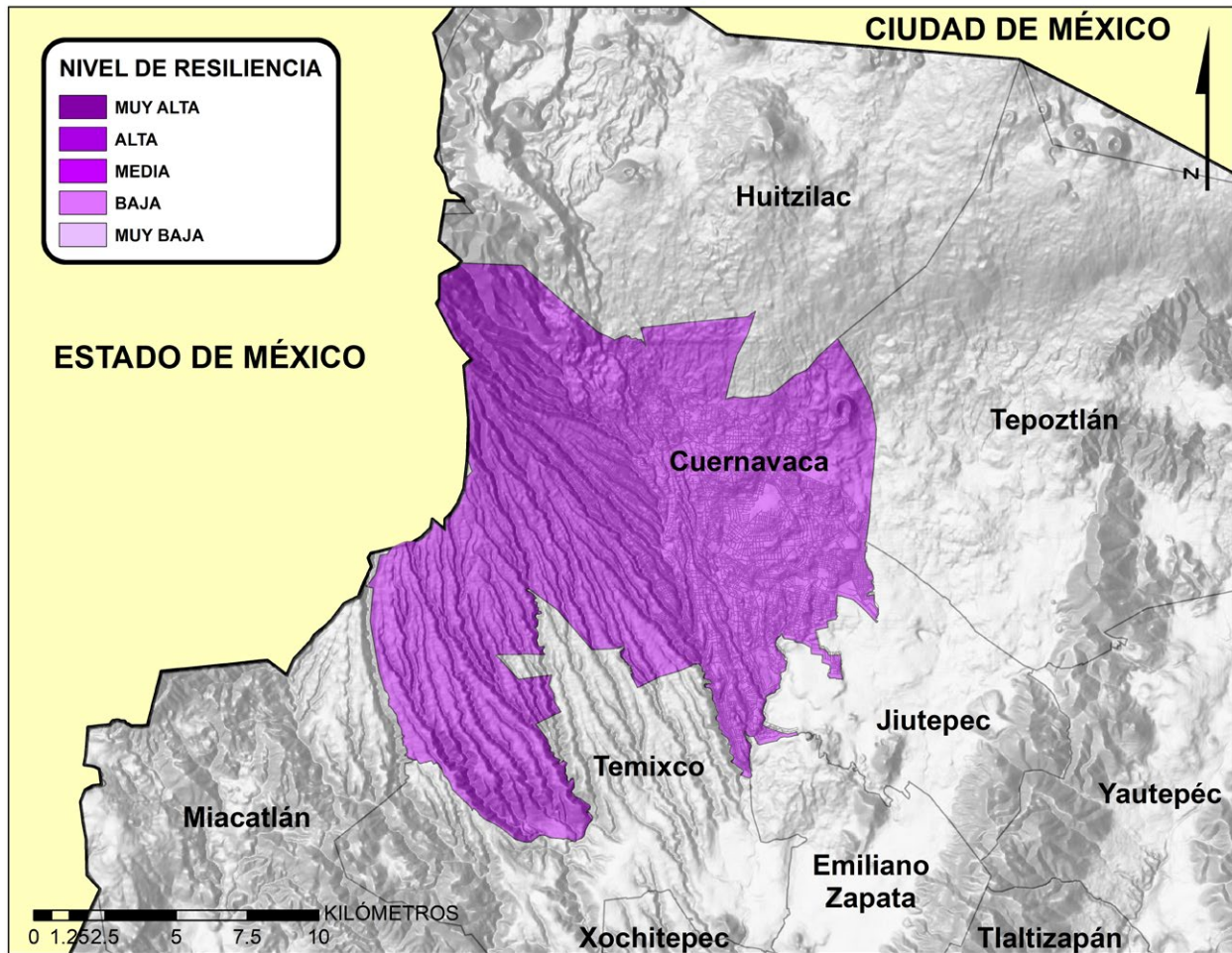


Figura 12.14. Mapa de resiliencia urbana de Cuernavaca.

Fuente: elaboración propia, con datos obtenidos del sistema computacional del Índice de Resiliencia en Ciudades.



12.8. Conclusiones

El cambio climático es una realidad y ocasiona fenómenos extremos que afectan severamente a las ciudades. Los eventos catastróficos no solo dañan los sistemas e infraestructura; generan rezago en el desarrollo, aletargan el proceso de crecimiento, provocan fuga de inversiones y una repentina demanda de recursos. Algunos países tardan décadas en recuperar el nivel de funcionamiento que tenían antes de un desastre.

Es necesario que construyamos ciudades más seguras y dinámicas, y que estén en una constante adaptación a las condiciones cambiantes del clima. La resiliencia es el medio para construir ciudades que resistan los embates de fenómenos extremos, se adapten, se recuperen ante desastres que dañen su infraestructura física y sistemática, y que mediante experiencia adquirida se preparen cada vez mejor. Incrementar la resiliencia de las ciudades reduce las pérdidas humanas y económicas, y permite que el desarrollo alcanzado en los países no se vea interrumpido; incluso, fomenta nuevas inversiones.

La resiliencia es la clave para cerrar la brecha entre reducción del riesgo de desastre y adaptación al cambio climático. El concepto “resiliencia”, a diferencia de “capacidad de adaptación”, es integral y busca la resistencia ante embates de agentes perturbadores, adaptación a los cambios constantes y recuperación ante desastres naturales y antrópicos, manteniendo un nivel de funcionamiento aceptable, preparándose cada vez mejor para el futuro y aprendiendo de eventos pasados.

La resiliencia es un concepto que cambiará la forma tradicional de ver el riesgo, al cambiar de una mentalidad reactiva a una proactiva, y considerar la inversión en la gestión del riesgo como una necesidad para el desarrollo integral. Las organizaciones



gubernamentales y no gubernamentales; internacionales, nacionales y locales, coinciden en que es fundamental crear resiliencia en las ciudades para reducir la probabilidad de catástrofes y evitar que el riesgo se convierta en desastre. En los próximos años, se tendrán centros urbanos con una mayor densidad de población, lo cual potenciará los efectos negativos de los fenómenos extremos y elevará drásticamente la probabilidad de pérdidas socioeconómicas y humanas, dado que el riesgo cero no existe. La resiliencia es una solución para disminuir dichas pérdidas.

Existen tres aspectos prioritarios que se deben atender para fortalecer la capacidad de las urbes a fin de enfrentar una situación de desastre: planeación urbana, sostenibilidad y resiliencia, los cuales permitirán construir ciudades seguras, dinámicas, inteligentes, funcionales y estéticas con capacidad para enfrentar las crisis que se presenten en los diferentes sectores, como los problemas asociados a la inseguridad hídrica. La reutilización del agua y la captación de agua pluvial son y serán temas recurrentes para alcanzar la sostenibilidad y fortalecer la resiliencia en las ciudades, así como generar valor en ellas. La resiliencia hídrica tomará un papel relevante en las acciones que emprendan los gobiernos de las ciudades, pues es clave para mantener un desarrollo sostenible ante unas próximas décadas donde se espera un mayor estrés hídrico (UN WATER, 2015).

Las estrategias de resiliencia deben contemplar el desarrollo de infraestructura resiliente, multipropósito y sostenible; es decir, que una inversión permita resolver varios problemas a la vez, desde las perspectivas social, económica y ambiental. El desarrollo de infraestructura debe garantizar resiliencia a largo plazo, así como las decisiones de diseño, ubicación y operación de ésta. La infraestructura mal planeada, mal construida y mal operada lleva a la construcción de riesgo. Los proyectos de desarrollo urbano deben incluir el riesgo ante fenómenos extremos, para dar certeza a la continuidad de las inversiones realizadas.



México es un país históricamente eficiente para atender emergencias desde una perspectiva reactiva, con experiencia en la gestión del desastre y no del riesgo, lo cual resulta más costoso. Por ello, debe evolucionar a una organización proactiva que le permita gestionar integralmente el riesgo. Debe existir mayor inversión en la elaboración de planes que incrementen la resiliencia de los centros urbanos y que delinee acciones a implementar para disminuir pérdidas por fenómenos naturales. Las autoridades de los tres niveles de gobierno deben ser conscientes que las acciones a emprender en el presente, asociadas con la planeación urbana, sostenibilidad y resiliencia, garantizarán bienestar en el futuro.

12.9. Bibliografía

- Advancing Science, Serving Society (2015). *What We Know. The reality, risks, and response to climate change*. Rhode Island: Advancing Science, Serving Society.
- Agencia de Resiliencia (2018). *Aprender del sismo para ser más resilientes*. Ciudad de México: Gobierno de la Ciudad de México. Programa 100 Ciudades Resilientes. Fundación Rockefeller.
- Arreguín Cortés, F. (2016). Resiliencia y ciudades sostenibles. *Alternativas verdes. Ciudades sustentables*. Cuernavaca: Gobierno del Estado de Morelos, p. 20.
- Banamex (2017). *Indicadores regionales de actividad económica*. Ciudad de México: El Banco Nacional de México.
- Centro Mario Molina (2014). *Guía para la elaboración de programas de acción climática. Nivel local*. Ciudad de México: Conacyt.
- Centro Regional de Investigaciones Multidisciplinarias (CRIM)-UNAM. (s/f). *Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático*. (J. R. García Barrios, M. G. Torres Gómez, & F. Jaramillo Monroy, Eds.) Recuperado el 2 de agosto de 2016, de <http://www.inecc.gob.mx/>: http://www.inecc.gob.mx/descargas/dgipea/pon_barranca_cuernavaca.pdf.



- Conagua (2014). *Evaluación del riesgo de inundación a través del cálculo del DAE municipal-regional (RH), y elaboración de tres programas de prevención contra contingencias hidráulicas para tres ciudades/cuenca prioritarias CNA-SGT-GASIR-07/2014*. Cuernavaca: Comisión Nacional del Agua.
- Contreras, M. T., & Mora, P. V. (2009). *Barrancas urbanas de Cuernavaca*. Cuernavaca: H. Ayuntamiento de Cuernavaca.
- CRED (2016). *2015 Disasters in numbers*. Brussels: CRED.
- EM-DAT (2018). *Emergency events database. The international disaster database*. Brussels, Belgium: Centre for Research on the Epidemiology of Disasters. Obtenido de The International Disaster Database.
- Fundación UNAM (25 de diciembre de 2017). Parque Hídrico La Quebradora, una realidad que beneficiará a capitalinos. *ECOPUMA*, p. 2.
- García, B. R. (2008). *Macroproyecto Manejo de Ecosistemas y Desarrollo Humano*. Unidad de Apoyo a la Investigación en Facultades y Escuelas, Secretaría de Desarrollo Institucional. Ciudad de México: Universidad Nacional Autónoma de México. Recuperado el 17 de agosto de 2016, de http://campus.iztacala.unam.mx/mmr/mega/info/info_FINAL2008/info_2005_2008_EXTENSO.pdf
- Gere, J., & Goodno, B. (1972). *Mecánica de materiales*. Stanford: Universidad de Stanford.
- Gobierno del Estado (2012). *Programa de Ordenamiento de la Zona Conurbada Intermunicipal*.
- H. Ayuntamiento Cuernavaca (2007). *Saneamiento*. Secretaría de Servicios Públicos y Medio Ambiente, Cuernavaca. Recuperado en diciembre de 2015, de <https://drive.google.com/drive/folders/0B1MWwiokjabgdWlzeVpqbVNFbFU>
- H. Ayuntamiento Cuernavaca, 2016 (s/f). *Datos estadísticos*.
- IFRC (2010). *Informe mundial sobre desastres*. Geneva: Federación Internacional de Sociedades de la Cruz Roja.
- IMTA (2014). *Programa de Medidas Preventivas y de Mitigación de la Sequía*. Jiutepec: Semarnat.
- Inegi (2009). *Prontuario de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos. Cuernavaca, Morelos*. México: Instituto Nacional de Estadística y Geografía.



- Inegi (2016). *Panorama sociodemográfico de Morelos 2015*. Cuernavaca: Instituto Nacional de Estadística y Geografía.
- IPCC (2002). *Climate change and biodiversity*. Geneva: Intergovernmental Panel on Climate Change.
- IPCC (2012). *Managing the risks of extreme events and disasters to advance climate change adaptation*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Meerow, S., Newell, J., & Stults, M. (2016). Defining urban resilience: a review. *Landscape and Urban Planning*, pp. 38-49.
- Monroy, O. R. (2006). El agua en Cuernavaca. La ruta de la insustentabilidad. *Economía informa*, pp. 46-57.
- OECD (2017). *Climate-resilient infrastructure: getting the polices right*. Paris: Organisation for Economic Co-operation and Development.
- Parsons, M., Morley, P., Glavac, S., McGregor, J., Hastings, P., Reeve, I., & Marshall, G. (2017). *Research Forum 2017: Proceedings from the Research Forum at the Bushfire and Natural Hazards CRC & AFAC Conference*. Melbourne: Bushfire and Natural Hazards CRC.
- Parsons, M., Morley, P., Marshall, G., Hastings, P., Glavac, S., Stayner, R., & Reeve, I. (2016). *The Australian Natural Disaster Resilience Index*. New England: Bushfire and Natural Hazards CRC.
- PNUD (2010). *Reducción del riesgo de desastre y recuperación*. Nueva York: Naciones Unidas.
- Rockefeller, & ARUP (2016). *City Resilience Index*. Londres: ARUP.
- Semarnat (2010). *Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Atotonilco*. Ciudad de México: Gobierno Federal.
- Sharifi, A. (2016). A critical review of selected tools for assessing community resilience. *Ecological Indicators*, pp. 629-647.
- Sharifi, A., & Yamagata, Y. (2016). On the suitability of assessment tools for guiding communities towards disaster resilience. *International Journal of Disaster Risk Reduction*(18), 115-124.



- The National Academies (2012). *Disaster resilience: a National Imperative*. Washington, D. C.: National Academy of Sciences.
- UAEM (2007). *Programa de Ordenamiento Ecológico del Territorio del Municipio de Cuernavaca*. Cuernavaca: Universidad Autónoma del Estado de Morelos.
- UN (2012). Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo Sostenible. Río de Janeiro: ONU (p. 3). Recuperado el 31 de octubre de 2016, de http://www.un.org/es/sustainablefuture/pdf/Rio+20_FS_DisasterResilience_SP.pdf
- UN HABITAT (2015). *Resiliencia urbana*. New York: United Nations. Obtenido de es.unhabitat.org: <https://es.unhabitat.org/temas-urbanos/resiliencia/>
- UN WATER (2015). *Agua para un mundo sostenible*. Colombella, Perusa, Italia: Naciones Unidas.
- UN WATER (2015). *Agua y desarrollo sostenible*. Ginebra: ONU.
- UNDP (2015). *Hacia la construcción de municipios resilientes: Recuperación post desastre*. El Salvador: Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo.
- Unicef (2012). *Adaptación al cambio climático y reducción del riesgo de desastres en el sector de la educación*. Nueva York: ONU.
- UNISDR (2005). *Marco de Acción de Hyogo para 2005-2015: aumento de la resiliencia de las naciones y las comunidades ante los desastres*. Kobe, Hyogo, Japón: Naciones Unidas.
- UNISDR (2008). *El cambio climático y la reducción del riesgo de desastres*. Ginebra: ONU.
- UNISDR (2009). *Terminología sobre reducción del riesgo de desastres*. Ginebra: Naciones Unidas.
- UNISDR (2012). *Cómo desarrollar ciudades más resilientes. Un manual para líderes de los gobiernos locales*. Ginebra: La Oficina de las Naciones Unidas para la Reducción del Riesgo de Desastres.
- UNISDR (2015). *Marco de Sendai para la Reducción del Riesgo de Desastres 2015-2030*. Sendai: Naciones Unidas.
- WaterClima LAC. (2017). *Resilience of coastal watersheds in Latin America and the Caribbean*. Cartago, Costa Rica: WaterClima LAC. doi:ISSN: 2215-485X





ÍNDICE DE VULNERABILIDAD FRENTE A INUNDACIONES EN LA CUENCA DEL APATLACO: ACERCAMIENTO DESDE LAS BRECHAS DE GÉNERO

Denise Soares, Roberto Romero, Anaís Vermondén Thibodeau, Yusif Salib Nava Assad y Daniel Iura González Terrazas

13

13.1. Resumen

En este capítulo se presenta una metodología para análisis de la vulnerabilidad frente a inundaciones, aplicada a la cuenca del río Apatlaco, en donde cada año hay problemas de este tipo por el desbordamiento del cauce del río Apatlaco y que origina severos daños.

La metodología se fundamenta en dos ámbitos complementarios: el hidroclimático, asociado a factores físicos y meteorológicos de la cuenca, y el de índole sociopolítico e institucional, en el cual se tratan de homologar los factores que intervienen en la construcción de la vulnerabilidad frente a inundaciones; entre ellos, las condiciones de desigualdad de género. En este sentido, se generan mapas de vulnerabilidad frente a inundaciones desde el referente de brechas de género para los distintos municipios que conforman la cuenca, considerando las desigualdades entre hombres y mujeres, en cualquier ámbito.

Al comparar los mapas de vulnerabilidad frente a inundaciones, elaborados a partir de datos generales y con brechas de género, se incrementa la vulnerabilidad solamente en dos municipios. Sin embargo, se asevera que el resultado no es totalmente válido, dado que de todos indicadores utilizados para la construcción de dicho índice, solamente el 25% es relativo a la brecha de género, motivo por el cual la información se diluye. Así, para poder aseverar que la brecha de género en los municipios de la cuenca no es determinante para definir rumbos diferentes en las políticas de cambio climático, es necesario contar con un número más o menos parejo de indicadores.

Se concluye afirmando que no se tienen suficientes variables asociadas con las desigualdades de género, frente a la abundante información respecto a características físicas de la cuenca y, por ello, es urgente generar información desagregada por sexo, a fin de diseñar políticas públicas de cambio climático que impacten en la reducción de las brechas de género y en las distintas expresiones de vulnerabilidad.

Palabras clave: inundaciones, índice de vulnerabilidad, brecha de género, cuenca del Apatlaco.

13.2. Introducción

El progresivo reconocimiento de la naturaleza polifacética del cambio climático, cuyas afectaciones conciernen tanto a los sistemas humanos como a los naturales, abre una ventana de diálogo y oportunidades de colaboración entre las ciencias. De hecho, las ciencias climáticas y sociales se acercan al cambio climático desde sus bases epistémicas y metodológicas para explicar la relación entre vulnerabilidad y desastres bajo la premisa de que el aumento en los niveles de vulnerabilidad social a



escala local, aunado al cambio climático global, con el incremento de las amenazas hidrometeorológicas, genera condiciones propicias para un drástico incremento del número de desastres a mediano y largo plazos.

Si bien el rol de las ciencias es clave para generar conocimiento en la materia, también es evidente que la capacidad de los sistemas socioambientales para hacer frente y adaptarse a las amenazas asociadas con el clima no es un asunto solamente científico, sino también de voluntad política. Para lograr el diseño de políticas públicas efectivas dirigidas a enfrentar el cambio climático es imprescindible comprender cómo se configura la vulnerabilidad a escala local. Solo de esta manera quienes toman decisiones podrán desarrollar medidas y acciones concretas en aras de reducir la fragilidad de las realidades territoriales, mejorando sus procesos de planificación e inversión pública.

El concepto “vulnerabilidad” se viene utilizando en los campos de las ciencias sociales y climáticas para analizar los estados de exposición, sensibilidad y resiliencia de comunidades específicas dentro de sus territorios ante determinadas amenazas, tales como exceso de lluvias, sequías e incremento inusual de temperatura, entre otras consecuencias del cambio climático. Para medir la vulnerabilidad necesitamos acercarnos a las fragilidades del territorio, analizando variables tales como infraestructura, sectores productivos de la economía y los servicios públicos y sociales. Asimismo, según los objetivos de la investigación, podremos evaluar vulnerabilidades específicas: institucional, poblacional y de recursos naturales, entre otras (Secretaría de Gestión de Riesgos, 2014).

La vulnerabilidad frente a inundaciones es de crucial relevancia dado que, según Hernández-Uribe *et al.* (2017), el 50% de los desastres en el mundo relacionados con el agua, se debe a inundaciones, mientras que Cervantes-Jaimes *et al.* (2012) aseveran que dicho fenómeno es el responsable de los eventos desastrosos con mayor costo



económico para México. Los riesgos de inundaciones en el país presentan una tendencia de ampliación significativa debido a la conjunción de dos fenómenos: el cambio climático, el cual incrementa la frecuencia e intensidad de fenómenos extremos hidrometeorológicos, y el proceso de urbanización, carente de planeación, con ocupaciones irregulares de márgenes de ríos y otras zonas inundables no aptas para el desarrollo urbano.

La cuenca del Apatlaco no es una excepción en este escenario de vulnerabilidad frente a inundaciones; más bien presenta severos riesgos de desastres asociados a un abrupto proceso de transformación del territorio donde el crecimiento de la zona urbana, aunado a una carencia de planeación, origina condiciones propicias para el incremento de la vulnerabilidad frente a inundaciones. En estos términos, en la conformación de las inundaciones en la cuenca del Apatlaco, además del factor hidrológico, relacionado con la elevada intensidad de lluvias en un espacio de tiempo reducido y que se intensificará por el cambio climático, no se puede menospreciar la variable de índole sociopolítica, asociada con estilos de desarrollo y planeación del uso de suelo.

El incremento de inundaciones en la cuenca del Apatlaco, a causa del cambio climático y a las carencias de planeación urbana, tendrá consecuencias desiguales para la población, en función de la pobreza. Los pobres, por su inseguridad y exclusión, tienen menores oportunidades de recuperarse de un desastre. De hecho, la inseguridad, entendida como una situación de inestabilidad y de exposición a riesgos, promueve el estrechamiento de las oportunidades de las personas de elegir y realizar un determinado modo de vida. De esta forma, una de las políticas clave para atender el cambio climático en la cuenca del Apatlaco debe ser de corte social, de tal suerte que se trabaje de manera sistemática y continua en romper el círculo vicioso de pobreza-falta de oportunidades-desastre por inundaciones-incremento de la pobreza, hacia la generación de oportunidades reales



para la reducción de la vulnerabilidad frente a inundaciones de los grupos marginados y el aumento de sus capacidades de adaptación.

Las mujeres son las más pobres entre los pobres. Dado que las mujeres representan el 70% de las personas más pobres del mundo, incluir las brechas de género en los indicadores de sensibilidad nos permite visibilizar y cuantificar la desigualdad de acceso a las oportunidades del desarrollo entre hombres y mujeres, en aras de generar recomendaciones de política centradas en la reducción de dicha brecha y, como tal, promover la igualdad sustantiva de género. La brecha de género destaca las desigualdades existentes entre hombres y mujeres en cualquier ámbito, cuantificando la magnitud de las disparidades basadas en el género.

13.3. Acercándonos a la comprensión de la vulnerabilidad

La definición de vulnerabilidad involucra cuatro conceptos: amenaza, exposición, sensibilidad y resiliencia. La amenaza está relacionada con el peligro que significa la posible ocurrencia de un fenómeno físico de origen natural o provocado por el ser humano, que puede manifestarse en un territorio durante un tiempo de exposición determinado. Podremos considerar la amenaza como el “apellido” de la vulnerabilidad, dado que siempre tenemos que referirnos a la vulnerabilidad frente a una amenaza concreta, que pudiera ser vulnerabilidad frente a inundaciones o cualquier otra amenaza.

La exposición se reconoce como la condición de desventaja debido a la ubicación del sistema expuesto al riesgo relacionado con el cambio climático, mientras que



la sensibilidad se refiere al grado de fragilidad interna del sistema para enfrentar la amenaza y recibir un posible impacto debido a la ocurrencia de un evento adverso, alcanzando consecuencias o daños potenciales que pueden afectar su funcionalidad.

La “sensibilidad” es un concepto central para predecir y entender la existencia de impactos diferenciados en los distintos grupos de una sociedad, dado que son las características internas de los elementos expuestos a las amenazas las que los hacen propensos de sufrir daños al ser impactados por éstas. La sensibilidad no es uniforme para los distintos grupos sociales, sino el riesgo es vivido y enfrentado de manera diferenciada por las personas debido a la construcción social diferenciada de la sensibilidad, basada en condiciones socioeconómicas, identidades y relaciones entre géneros.

A pesar de que los desastres afecten de forma distinta a hombres y mujeres por sus roles sociales diferenciados, gran parte de las iniciativas destinadas a la gestión de riesgos y a enfrentar el cambio climático adolecen de una mirada sensible a género, y esta ceguera no solo reduce la eficiencia de las propuestas, sino pueden contribuir a profundizar las desigualdades. En virtud de ello, es de suma relevancia considerar estos ámbitos en la definición de la sensibilidad, a fin de incorporarlos en los métodos para su medición, pues nos permite hacer visible las desigualdades y falta de oportunidades para las mujeres en las estrategias de desarrollo.

Los conceptos “sensibilidad”, “amenaza” y “exposición” se entrelazan en una mutua construcción y retroalimentación. La sensibilidad se manifiesta frente a una determinada amenaza, en función de su grado de exposición. Por ejemplo, una lluvia de gran intensidad acompañada de inundación puede afectar a una población ocasionando la pérdida de casas, enseres domésticos y hasta de vidas humanas. Por



lo tanto, la población es sensible a estos eventos extremos (amenazas) en cuanto a la pérdida de viviendas, enseres domésticos y vidas humanas (sensibilidad) a causa de su ubicación en una zona inundable (exposición).

Finalmente, la resiliencia se concibe como la capacidad de resistencia del sistema para absorber, resistir, adaptarse y recuperarse de los efectos de una amenaza sin la pérdida de sus atributos internos; es decir, es su capacidad de ser resistente (Cardona, 1991; Constantino T. & Dávila I., 2011; Lampis, 2013).

Transparencia Mexicana (2017:18) retoma a Gallopín (2006), Smit y Wandel (2006) y al IPCC (2012), quienes afirman que, en el contexto de cambio climático, al hacer referencia a la resiliencia se debe distinguir entre la capacidad de respuesta y la capacidad adaptativa. Mientras “capacidad de respuesta” se refiere a las habilidades y recursos disponibles para manejar y sobreponerse a condiciones adversas con intención de alcanzar un funcionamiento fundamental de supervivencia y condiciones básicas de bienestar en el corto y mediano plazos, la “capacidad adaptativa” se enfoca en estrategias de largo plazo que abordan la disponibilidad de recursos y tendencias futuras, dirigidas a anticipar cambios y abordarlos de forma proactiva.

Desde esta perspectiva, la vulnerabilidad se caracteriza tanto por su componente de susceptibilidad/debilidad, expresada por los conceptos “sensibilidad” y “exposición”, como por su elemento de fortaleza, referido por la resiliencia/adaptación. Según la Oficina de las Naciones Unidas para la Reducción del Riesgo de Desastre (UNISDR), citada por la Secretaría de Gestión de Riesgos (2014), la vulnerabilidad es una condición producto de las acciones humanas, indica el grado en que una sociedad está expuesta o protegida del impacto de las amenazas y depende del estado de los asentamientos humanos y su infraestructura, la manera en que la administración



pública maneja políticas de gestión del riesgo, y los grados de información y educación de una sociedad sobre los riesgos existentes y cómo enfrentarlos. Dicha definición permite una representación en los siguientes términos:

Vulnerabilidad frente a una amenaza concreta = Exposición + Sensibilidad - Resiliencia (capacidad de respuesta + capacidad adaptativa)

La vulnerabilidad es dinámica, cambiante y siempre debe estar relacionada con un sistema específico, tal como la población de un determinado territorio, cuyas actividades, además de agravar ciertas amenazas y degradar el territorio, generan nuevos espacios vulnerables. Las condiciones de vulnerabilidad de un territorio pueden cambiar a lo largo del tiempo, toda vez que están relacionadas con perfiles poblacionales, institucionales, políticos y económicos.

En este sentido, al referirnos a “vulnerabilidad”, estamos a la par mencionando problemas irresueltos de desarrollo y, como tal, el concepto va más allá de la sensibilidad frente al daño. Las actividades humanas, en el marco de las acciones vinculadas al desarrollo, como falta de ordenamiento territorial y planeación urbana, carencia de infraestructura adecuada y prácticas ambientales inapropiadas (deforestación), entre otras, generan erosión, contaminación, presión en el uso del suelo y pérdida de la biodiversidad, agravando algunas amenazas (inundaciones) y provocando nuevas condiciones de vulnerabilidad (Secretaría de Gestión de Riesgos, 2014; Lavell, 2005).

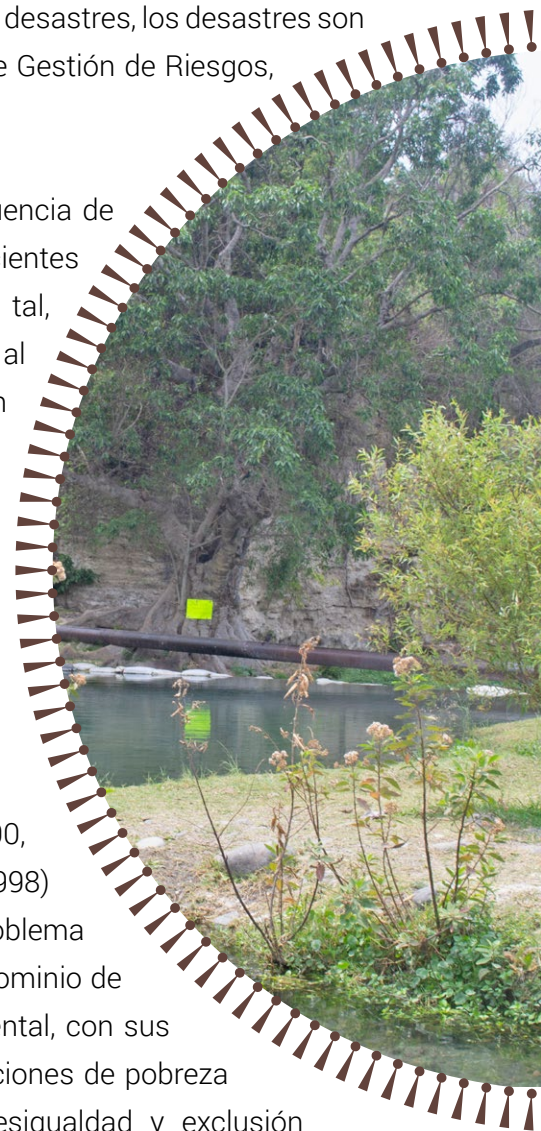
En estos términos, la vulnerabilidad juega un rol determinante en la construcción de los desastres y es el punto de partida para comprender las consecuencias de los modelos de desarrollo. Por lo tanto, las condiciones de desarrollo de los territorios constituyen un punto de referencia crucial para comprender la vulnerabilidad. Así como



el subdesarrollo y la pobreza son causas inevitables de los desastres, los desastres son una consecuencia lógica del subdesarrollo (Secretaría de Gestión de Riesgos, 2014; Lavell, 1996, 2005).

Desde esta lógica, los desastres ocurren como consecuencia de decisiones previas vinculadas con incorrectas o insuficientes políticas sociales, económicas y ambientales, y como tal, presentan un fuerte componente político y social. Por ello, al evaluar la vulnerabilidad, las variables no climáticas tienen un impacto directo en la exposición y sensibilidad de un sistema hacia un estímulo climático y se asocian con un rango amplio de factores propios del medio ambiente, sociales, demográficos, tecnológicos y políticos, los cuales pueden tener efectos benéficos o adversos sobre el sistema (Transparencia Mexicana, 2017; Lavell, 2000).

Autores como Lavell (1993, 2000), Wilches-Chaux (2000, 1993), Uribe *et al.* (1999), Adger (2006) y Blaikie *et al.* (1998) argumentan que los desastres se configuran como un problema no resuelto del desarrollo, basado en un paradigma de dominio de la naturaleza que ha generado una crisis social y ambiental, con sus consecuencias en términos de incremento de las condiciones de pobreza y falta de alternativas de reactivación económica, desigualdad y exclusión social, debilidad en las formas de planificación del uso del suelo, corrupción, falta de legitimidad política, conflictos, falta de coordinación interinstitucional, contaminación de fuentes de agua, pérdida de la biodiversidad, etcétera.



Diferentes modelos de desarrollo se asocian con distintas expresiones de riesgo y vulnerabilidad, de tal suerte que el círculo vicioso del desastre está profundamente inserto en el círculo vicioso del subdesarrollo y la pobreza. Concluyendo, el problema mayor no es la amenaza, sino la vulnerabilidad de las sociedades, como variable endógena del proceso de desarrollo; es decir, es el propio modelo que la genera y, por ello, resulta paradójico pensar en reducir la vulnerabilidad sin plantearse un cambio en el modelo en sí (Wilches-Chaux, 2000; Adger, 2006; Cardona, 2012).

13.4. Acercándonos a la medición de la vulnerabilidad frente a inundaciones

Para definir los indicadores que integran el índice de vulnerabilidad frente a inundaciones en la cuenca del río Apatlaco se revisaron diversas metodologías, entre la que destaca la desarrollada por investigadores del Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA) (Soares *et al.*, 2010 y 2015). El aporte de esta metodología consistió en la construcción de un Índice de Vulnerabilidad Social (IVS) a partir de indicadores socioeconómicos que generan estadísticas oficiales en México.

Dicho IVS fue creado desde un enfoque teórico influido por las ideas de Susan L. Cutter, quien considera que:

la vulnerabilidad social tiene que ver explícitamente con los factores demográficos y socioeconómicos que incrementan o atenúan los impactos de los eventos de riesgo en las poblaciones locales; es decir, la vulnerabilidad social ayuda a definir quién está en riesgo y en qué grado puede verse perjudicado (Cutter *et al.*, 2009).



Bajo este enfoque, los autores del IVS seleccionaron 15 indicadores socioeconómicos que agruparon en cinco ejes temáticos: Salud, Educación, Vivienda, Empleo e Ingreso y Población. Con esta información se construyó el IVS, herramienta que permite conocer el nivel de acceso a los bienes y servicios que influyen en la fortaleza o debilidad de la población para enfrentar situaciones de riesgo.

No obstante el potencial que ofrece el IVS, presenta limitaciones metodológicas para medir la vulnerabilidad de una población ante un evento como las inundaciones, pues no incluye variables físicas o naturales, tales como lluvia, clima, cubierta vegetal, etcétera. Es por ello que se revisaron otras metodologías para analizar la vulnerabilidad frente a eventos hidrometeorológicos específicos.

Así, se encontró el trabajo elaborado por investigadores del Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (Inecc), quienes desarrollaron el *Atlas nacional de vulnerabilidad ante el cambio climático* (ANVCC) (http://atlasvulnerabilidad.Inecc.gob.mx/anvcc_v3/). Con este instrumento, el Inecc mapea y difunde la vulnerabilidad territorial relacionada con el clima y, de esta forma, contribuye a tomar decisiones en el proceso de adaptación al cambio climático.

En el ANVCC se identifican nueve tipos de vulnerabilidades frente al cambio climático; una de ellas se relaciona con la “vulnerabilidad de asentamientos humanos a inundaciones”. Cabe señalar que este fenómeno se ha convertido en el evento extremo que con mayor frecuencia afecta a las poblaciones en el mundo. En 2012, las inundaciones afectaron a 178 millones de personas (Cavazos, 2015).

Para evaluar la vulnerabilidad frente a inundaciones, el Inecc creó un índice que combina: ubicación de los asentamientos humanos en las cuencas hidrográficas, repuesta



hidrográfica de las cuencas, exposición ante las lluvias (precipitación acumulada y su distribución) y capacidades institucionales de prevención y respuesta ante los eventos de inundación. Cabe señalar que en esta metodología no se toman en cuenta las características socioeconómicas de la población, lo cual implica una limitante, pues impide visualizar los impactos diferenciados que tienen los eventos extremos en la población, según sus condiciones socioeconómicas, e invisibiliza la construcción social del riesgo.

A fin de contar con un índice integral que permita conocer la vulnerabilidad ante inundaciones en la cuenca del río Apatlaco, en este trabajo se decidió tomar como referencia la propuesta metodológica del Inecc, sumando a ella indicadores socioeconómicos que fueron desagregados por sexo, por considerar que los desastres no afectan de manera equilibrada a las poblaciones en los distintos territorios, sino que las desigualdades de género constituyen un eje importante en la construcción de las vulnerabilidades. A continuación, se exponen los ejes temáticos que integran el índice y los indicadores que los conforman.

De acuerdo con la propuesta del Inecc, para la creación del Índice de Vulnerabilidad Frente a Inundaciones (IVFI) es necesario combinar tres tipos de datos o ejes temáticos: 1) factores de exposición ante inundaciones; es decir, la precipitación acumulada y su distribución, 2) sensibilidad de los asentamientos humanos, determinada por las características hidrológicas de la cuenca y la concentración poblacional en zonas inundables, y 3) resiliencia; es decir, la capacidad de respuesta más la capacidad adaptativa con que cuentan las instituciones gubernamentales. La innovación que proponemos a este modelo consiste en incorporar al componente de sensibilidad los indicadores socioeconómicos. En el siguiente cuadro se señalan los indicadores que integran cada eje temático y sus fuentes de información.



Cuadro 13.1. Indicadores seleccionados para construir el Índice de Vulnerabilidad Frente a Inundaciones (IVFI).

TEMA	Subtema	INDICADORES	Fuente
Exposición	Exposición actual	Frecuencia potencial de inundaciones por precipitación actual.	ANVCC (Inecc)
		Índice de estacionalidad de la lluvia actual.	ANVCC (Inecc)
	Exposición futura	Frecuencia potencial de inundaciones por precipitación con modelo CNRM. ¹	ANVCC (Inecc)
		Índice de la estacionalidad de la lluvia futura con modelo CNRM.	ANVCC (Inecc)
Sensibilidad	Respuesta hidrológica de la cuenca	Cubierta vegetal natural.	ANVCC (Inecc)
		Índice de compacidad del municipio.	ANVCC (Inecc)
	Población susceptible a inundaciones	Población total municipal zona inundable.	ANVCC (Inecc)
		Población relativa municipal zona inundable.	ANVCC (Inecc)
	Área del municipio con zonas de inundación	Porcentaje del área del municipio susceptible a inundación.	ANVCC (Inecc)
	Indicadores socioeconómicos	Porcentaje de hombres y mujeres analfabetas.	Inegi. Encuesta Intercensal 2015
		Porcentaje de hombres y mujeres con ingresos hasta 2 SMM.	Encuesta Intercensal 2015 (Inegi)
		Porcentaje de hombres y mujeres con trabajo no remunerado.	Encuesta Intercensal 2015 (Inegi)
		Porcentaje de hombres y mujeres sin drenaje.	Encuesta Intercensal 2015 (Inegi)
		Porcentaje de hombres y mujeres sin agua.	Encuesta Intercensal 2015 (Inegi)

¹ El CNRM es un modelo del sistema terrestre diseñado para ejecutar simulaciones de clima, el cual fue desarrollado por el Centre National de Recherches Météorologiques. Voldoire, et al. (2013).



Cuadro 13.1. Indicadores seleccionados para construir el Índice de Vulnerabilidad Frente a Inundaciones (IVFI). (Continuación)

TEMA	Subtema	INDICADORES	Fuente
Resiliencia	Índice de adaptación	Superficie de área con pago por servicios ambientales.	Sistema Nacional de Información Forestal (Conafor)
		Superficie de área del municipio con vegetación natural en ANP.	Áreas Naturales Protegidas Decretadas (Conanp)
		Unidades municipales de protección civil.	Censo Nacional de Gobiernos Municipales y Delegacionales 2015 (Inegi)
		Atlas de riesgo municipal y mapa de riesgo por inundación.	ANVCC (Inecc)
	Índice de respuesta	Mecanismos de contraloría social.	Transparencia Mexicana A. C.
		Incidencia de la participación en la gestión municipal.	Transparencia Mexicana A. C.

Para entender gráficamente la manera en cómo se construyó el IVFI, se muestra la Figura 13.1. En dicha figura se puede observar que el IVFI se compone de tres subíndices: exposición, sensibilidad y resiliencia, los cuales a su vez se integran por diversos ejes temáticos que agrupan los indicadores seleccionados. Más adelante se expondrán con detalle los indicadores seleccionados para cada eje temático y la forma en que se procesó la información para construir el Índice de Vulnerabilidad Frente a Inundaciones.

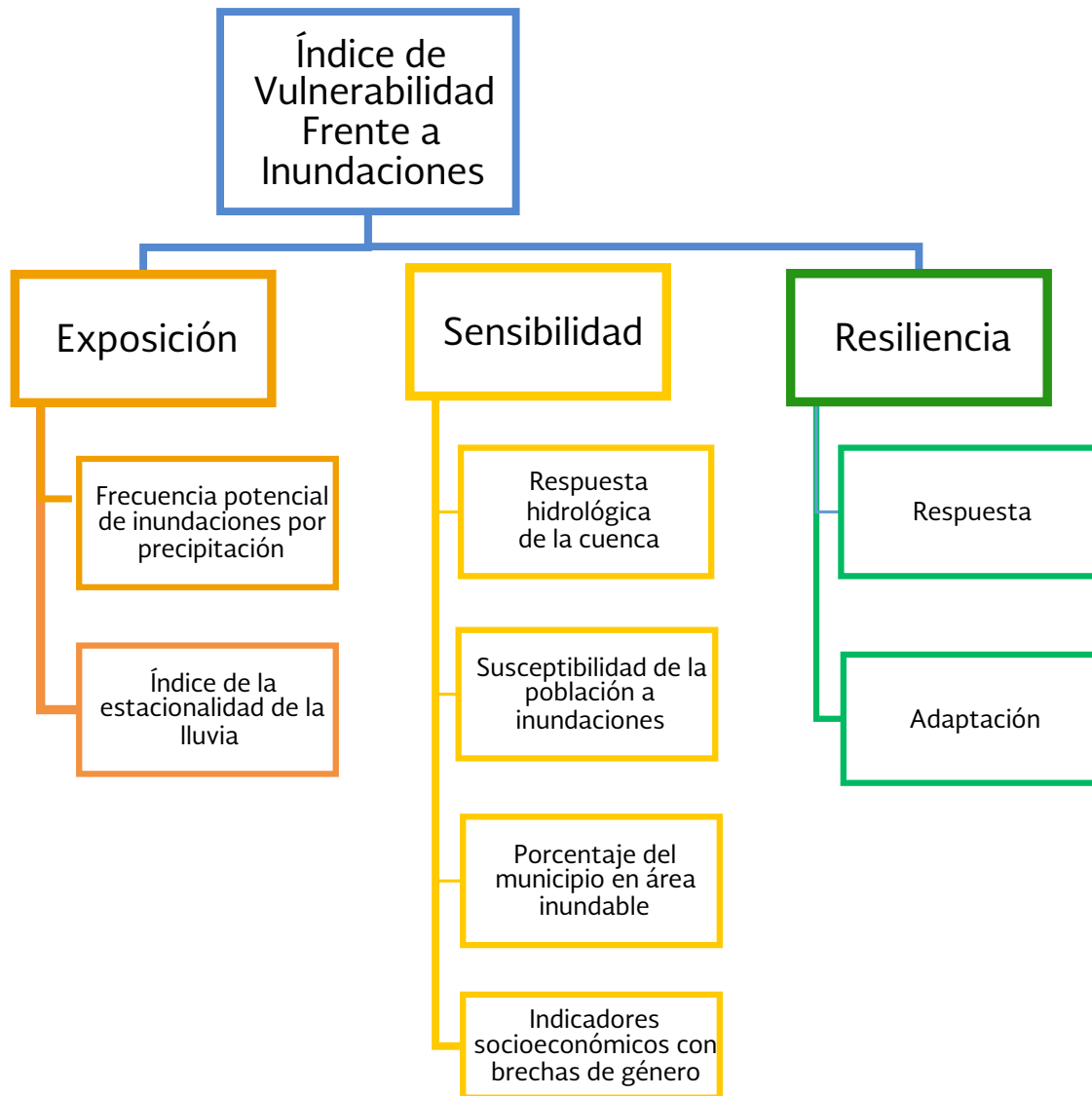


Figura 13.1. Componentes temáticos del IVFI.



13.5. Metodología para construcción del índice

La manera en que se construyó el IVFI para la cuenca del río Apatlaco fue la siguiente:

Se ubicaron los diez municipios con población dentro de la cuenca en el estado de Morelos, como se muestra a continuación:

Cuernavaca
Emiliano Zapata
Huitzilac
Jiutepec
Jojutla
Puente de Ixtla
Temixco
Tlaltizapán de Zapata
Xochitepec
Zacatepec.

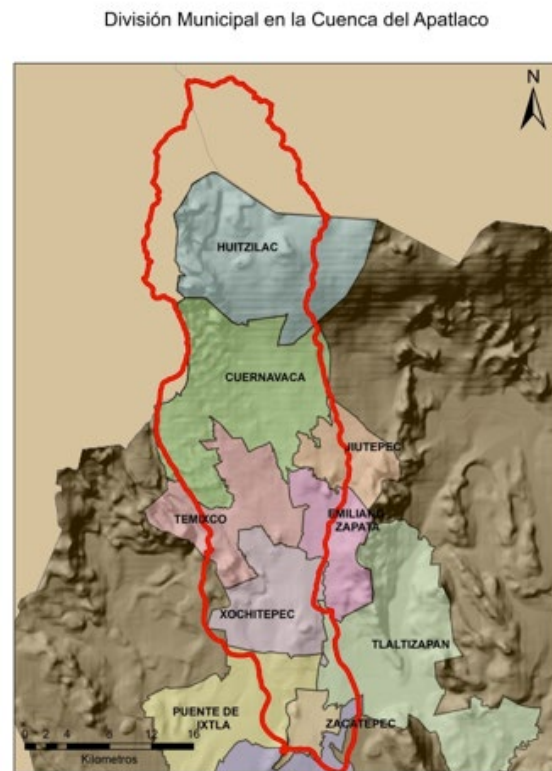


Figura 13.2. Mapa de la cuenca. Construcción propia.

En un segundo momento, se obtuvo y procesó la información estadística de los indicadores seleccionados para la conformación del IVFI. Con estos datos se procedió a generar el índice de cada eje temático: a) índice de exposición, b) índice de sensibilidad y c) índice de resiliencia.

Cabe resaltar que para el caso del municipio de Huitzilac, debido a su ubicación en la parte alta de la cuenca, no cuenta con área y tampoco población en zonas inundables. Por ello, no hay información para la construcción del índice de exposición y tampoco algunos indicadores que componen el índice de sensibilidad. Sin embargo, nos parece pertinente mantenerlo en la construcción del IVFI dado que, por un lado, es un municipio muy marginado y, por otro, cuenta con instrumentos de planeación orientados a la adaptación y capacidad de respuesta. Mantenerlo en el mapeo de la vulnerabilidad permite generar recomendaciones para la elaboración de políticas públicas dirigidas a reducir la vulnerabilidad.

Dada la diversidad de datos que manejan los indicadores seleccionados (índices, porcentajes o números absolutos), para elaborar los índices temáticos primero se estandarizó el valor de cada indicador en una escala de 0 a 1. En el caso de los índices de exposición y sensibilidad, los valores cercanos a 1 indican mayor vulnerabilidad; en el caso del índice de resiliencia, los valores cercanos a 1 señalan mayor resiliencia.

Para obtener los valores estandarizados de cada indicador, se aplicó la siguiente fórmula:

$$X = \frac{x - \text{mín}}{\text{Máx} - \text{mín}} = (0...1)$$



Los componentes de la fórmula son:

- X = Valor estandarizado de la variable seleccionada.
- x = Valor absoluto del indicador de cada municipio seleccionado.
- $Mín$ = Valor mínimo del conjunto de valores de los municipios seleccionados.
- $Máx$ = Valor máximo del conjunto de valores de los municipios seleccionados.
- $(0...1)$ = Resultado de la fórmula. El rango de variación va de 0.00 hasta 1.00.

13.6. Índice de exposición

Para la obtención de este índice se replicó la metodología desarrollada por el Inecc en la elaboración de su ANVCC, específicamente en su apartado de “Vulnerabilidad de asentamientos humanos a inundaciones”. Para esta metodología, la magnitud de las inundaciones depende de la precipitación (intensidad, profundidad, duración, temporada y distribución espacial). Para medir este fenómeno, el Inecc construyó dos variables: el índice de estacionalidad de la lluvia y los umbrales de precipitación para la presencia de inundaciones.

La primera variable (índice de estacionalidad de la lluvia) señala la distribución temporal de la precipitación en un territorio (en este caso, el municipio) y determina la posibilidad de inundaciones. Para el Inecc, los municipios donde el régimen de lluvias se concentra en pocos meses son más susceptibles a inundaciones, porque hay un mayor número de eventos continuos de precipitación, los cuales se acumulan generando susceptibilidad de la población a avenidas súbitas de agua de lluvia por escurrimiento.

La segunda variable (frecuencia potencial de inundaciones) nos señala la importancia



que tienen los volúmenes de lluvia que precipitan en un periodo, para determinar la posibilidad de inundación. Es decir, existe la potencialidad de inundación cuando la cantidad de lluvia acumulada en un lapso es mayor al umbral de lluvia para la presencia de una inundación.

13.6.1. Construcción del índice de exposición

Para obtener el índice de exposición (actual o con modelo CNRM), se obtiene el promedio aritmético de los valores estandarizados de las dos variables. A continuación, se presentan los cuadros que arrojan el resultado de este ejercicio:

Cuadro 13.2. Índice de exposición actual.

Municipio	Valores absolutos		Valores estandarizados		Índice de exposición actual
	Índice de estacionalidad de la lluvia actual	Frecuencia potencial de inundaciones	Índice de estacionalidad de la lluvia actual	Frecuencia potencial de inundaciones actual	
Cuernavaca	0.94540	11.81649	0.280	0.495	0.387
Emiliano Zapata	0.93119	11.79510	0.000	0.478	0.239
Huitzilac ²	Sin datos	Sin datos	Sin datos	Sin datos	Sin datos
Jiutepec	0.95119	11.46226	0.394	0.203	0.299
Jojutla	0.98198	11.21560	1.000	0.000	0.500
Puente de Ixtla	0.96916	11.91277	0.747	0.575	0.661
Temixco	0.93993	12.42881	0.172	1.000	0.586
Tlaltizapán de Zapata	0.94647	11.74381	0.301	0.435	0.368
Xochitepec	0.93329	11.36009	0.041	0.119	0.080
Zacatepec	0.95744	11.42746	0.517	0.175	0.346

Fuente: construcción propia a partir de los indicadores del Inecc.

² En la metodología del ANVCC del Inecc, los municipios que no presentan zonas ni población en riesgo de inundación no fueron tomados en cuenta en la elaboración del IVFI. Es el caso de Huitzilac, por lo cual no se cuenta con datos de la exposición a precipitaciones.



En el cuadro anterior se observa que de los diez municipios de la cuenca del río Apatlaco, los municipios de la parte baja están expuestos a recibir lluvias más intensas, numerosas y prolongadas. Es el caso de Puente de Ixtla, donde se presenta el mayor valor del índice de exposición; Xochitepec, ubicado en la parte media de la cuenca, es el municipio que presenta el valor más bajo de este índice.

Para analizar la tendencia en la precipitación y conocer potenciales efectos del cambio climático, se realizó el mismo ejercicio con datos del modelo de circulación general CNRM, el cual permite construir escenarios del clima en un periodo específico. En este caso, el Inecc utilizó el modelo para el periodo (“futuro cercano”) del 2015 a 2039. A continuación, se presentan los resultados:

Cuadro 13.3. Índice de exposición con modelo CNRM.

Municipio	Valores absolutos		Valores estandarizados		Índice de exposición con modelo CNRM
	Índice de estacionalidad de lluvia futura con modelo CNRM	Frecuencia potencial de inundaciones futuras con modelo CNRM	Índice de estacionalidad de lluvia futura con modelo CNRM.	Frecuencia potencial de inundaciones futuras con modelo CNRM	
Cuernavaca	0.967005	12.326349	0.239	0.449	0.34434
Emiliano Zapata	0.955239	12.364369	0.000	0.480	0.24011
Huitzilac	Sin datos	Sin datos	Sin datos	Sin datos	Sin datos
Jiutepec	0.973181	11.987507	0.365	0.173	0.26908
Jojutla	1.004376	11.775240	1.000	0.000	0.50000
Puente de Ixtla	0.988822	12.465712	0.683	0.563	0.62314
Temixco	0.962597	13.002037	0.150	1.000	0.57487
Tlaltizapán de Zapata	0.971381	12.351435	0.329	0.470	0.39909
Xochitepec	0.958263	11.933853	0.062	0.129	0.09542
Zacatepec	0.981972	12.023164	0.544	0.202	0.37307

Fuente: construcción propia a partir de los indicadores del Inecc.



Analizando los datos que arroja el modelo CNRM, con información proyectada a un escenario climático de 2015 a 2039, no se vislumbran diferencias importantes en relación a la exposición actual. En este escenario, también destaca Puente de Ixtla como el municipio que tendrá la mayor exposición a lluvias e inundaciones y, Xochitepec, donde se presentarán en menor medida estos fenómenos climáticos.

13.7. Índice de sensibilidad

Para la construcción de este índice se retomó la metodología del Inecc, la cual incluye tres criterios: a) respuesta hidrológica de la cuenca, b) población susceptible a inundaciones, y c) porcentaje del municipio con zonas inundables. Sin embargo, en esta contribución enriquecemos dicho índice agregando un cuarto criterio para determinar la sensibilidad, con la inclusión de un conjunto de indicadores socioeconómicos, los cuales fueron desagregados por sexo. La inserción de estos indicadores al índice es relevante pues, con ellos, se intenta visibilizar una doble desigualdad presente en nuestro país: por un lado, el desigual acceso a bienes y servicios básicos entre los distintos sectores sociales, y, por otro, la desigualdad de género existente al interior de los grupos sociales. Existen numerosos trabajos que demuestran el desigual acceso que tienen las mujeres a los servicios básicos (salud, educación, ingreso, etcétera). Esta condición de desigualdad social y de género tiene efectos adversos en el desarrollo de capacidades de los grupos sociales menos favorecidos, lo cual los vuelve más vulnerables frente a los fenómenos hidroclimáticos extremos, como las lluvias fuertes que provocan inundaciones.

Como se argumentó, el índice de sensibilidad está integrado de cuatro ejes temáticos. El primer criterio es la respuesta hidrológica de la cuenca, cuya importancia reside en la posibilidad de estimar los recursos hídricos aportados por las cuencas y su



respuesta ante eventos extremos, con objeto de evitar riesgos por fuertes crecidas. Para determinar dicha respuesta hidrológica, el Inecc construyó dos variables: índice de compacidad de la cuenca y cubierta vegetal natural.

La primera variable, índice de compacidad, toma en cuenta la forma de la cuenca, pues asume que entre más redonda es la cuenca la concentración de los flujos superficiales es más rápida, lo cual provoca picos súbitos violentos y recesiones rápidas ante tormentas extraordinarias, características que favorecen la escorrentía directa y eleva el riesgo a inundaciones. La segunda variable, cubierta vegetal natural, indica la superficie de la cuenca que cuenta con vegetación natural, la cual regula los flujos superficiales y la escorrentía, protege el suelo de la erosión y controla las inundaciones.

A continuación, se presentan los resultados del procesamiento y estandarización (con valores de 0 a 1) de las variables que integran el primer criterio del índice de sensibilidad: la respuesta hidrológica de la cuenca.

Cuadro 13.4. Respuesta hidrológica de la cuenca.

Municipio	Cubierta vegetal natural	Índice de compacidad del municipio	Índice de la respuesta hidrológica de la cuenca
Cuernavaca	0.6667	0.0000	0.3333
Emiliano Zapata	0.3333	0.0501	0.1917
Huitzilac	Sin datos	Sin datos	Sin datos
Jiutepec	0.6667	0.0070	0.3368
Jojutla	0.0000	0.7232	0.3616
Puente de Ixtla	0.6667	0.6070	0.6368
Temixco	0.6667	0.0001	0.3334
Tlaltizapán de Zapata	1.0000	0.3059	0.6529
Xochitepec	0.3333	0.0086	0.1710
Zacatepec	1.0000	1.0000	1.0000

Fuente: construcción propia a partir de los indicadores del Inecc.



Lo que se observa en el Cuadro 13.4 es que de los diez municipios que componen la cuenca Apatlaco, son los municipios de la parte baja los que tienen una menor respuesta hidrológica (menor cubierta vegetal y concentraciones más altas de flujos superficiales); los encabeza Zacatepec, seguido de Tlaltizapán y Puente de Ixtla. Por el contrario, los municipios con mejor respuesta hidrológica son Xochitepec y Emiliano Zapata.

El segundo criterio del índice de sensibilidad es la población susceptible a inundaciones. Para construirlo, el Inecc ubicó los asentamientos humanos y su distribución respecto a las zonas identificadas como inundables. Posteriormente, con objeto de no subestimar o sobrestimar la cantidad de personas en situación de peligro por inundaciones, tomó en cuenta tanto la población total como el porcentaje de población que habita el área municipal susceptible a inundación.

Cuadro 13.5. Índice de población susceptible de inundaciones.

Municipio	Población total municipal zona inundable	Población relativa municipal zona inundable	Índice de población susceptible a inundaciones
Cuernavaca	0.0023	0.0000	0.0011
Emiliano Zapata	0.1045	0.0501	0.0773
Huitzilac	0.0000	0.0000	0.0000
Jiutepec	0.0353	0.0070	0.0211
Jojutla	1.0000	0.7232	0.8616
Puente de Ixtla	0.9378	0.6070	0.7724
Temixco	0.0000	0.0001	0.0001
Tlaltizapán de Zapata	0.3745	0.3059	0.3402
Xochitepec	0.0128	0.0086	0.0107
Zacatepec	0.8793	1.0000	0.9397

Fuente: construcción propia a partir de los indicadores del Inecc.



Lo que destaca de el cuadro anterior, es que los municipios con menos población en zonas inundables son los que están ubicados en la parte alta de la cuenca. Huitzilac no cuenta con información porque no tiene áreas inundables; le siguen Temixco y Cuernavaca, donde muy pocos pobladores están ubicados en zonas inundables. La población que habita zonas inundables está concentrada en los municipios de la parte baja de la cuenca: Zacatepec, Jojutla y Puente de Ixtla.

El tercer criterio considerado en este índice es el porcentaje del municipio con zonas inundables. Con esta variable se determina el grado de sensibilidad de un municipio, de acuerdo con el tamaño de la superficie susceptible a inundaciones. Cabe señalar que en la cuenca del río Apatlaco, el municipio de Huitzilac no cuenta con áreas inundables debido a que se encuentra en la parte alta. Por ello, en algunas variables no se incluyen datos.

Cuadro 13.6. Área municipal con zonas de inundación.

Municipio	Área del municipio con zonas de inundación
Cuernavaca	0.0000
Emiliano Zapata	0.4764
Huitzilac	0.0000
Jiutepec	0.0740
Jojutla	0.4820
Puente de Ixtla	0.2351
Temixco	0.1303
Tlaltizapán de Zapata	0.3587
Xochitepec	0.1349
Zacatepec	1.0000

Fuente: construcción propia a partir de los indicadores del Inecc.



El Cuadro 13.6 confirma la información vertida en el cuadro anterior; es decir, los municipios de las partes altas de la cuenca son los que tienen menores superficies con zonas de inundación; son los casos de Huitzilac y Cuernavaca. Los municipios de las partes bajas de la cuenca presentan en mayor medida dicha problemática: Zacatepec, Jojutla y Emiliano Zapata.

El cuarto criterio en la construcción del índice de sensibilidad son las características socioeconómicas de la población y su distinción por género. Ya se comentó, líneas arriba, la importancia de incluir las variables socioeconómicas para visibilizar la doble desigualdad en el acceso a los bienes y servicios básicos: desigualdad social y la de género. Para entender por qué los fenómenos naturales extremos (inundaciones) afectan diferencialmente a las personas que habitan una localidad, es necesario considerar las características sociales y económicas de la población, dado que el acceso a servicios elementales como educación, salud y empleo, entre otros, está directamente relacionado con la capacidad que tiene la población para hacer frente a las amenazas.

Se eligieron indicadores socioeconómicos que pueden desagregarse por sexo, para analizar el acceso diferenciado de hombres y mujeres. Los indicadores seleccionados son: a) población en condición de analfabetismo, b) población con ingresos menores a dos salarios mínimos mensuales, c) población que realiza trabajo no remunerado, d) viviendas sin servicio de agua, y e) viviendas sin servicio de drenaje.

Se construyeron tres índices socioeconómicos: uno con las características de los hombres, otro de mujeres y uno más con la brecha de género; es decir, la distancia que existe entre mujeres y hombres con relación al acceso y disfrute de los indicadores seleccionados. En el Cuadro 13.7 se podrán visualizar los valores estandarizados de



los tres índices socioeconómicos, donde se presentan los resultados generales de la construcción del índice de sensibilidad, el cual se compone por los cuatro índices descritos.

Se puede aseverar que sí existen desigualdades de género en el acceso a los servicios analizados. Es notoria la desventaja femenina en tres de las cinco variables seleccionadas. Es mayor el porcentaje de analfabetismo, de ingresos menores a dos salarios mínimos mensuales y de trabajo no remunerado entre las mujeres que entre los hombres. Solo en las variables de acceso a servicios hídricos (agua y drenaje) existe un acceso igual o mejor que el de los hombres.

Analizando el índice socioeconómico a escala municipal, destaca que Cuernavaca es el municipio donde la población (masculina y femenina) tiene las mejores condiciones socioeconómicas. Los municipios que presentan las peores condiciones socioeconómicas entre los hombres son Tlaltzapán de Zapata y Huitzilac, mientras que entre las mujeres son Huitzilac y Xochitepec. En cuanto a la brecha de género, destaca Cuernavaca como el municipio menos desigual, pues su índice es de apenas 0,2320, mientras que los municipios donde existe una mayor desigualdad de género son Puente de Ixtla y Temixco, con valores de 0.7704 y 0.7546, respectivamente.

13.7.1. Construcción del índice de sensibilidad

Una vez obtenidos los valores de los cuatro criterios que componen el índice de sensibilidad: a) respuesta hidrológica, b) población susceptible a inundaciones, c) área municipal con zonas inundables y d) condiciones socioeconómicas, se procedió a generar los valores de este índice mediante la obtención del promedio simple del valor



de los cuatro criterios; es decir, se sumó el valor estandarizado de los cuatro criterios y el resultado se dividió entre cuatro.

El resultado de este ejercicio se muestra en el siguiente cuadro, donde se incluyen las tres versiones del índice socioeconómico (hombres, mujeres y brecha de género), lo cual implicó generar tres versiones del índice de sensibilidad (hombres, mujeres y brecha de género).

Cuadro 13.7. Índice de sensibilidad.

Municipio	Índice de respuesta hidrológica de la cuenca	Índice de población susceptible a inundaciones	Área del municipio con zonas de inundación	Índice socioeconómico			Índice de sensibilidad		
				Hombres	Mujeres	Brecha de género	Hombres	Mujeres	Brecha de género
Cuernavaca	0.3333	0.0011	0.0000	0.1739	0.1002	0.2320	0.1271	0.1087	0.1416
Emiliano Zapata	0.1917	0.0773	0.4764	0.3953	0.4633	0.5992	0.2852	0.3022	0.3362
Huitzilac	Sin dato	0.0000	0.0000	0.6325	0.6804	0.3750	0.1581	0.1701	0.0938
Jiutepec	0.3368	0.0211	0.0740	0.2993	0.3533	0.4666	0.1828	0.1963	0.2246
Jojutla	0.3616	0.8616	0.4820	0.4643	0.4300	0.2918	0.5424	0.5338	0.4993
Puente de Ixtla	0.6368	0.7724	0.2351	0.4899	0.4219	0.7704	0.5336	0.5166	0.6037
Temixco	0.3334	0.0001	0.1303	0.3785	0.4873	0.7546	0.2106	0.2378	0.3046
Tlaltizapán de Zapata	0.6529	0.3402	0.3587	0.6398	0.5735	0.3584	0.4979	0.4813	0.4276
Xochitepec	0.1710	0.0107	0.1349	0.5547	0.6434	0.6556	0.2178	0.2400	0.2430
Zacatepec	1.0000	0.9397	1.0000	0.2668	0.2582	0.3388	0.8016	0.7995	0.8196

Fuente: construcción propia a partir de los indicadores del Inecc y de la Encuesta Intercensal 2015.

El Cuadro 13.7 muestra que de los diez municipios que componen la cuenca del río Apatlaco, Cuernavaca, Jiutepec y Temixco (en ese orden) son los municipios que tienen los menores índices de sensibilidad en las tres versiones generadas. Dichos



municipios están ubicados en la parte media de la cuenca y forman parte de la zona conurbada de la capital morelense, lo cual indica que es un territorio con buena respuesta hidrológica, poca población en zonas de riesgo de inundación y condiciones socioeconómicas adecuadas (tanto hombres como mujeres).

En el otro extremo se encuentran los municipios que tienen los valores más altos en el índice de sensibilidad (en las tres versiones). En primer lugar está Zacatepec, seguido de Jojutla y Puente de Ixtla. Estos municipios están ubicados en la parte baja de la cuenca, tienen amplias zonas inundables, con población susceptible a inundarse, además de contar con características socioeconómicas precarias.

13.8. Índice de resiliencia

Finalmente, el último de los ejes de la fórmula para determinar la vulnerabilidad frente a las inundaciones es la resiliencia. Como se planteó anteriormente, la resiliencia es la capacidad de resistencia de un sistema (población) para resistir, adaptarse y recuperarse de una amenaza (inundaciones). Para medir la resiliencia en los municipios que componen la cuenca del Apatlaco, se retomó la propuesta de Transparencia Mexicana (PNUD México-Inecc, 2017), quien distingue entre la capacidad de respuesta y la capacidad adaptativa. La primera (capacidad de respuesta), se refiere a las habilidades y recursos disponibles para manejar y sobreponerse a condiciones adversas, con objetivos de corto y mediano plazos; la segunda (capacidad adaptativa), se enfoca en estrategias de largo plazo, que abordan la disponibilidad de recursos y tendencias futuras.



A continuación se exponen las variables empleadas en la construcción del índice de resiliencia, las cuales fueron retomadas de la publicación que elaboró Transparencia Mexicana (PNUD México-INECC, 2017).

De la *capacidad adaptativa*, se seleccionaron las siguientes variables:

a) Superficie de área con pago por servicios ambientales. Se trata de estimar la superficie municipal que cuenta con áreas sujetas al esquema de Pagos por Servicios Ambientales, los cuales son instrumentos económicos diseñados para incentivar a los usuarios del suelo para que continúen ofreciendo un servicio ambiental que beneficia a toda la sociedad.

b) Superficie de área del municipio con vegetación natural en Áreas Naturales Protegidas (ANP). Se trata de conocer el tamaño del área municipal que cuenta con vegetación natural en algún ANP. Los servicios que proveen las áreas conservadas ayudan a infiltrar el agua y controlar las inundaciones, lo que disminuye el grado de sensibilidad de las poblaciones asentadas en las partes bajas de la cuenca.

c) Atlas de riesgo municipal y mapa de riesgo por inundación. Esta variable señala la existencia de los atlas en los municipios, herramientas de apoyo en la gestión del riesgo, pues permiten ubicar las zonas susceptibles a inundaciones en el municipio. Además, su análisis territorial permite desarrollar medidas de prevención para la seguridad de la población e infraestructura.

d) Unidades municipales de protección civil. Por medio de este indicador se verifica la existencia de unidades de protección civil en los municipios. Contar con esta unidad permite hacer frente a los efectos adversos de los desastres por fenómenos naturales



y especialmente por inundaciones. Al tener un personal mejor capacitado se podrá dar una mejor respuesta ante emergencias.

De la *capacidad de respuesta* de los municipios de la cuenca del Apatlaco, se seleccionaron las siguientes variables:

- a) Mecanismos de contraloría social. Este indicador evalúa el desempeño del municipio en términos de la disponibilidad de mecanismos de contraloría social para el acompañamiento y monitoreo ciudadano.
- b) Incidencia de la participación en la gestión municipal. Este indicador evalúa el desempeño del municipio en términos de incidencia y participación ciudadana en la gestión municipal.

13.8.1. Construcción del índice de resiliencia

Con la información seleccionada se construyó el índice de resiliencia. El procedimiento estadístico consistió en elaborar un subíndice por cada indicador de la resiliencia. Estos subíndices se elaboraron estandarizando los valores de cada variable y, posteriormente, promediando el conjunto de los valores que los integran. En el caso del subíndice de adaptación, se sumaron los valores estandarizados de sus cuatro variables y el resultado se dividió entre el número de variables; el mismo procedimiento se siguió con el subíndice de capacidad de respuesta, con las dos variables que lo componen. Finalmente, el índice de resiliencia se obtuvo promediando el valor de los dos subíndices que lo componen. A continuación, el Cuadro 13.8 muestra los valores de este índice.

El índice de resiliencia señala que los municipios con mayor capacidad de resiliencia son: Emiliano Zapata, Tlaltizapán de Zapata, Temixco y Huitzilac; esto es un reflejo que dichos municipios cuentan con diversos mecanismos de adaptación y respuesta



Cuadro 13.8. Índice de resiliencia.

Municipio	Subíndice de adaptación	Subíndice de respuesta	Índice de resiliencia
Cuernavaca	0.1967	0.5000	0.3484
Emiliano Zapata	0.7203	1.0000	0.8601
Huitzilac	0.0000	1.0000	0.5000
Jiutepec	0.0976	0.5000	0.2988
Jojutla	0.0376	0.0000	0.0188
Puente de Ixtla	0.2500	0.0000	0.1250
Temixco	0.7500	0.5000	0.6250
Tlaltizapán de Zapata	0.3419	1.0000	0.6709
Xochitepec	0.1250	0.5000	0.3125
Zacatepec	0.2500	0.0000	0.1250

Fuente: construcción propia.

para hacer frente a las inundaciones que se puedan presentar. En sentido contrario, Jojutla, Zacatepec y Puente de Ixtla, son los municipios que tienen menor capacidad de resiliencia; esto se explica en gran medida porque no cuentan con mecanismos de respuesta al cambio climático (no tienen instancias de participación social, ni de contraloría social, en la gestión de riesgos).

13.9. Elaboración del Índice de Vulnerabilidad Frente a Inundaciones

Una vez obtenidos los resultados de los tres ejes temáticos que componen el índice: exposición, sensibilidad y resiliencia, se procedió a construir el IVFI definitivo. El procedimiento estadístico consistió en la aplicación de la siguiente fórmula:

$$\text{IVFI} = \text{índice de exposición} + \text{índice de sensibilidad} - \text{índice de resiliencia}$$



Con los valores del IVFI calculados, el paso siguiente fue su clasificación de acuerdo con su nivel de vulnerabilidad. La asignación del nivel de vulnerabilidad de cada municipio se realizó a partir de cinco rangos, los cuales se muestran en el Cuadro 13.9.

Cuadro 13.9. Procesamiento del Índice de Vulnerabilidad Frente a Inundaciones.

Rangos	Condición de vulnerabilidad	Nivel del IVFI
De 0.801 y más	Muy alta vulnerabilidad	5
De 0.601 a 0.800	Alta vulnerabilidad	4
De 0.401 a 0.600	Media vulnerabilidad	3
De 0.201 a 0.400	Baja vulnerabilidad	2
Del valor más bajo a 0.200	Muy baja vulnerabilidad	1

Fuente: elaboración propia.

Dado que en este ejercicio de análisis se planteó la necesidad de visibilizar la vulnerabilidad diferencial de género, se elaboraron dos versiones del IVFI: uno con datos socioeconómicos de la población en general y otro que muestra la brecha de género existente. Cabe señalar que se generó un IVFI con datos del modelo CNRM, el cual brinda información proyectada a un escenario climático de 2015 a 2039. Sin embargo los resultados, en términos del nivel de vulnerabilidad de los municipios de la cuenca del Apatlaco, resultaron muy similares al IVFI con datos del clima actual, razón por la que se decidió no mostrarlo.

En seguida se presenta el cuadro con los resultados del IVFI relativo a la población en general y el IVFI con la brecha de género. En ellos se puede constatar, por una parte, que el desigual acceso a las variables socioeconómicas empleadas en este índice se traduce en una vulnerabilidad diferencial entre ambos sexos y, por la otra, que el



número de variables desagregadas por sexo es sustancialmente inferior al total de variables empleadas en este ejercicio, motivo por el cual no cambia sustancialmente la conformación de los mapas.

Cuadro 13.10. Cálculo y clasificación del IVFI.

Municipio	IVFI de la población general		IVFI con brecha de género	
	Cálculo del IVFI	Nivel del IVFI	Cálculo del IVFI	Nivel del IVFI
Cuernavaca	0.1636	1	0.1808	1
Emiliano Zapata	-0.3284	1	-0.2852	1
Huitzilac	-0.3375	1	-0.4062	1
Jiutepec	0.1894	1	0.2244	2
Jojutla	1.0219	5	0.9805	5
Puente de Ixtla	1.0733	5	1.1397	5
Temixco	0.1836	1	0.2656	2
Tlaltizapán de Zapata	0.1877	1	0.1247	1
Xochitepec	-0.0092	1	0.0107	1
Zacatepec	1.0241	5	1.0403	5

Fuente: construcción propia.

Finalmente, con objeto de visualizar con facilidad los resultados del IVFI en cada municipio, se procedió a graficar el valor obtenido en un mapa con división municipal de la cuenca mediante el programa de cómputo *ArcMap*. El resultado de este procedimiento fue la obtención de dos mapas que muestran la vulnerabilidad frente a inundaciones de los diez municipios de la cuenca: uno con datos de la cuenca en general y otro con la brecha de género.



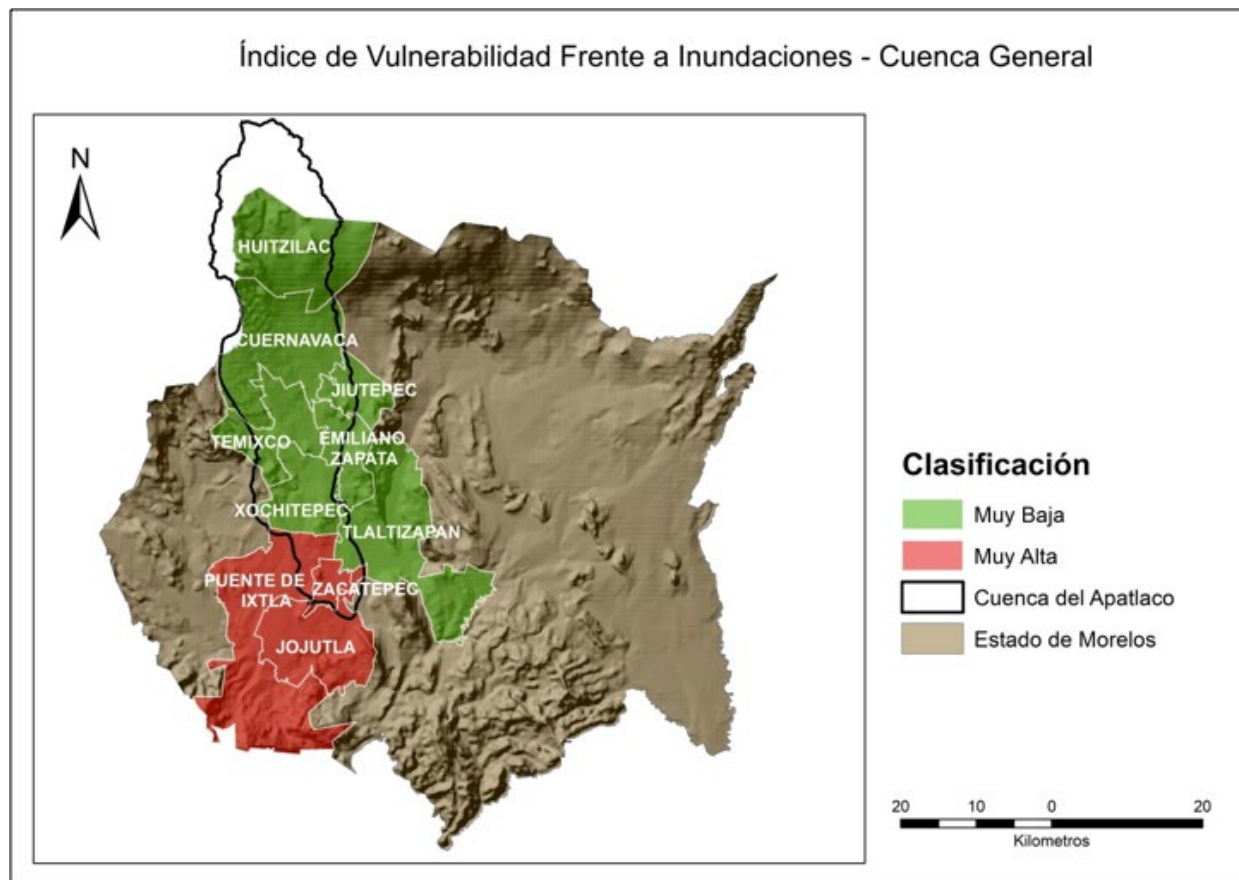


Figura 13.3. Mapa de la cuenca del río Apatlaco con el IVFI de la población en general.



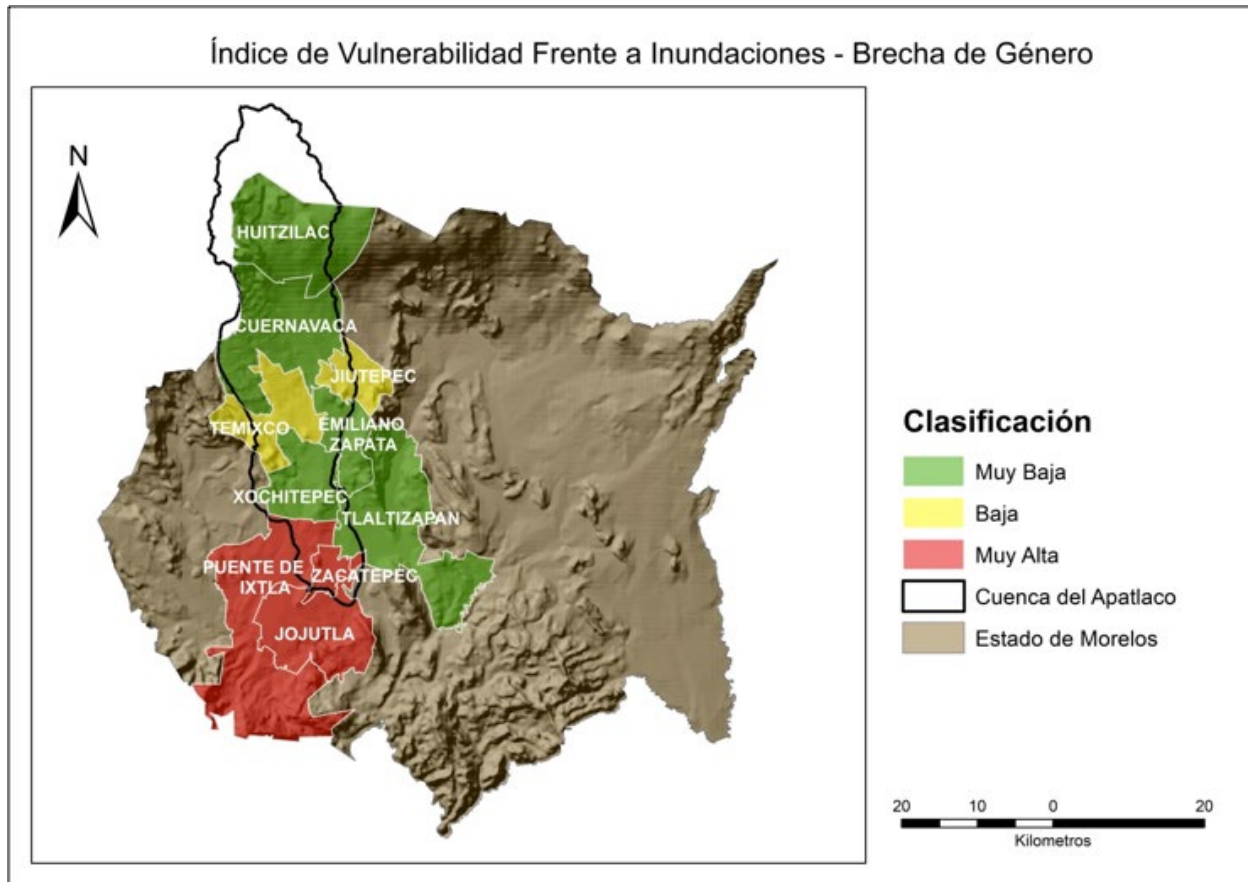


Figura 13.4. Mapa de la cuenca del río Apatlaco con el IVFI de la brecha de género.

Vale la pena resaltar las diferencias encontradas en la construcción de los dos mapas, lo cual evidencia la vulnerabilidad diferenciada en función de la brecha de género. Mientras el mapa que no considera la información desagregada por sexo sólo presenta dos clasificaciones de vulnerabilidad: muy alta (Zacatepec, Puente de Ixtla y una mínima parte de Jojutla), y muy baja (demás municipios), en donde una gran parte de la cuenca presenta muy baja vulnerabilidad; en el mapa que toma en cuenta las brechas



de género se evidencian tres clasificaciones de vulnerabilidad: muy alta (Zacatepec, Puente de Ixtla y una mínima parte de Jojutla), baja (Temixco y Jiutepec) y muy baja (Huitzilac, Cuernavaca, Xochitepec, Tlaltizapan y Emiliano Zapata). El porcentaje de la cuenca con muy baja vulnerabilidad se reduce para dar cabida a baja vulnerabilidad. A pesar de no cambiar drásticamente el nivel de vulnerabilidad en los municipios, al tomar en cuenta las brechas de género, sí se incrementa el área de vulnerabilidad de la cuenca y ello requiere un abordaje distinto desde las políticas públicas, en aras de atender a los municipios en sus respectivas vulnerabilidades.

Se plantea que la brecha de género no se hace demasiado visible en términos de incremento de la vulnerabilidad en los municipios de la cuenca debido a que se cuenta con pocos indicadores relativos al ámbito socioeconómico, a partir del cual se calcula la brecha de género, en comparación con la gran batería de indicadores para las demás variables; es decir, exposición, sensibilidad y resiliencia. De hecho, del total de veinte indicadores utilizados para la construcción de dicho índice, solamente cinco son relativos a la brecha de género, motivo por el que la información se diluye. Para realmente poder aseverar que la brecha de género en los municipios de la cuenca no es determinante a fin de definir rumbos diferentes en las políticas de cambio climático, tendríamos que contar con un número más o menos parejo de indicadores. Para ello, es imprescindible que se genere mayor volumen de información desagregada por sexo.

Desde la perspectiva de la igualdad de género, los municipios de la cuenca del Apatlaco que deben ser contemplados con prioridad en términos de políticas públicas para reducir su vulnerabilidad son los siguientes: Zacatepec, Puente de Ixtla, Jojutla, Temixco y Jiutepec. Para esto, se deberían generar acciones gubernamentales sustantivas en la materia; caso contrario, estaríamos propiciando que, a partir del cambio climático y el incremento de los riesgos de desastres, se profundicen las vulnerabilidades y se



retroalimente el círculo vicioso de desigualdad-desastres-desigualdad. En este sentido, es crucial una verdadera coordinación intersectorial e interinstitucional para que las políticas ambientales, sociales y económicas se alineen con el objetivo común de reducir la vulnerabilidad y, con ello, el riesgo de desastres.

13.10. Conclusiones

En el contexto del cambio climático, con escenarios de incremento en la frecuencia e intensidad de fenómenos extremos hidrometeorológicos, las situaciones de riesgo frente a inundaciones experimentarán una tendencia de incremento significativo. Sin embargo, las inundaciones en la cuenca del río Apatlaco no son resultado exclusivamente de eventos incontrolados de la naturaleza que se verán exacerbados con el cambio climático, sino son fenómenos socioambientales recurrentes de modelos de desarrollo que se basan en decisiones políticas y económicas que no privilegian la sostenibilidad.

Como resultado de la aplicación de la metodología de construcción del IVFI en la cuenca del río Apatlaco, se observó que los municipios Zacatepec, Puente de Ixtla y Jojutla son los que presentan la mayor vulnerabilidad y, al tomar en cuenta las brechas de género, se sumaron a la lista de los municipios vulnerables Temixco y Jiutepec. Calcular la brecha de género en la construcción del IVFI nos permite visibilizar y cuantificar la desigualdad de acceso a las oportunidades del desarrollo entre hombres y mujeres, en aras de generar recomendaciones de política centradas en la reducción de dicha brecha y, como tal, promover la igualdad sustantiva de género.



No obstante, vale reiterar que la escasa cantidad de variables relacionadas con las desigualdades de género no nos permite contar con una evaluación concreta acerca del impacto diferenciado de las inundaciones entre hombres y mujeres. Así, nos aventuramos a aseverar que la brecha de género provoca una mayor vulnerabilidad de las mujeres frente a dicho fenómeno, lo cual no se vio cabalmente reflejado en este ejercicio a causa de la carencia de indicadores. Por ello, el mayor desafío para las políticas públicas de cambio climático es generar información desagregada por sexo, a fin de que se puedan evaluar, a escala micro, las brechas de género y su impacto en la construcción de las distintas expresiones de vulnerabilidad.

Es de extrema relevancia la generación de información desagregada por sexo para una gestión de riesgos de desastres por inundaciones, con la finalidad de que se considere que existen necesidades y demandas distintas entre hombres y mujeres, en virtud de la construcción social diferenciada de la vulnerabilidad, basada en las identidades y relaciones entre los géneros.

Este aspecto es una tarea de extrema urgencia para el diseño de políticas que reduzcan los efectos negativos de las inundaciones en la población en su conjunto. Las iniciativas de política en la materia serán eficaces, equitativas y sustentables en la medida en que sean sensibles al género. Además de generar información, es de vital importancia invertir en la socialización de la información generada para ir creando capacidades en la materia, dado que el incremento de las capacidades permite reducir la vulnerabilidad. Asimismo, el propósito de los procesos de reducción de vulnerabilidades y fortalecimiento de capacidades deben orientarse a superar las desigualdades en la distribución de las responsabilidades, el acceso y control de los recursos y la participación en los procesos de toma de decisión, con el fin último de promover relaciones más equitativas entre hombres y mujeres.



Debemos fijarnos la meta de aumentar un compromiso político para combatir la raíz de los desastres y, para tal, las políticas y programas deben enfocarse hacia la reducción de las vulnerabilidades. Las causas que originan los desastres son políticas, económicas, sociales y ambientales. Están relacionadas con los valores, creencias y principios básicos sobre los cuales están fundamentadas sociedades y culturas, y que influyen en nuestras relaciones personales y nuestro ambiente natural. Las soluciones a largo plazo se basan en la capacidad de construir sociedades más justas, equitativas, con sentido de solidaridad y activando la participación y la corresponsabilidad social.

13.1 1. Bibliografía

- Adger W. N. (2006). Vulnerability: global environmental change. *Special Issue on Vulnerability, Resilience and Adaptation*. University of London, 16(3) 268-281.
- Bertoux L., y González Romero D. (2015). Vulnerabilidad y resiliencia urbana frente al cambio climático: el caso de la zona metropolitana de Guadalajara, México. *Urbano*, 18 (31), pp. 24-31.
- Blaikie P., Cannon T., David I. y Wisner B. (1998). *Vulnerabilidad: el entorno social, político y económico de los desastres*, Bogotá: La RED, ITDG.
- Cardona O. D. (2012). Un marco conceptual común para la gestión del riesgo y la adaptación al cambio climático: encuentros y desencuentros de una iniciativa insoslayable. En Briones, F. (Coord.). *Perspectivas de investigación y acción frente al cambio climático en Latinoamérica*. Número especial de *Desastres y Sociedad*. La Red de Estudios Sociales en Prevención de Desastres en América Latina (LA RED), Centro de Investigación en Gestión Integral de Riesgos, Mérida, Venezuela.
- Cardona O. D. (1991). *Evaluación de la amenaza, la vulnerabilidad y el riesgo*, Taller Regional de Capacitación para la Administración de Desastres ONAD/PNUD/OPS/UNDRO, Bogotá.
- Cavazos T. (Ed.) (2015). *Conviviendo con la naturaleza: el problema de los desastres asociados a fenómenos hidrometeorológicos y climáticos en México*. Ediciones ILCSA. Visto en: http://usuario.cicese.mx/~tcavazos/pdf/T_Cavazos_Libro_REDESClim_2015.pdf.



- Cervantes, C., Alcocer, V., Arrequín, F., Saavedra, R. y Rubio, H. (2012). Generación de mapas de riesgo de inundación. XXII Congreso Nacional de Hidráulica, noviembre. Acapulco, Gro., México.
- Constantino T., R. M., y Dávila I., H. R. (2011). Una aproximación a la vulnerabilidad y la resiliencia ante eventos hidrometeorológicos extremos en México. *Política y Cultura*, (36), pp.15-44.
- Hernández, R. E., Barrios, H. y Ramírez A. I. (2016). Análisis de riesgo por inundación: metodología y aplicación a la cuenca Atemajac. *Tecnología y Ciencias del Agua*, VIII(3), pp. 5-25.
- Inegi (2015). *Censo Nacional de Gobiernos Municipales y Delegacionales 2015*. <http://www.beta.inegi.org.mx/proyectos/censosgobierno/municipal/cngmd/2015/>
- Inegi (2015). *Encuesta Intercensal 2015*. <http://www.beta.inegi.org.mx/proyectos/enchogares/especiales/intercensal/>
- Lampis, A. (2013). Vulnerabilidade e adaptação às mudanças climáticas: debates sobre o conceito de vulnerabilidade e sua medição. *Cuadernos de Geografía*, Colombiana de Geografía, 22(2), pp. 17-33.
- Lavell, A. (1996). *Degradación ambiental, riesgo y desastre urbano: problemas y conceptos*. En: Fernández, M. A. (Comp.), *Ciudades en riesgo: degradación ambiental, riesgos urbanos y desastres*, LA RED, USAID, Lima, pp. 21-60.
- Lavell, A. (2005). *Desastres y desarrollo. Hacia un entendimiento de las formas de construcción social de un desastre: el caso del huracán Mitch en Centroamérica*. En: Fernández, A. (Comp.). *Comarcas vulnerables: riesgos y desastres en Centroamérica y el Caribe*, Buenos Aires: Editorial CRIES, pp. 11-44.
- Lavell, A. (2000). *Desastres y desarrollo. Hacia un entendimiento de las formas de construcción social de un desastre. El caso del huracán Mitch en Centroamérica*. En Garita, N. y Nowalski, J. (Comp.). *Del desastre al desarrollo humano sostenible en Centroamérica*, Costa Rica: CIDH/BID, pp. 7-45.
- Lavell, A. (1993). *Ciencias sociales y desastres en América Latina: estrategias de intervención*. En: Maskrey, A. (Comp.). *Los desastres no son naturales*. Bogotá: LA RED, Tercer Mundo Editores, pp. 31-58.
- PNUD México-Inecc (2017). *Medición multidimensional de capacidad institucional a nivel municipal que fomente la adaptación al cambio climático*. Proyecto 86487 Plataforma

- de Colaboración sobre Cambio Climático y Crecimiento Verde entre Canadá y México. Transparencia Mexicana, A. C. México.
- Secretaría de Gestión de Riesgos (2014). *Marco de referencia conceptual sobre vulnerabilidad territorial*. Secretaría de Gestión de Riesgos, Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo, Oficina de Ayuda Humanitaria y Protección Civil de la Comisión Europea.
- Soares, D., Romero, R. y López, R. (2010). Índice de vulnerabilidad social. En Martínez, P. et al. (Coords.), *Atlas de vulnerabilidad hídrica en México ante el cambio climático*. Jiutepec, Morelos: IMTA.
- Soares, D., Romero, R. y López, R. (2015). Índice de vulnerabilidad social. En Arreguín, F. et al. (Coords.), *Atlas de vulnerabilidad hídrica en México ante el cambio climático. Efectos del cambio climático en el recurso hídrico de México*. Jiutepec, Morelos: IMTA.
- Uribe, A., Shigeo, S., Cuervo, J., Franklin, H. y Girot, P. (1999). *Reducción de la vulnerabilidad ante amenazas naturales: lecciones aprendidas del huracán Mitch*. Documento estratégico sobre gestión ambiental. Stockholm: Banco Interamericano de Desarrollo. Recuperado de:
http://www.iadb.org/regions/re2/consultative_group/groups/ecology_workshop_1esp.htm (consulta: 11/10/2011).
- Voldoire, A. et al. (2013). The CNRM-CM5.1 global climate model: description and basic evaluation. *Climate Dynamics*, 40(9-10), pp. 2091-2121. Consulta: 27/09/2018. <https://doi.org/10.1007/s00382-011-1259-y>.
- Wilches-Chaux, G. (2000). *En el borde del caos*, Santa Fe de Bogotá: Centro Editorial Javieriano.
- Wilches-Chaux G. (1993). La vulnerabilidad global. En Maskrey, A. (ed.). *Los desastres no son naturales*. Colombia: La Red. Tercer Mundo Editores.





SEMBLANZA CURRICULAR DE AUTORES Y AUTORAS

Aguilar Garduño, Ernesto

Grado académico: Maestro en Ingeniería Hidráulica por la Universidad Nacional Autónoma de México.

Líneas de investigación: Hidrología de superficie, manejo y seguridad de presas, aplicación de sistemas de información geográfica en temas relacionados con los recursos hidráulicos, balance y disponibilidad de agua superficial, planeación hídrica.

Correo electrónico: eaguilar@tlaloc.imta.mx

Arreguín Cortés, Felipe Ignacio

Grado académico: Doctor en hidráulica por la Universidad Nacional Autónoma de México.

Líneas de investigación: Presas de almacenamiento y derivación, obras hidráulicas, uso eficiente del agua, impacto del cambio climático en los recursos hídricos, resiliencia urbana ante fenómenos extremos, impacto de la cuarta revolución industrial en los recursos hídricos.

Correo electrónico: felipe_arreguin@tlaloc.imta.mx

Astudillo Enríquez, Citlalli

Grado académico: Maestra en Tecnologías de la Información por la Universidad Politécnica del Estado de Morelos.

Líneas de investigación: Planeación y gestión de los recursos hídricos, sistematización de procesos de análisis y cálculo, manejo de sistemas de información geográfico (SIG), transferencia de tecnología a través de talleres y cursos.

Correo electrónico: castudillo@tlaloc.imta.mx

Bahena Ayala, Rabindranath

Grado académico: Maestro en Ingeniería Civil (Hidráulica) por la Universidad Nacional Autónoma de México.

Líneas de investigación: Inundaciones y procesos hidrológicos en zonas urbanas, resiliencia urbana ante fenómenos extremos, modelación hidráulica bidimensional, cambio climático, reducción del riesgo de desastre.

Correo electrónico: dranath@posgrado.imta.edu.mx

Bravo Jácome, José Avidan

Grado académico: Maestro en Ingeniería Hidráulica por la Universidad Nacional Autónoma de México.

Líneas de investigación: Hidrología de superficie, sistemas de información geográfica, gestión integrada del agua, sistematización de procesos relacionados con los recursos hídricos, seguridad de presas, reducción del riesgo por inundación, cambio climático en la gestión de inundaciones y disponibilidad de agua.

Correo electrónico: jose_bravo@tlaloc.imta.mx



Cervantes Jaimes, Claudia Elizabeth

Grado académico: Maestra en Ingeniería Civil (Hidráulica) por la Universidad Nacional Autónoma de México.

Líneas de investigación: Hidrometeorología, hidrometría, presas de almacenamiento, resiliencia urbana ante fenómenos extremos, impacto de la cuarta revolución industrial en los recursos hídricos.

Correo electrónico: elizabeth_cervantes@tlaloc.imta.mx

García Maldonado, Edgar

Grado académico: Maestro en Geografía por la Universidad Nacional Autónoma de México.

Líneas de investigación: Historia e ideología del cambio climático; políticas de seguridad nacional y seguridad humana ante el calentamiento del planeta y adaptación al cambio climático.

Correo electrónico: boristenes@gmail.com

Gómez Balandra, María Antonieta

Grado académico: Doctora en Recursos Bióticos por la Universidad Autónoma de Querétaro.

Líneas de investigación: Evaluaciones de impacto ambiental y caudal ecológico.

Correo electrónico: magomez@tlaloc.imta.mx

González Gurría, Nora Patricia

Grado académico: Pasante de Licenciatura en Informática.

Líneas de investigación: Sistemas de Información Geográficos.

Correo electrónico: norapgg@hotmail.com



González Terrazas, Daniel Iura

Grado académico: Maestro en Geografía por el Centro de Investigaciones en Geografía Ambiental de la Universidad Nacional Autónoma de México y Maestro en Ciencias con la especialización en Manejo de Recursos Naturales por el Instituto Internacional de Observación Terrestre y Geo Información (ITC) de la Universidad de Twente, Países Bajos.

Líneas de investigación: Evaluación de la vulnerabilidad al cambio climático, análisis de oferta y demanda de servicios ambientales para los procesos de adaptación al cambio climático en el marco de las cuencas hidrográficas, incorporación del enfoque de cuenca y de cambio climático en los instrumentos de planeación territorial.

Correo electrónico: daniel.iura@inecc.gob.mx

Hernández Arce, Cipriana

Grado académico: Doctora en Ciencias Sociales por la Facultad de Estudios Superiores de Cuautla, Universidad Autónoma del Estado de Morelos.

Líneas de investigación: Gestión integrada del agua, planeación, gobernanza y gestión local del agua.

Correo electrónico: cipriana_hernandez@tlaloc.imta.mx

Hernández Cruz, Norma

Grado académico: Maestra en Ingeniería por la Universidad Nacional Autónoma de México.

Líneas de investigación: Sistemas de Información Geográfica, gestión integral del agua, estimación de emisiones de gases de efecto invernadero.

Correo electrónico: norma_hernandez@tlaloc.imta.mx



Hernández López, Rubén Darío

Grado académico: Maestro en Ingeniería Hidráulica por la Universidad Nacional Autónoma de México.

Líneas de investigación: Sistemas de Información Geográfica, modelación hidrológica y de calidad del agua.

Correo electrónico: ruben.dario.hl@gmail.com

Mantilla Morales, Gabriela

Grado académico: Doctora en Ciencias y Técnicas del Medio Ambiente por la École Nationale des Ponts et Chaussées, Paris, Francia.

Líneas de investigación: Tratamiento y aprovechamiento de aguas y lodos residuales; normatividad, emisiones de gases de efecto invernadero, cambio climático.

Correo electrónico: mantilla@tlaloc.imta.mx

Meade Ocaranza, Lydia

Grado académico: Maestra en Ciencias del Agua por el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. Maestra en Ciencias en Desarrollo Rural por la Universidad Autónoma del Estado de Morelos.

Líneas de investigación: Ciencias sociales, gobernanza, conflictos del agua, desarrollo rural, gestión integrada del recurso hídrico.

Correo electrónico: lydiameade19@gmail.com



Montero Martínez, Martín José

Grado académico: Doctor en Ciencias Atmosféricas por la University of Arizona.

Líneas de investigación: Detección de cambio climático, reducción de escala y modelación climática.

Correo electrónico: martin_montero@tlaloc.imta.mx

Nava Assad, Yusif Salib

Grado académico: Licenciado en Ciencias Atmosféricas por la Universidad Veracruzana.

Líneas de investigación: Vulnerabilidad y adaptación al cambio climático, climatología y meteorología.

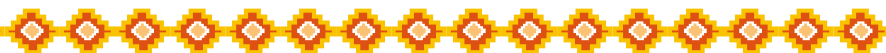
Correo electrónico: yusif.nava@inecc.gob.mx

Peña García, Alejandra

Grado académico: Doctora en Geografía por la Universidad Nacional Autónoma de México.

Líneas de investigación: Gestión y gobernanza del agua vulnerabilidad a eventos hidrometeorológicos extremos (sequías e inundaciones).

Correo electrónico: alejandra_pg@tlaloc.imta.mx



Pita Díaz, Óscar

Grado académico: Maestría en Ciencias y Tecnología del Agua del IMTA.

Líneas de investigación: Geomorfología fluvial en ríos de alta montaña, detección de cambio climático, modelación climática y manejo de Sistemas de Información Geográfica.

Correo electrónico: opitadiaz_19@hotmail.com

Rodríguez Torres, Sergio

Grado académico: Maestro en Ingeniería Ambiental por la Universidad Nacional Autónoma de México.

Líneas de investigación: Sistemas de Información Geográfica y metodologías de caudal ecológico.

Correo electrónico: sert.gm@gmail.com

Romero Pérez, Roberto

Grado académico: Maestro en Sociología Política por el Instituto de Investigaciones Dr. José María Luis Mora

Líneas de investigación: Adopción social de tecnologías hídras, sistema de representación de intereses en asociaciones de riego, vulnerabilidad social frente al cambio climático, participación social y gestión del agua.

Correo electrónico: rromero@tlaloc.imta.mx



Saldaña Fabela, María del Pilar

Grado académico: Doctora en Recursos Bióticos por la Universidad Autónoma de Querétaro.

Líneas de investigación: Calidad del agua, estudios de clasificación y limnológicos, modelación y estudios ecohidrológicos.

Correo electrónico: psaldana@tlaloc.imta.mx

Soares, Denise

Grado académico: Doctora en Antropología por la Universidad Nacional Autónoma de México.

Líneas de Investigación: Gestión social del agua, género, percepción de riesgos y vulnerabilidad social.

Correo electrónico: denisefsoares@yahoo.com.mx

Suárez Medina, María de los Ángeles

Grado académico: Maestra en Ingeniería Hidráulica por la Universidad Nacional Autónoma de México

Líneas de investigación: Estudios hidrológicos en cuencas, estimación de eventos para el diseño de obras hidráulicas, regionalización de gastos máximos, tránsito de avenidas en cauces y en vasos, gestión de proyectos en el sector hídrico, disponibilidad de agua superficial y balance hídrico.

Correo electrónico: msuarez@tlaloc.imta.mx



Vargas Velázquez, Sergio

Grado académico: Doctor en Antropología Social por la Universidad Iberoamericana, sede Santa Fe, México.

Líneas de investigación: Organización social por el agua en sistemas de riego o agua potable, participación social y gestión del agua por cuenca y acuífero, conflictos sociales por el agua.

Correo electrónico: sergio.vargasvme@uaem.edu.mx

Vega Nevárez, Ramiro

Grado académico: Maestro en Agrometeorología por el Colegio de Postgraduados.

Líneas de investigación: Diseño y ejecución de estudios y proyectos hidroagrícolas, operación y mantenimiento de la infraestructura para riego, efectos de factores climáticos en la agricultura y la forestería, agrometeorología aplicada al riego, evaluación de la vocación de la tierra y la frontera agrícola, manejo de cultivos y al control integral de maleza y problemas fitosanitarios.

Correo electrónico: ramiro@tlaloc.imta.mx

Vermonden Thibodeau, Anaís

Grado académico: Maestra en Ciencias por el Posgrado en Ciencias de la Tierra de la Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad de México, México.

Líneas de investigación: Vulnerabilidad al cambio climático, lógica difusa, cambio climático.

Correo electrónico: anais.vermonden@inecc.gob.mx



ÍNDICE DE FIGURAS



Figura 1.1.	Instrumentos de política de cambio climático.	45
Figura 2.1.	Cuenca del río Apatlaco.Fuente: Inegi, 2010	58
Figura 2.2.	Cuenca del río Apatlaco.Fuente: Inegi, 2010.	59
Figura 2.3.	Municipios.Fuente: Inegi, 2010.	61
Figura 2.4.	Periodo de operación de las estaciones.Fuente: elaboración propia con datos del Clicom, 2016.	77
Figura 2.5.	Periodo de operación de las estaciones. Fuente: elaboración propia con datos del Clicom, 2016	78
Figura 2.6.	Estaciones climatológicas: precipitación en la cuenca del río Apatlaco. Fuente: Conagua. BD Clicom, 2016.	79
Figura 2.7.	Precipitación mensual en la cuenca del río Apatlaco: estaciones Huitzilac y Jojutla. Fuente: Conagua, BD Clicom, 2016.	81
Figura 2.8.	Temperatura máxima anual en la cuenca del río Apatlaco: estación Huitzilac. Fuente: Conagua, BD Clicom, 2016.	82
Figura 2.9.	Temperatura máxima anual en la cuenca del río Apatlaco: estación Cuernavaca. Fuente: Conagua, BD Clicom, 2016.	82
Figura 2.10.	Temperatura máxima anual en la cuenca del río Apatlaco: estación Jojutla. Fuente: Conagua, BD Clicom, 2016.	83
Figura 2.11.	Temperatura máxima anual en la cuenca del río Apatlaco: estación Huitzilac. Fuente: Conagua, BD Clicom, 2016.	84
Figura 2.12.	Cauce permanente del río Apatlaco.Fuente: Conagua, 2008	85
Figura 2.13.	Estaciones hidrométricas.Fuente: Conagua, 2013.	87
Figura 2.14.	Volumen de escurrimiento medio anual.Fuente: Conagua, 2013.	88
Figura 2.15.	Presas.	89
Figura 2.16.	Tipos de suelo.Fuente: Inegi, Serie II, 2013.	91
Figura 2.17.	Uso de suelo. Fuente: Inegi, Serie II, 2013.	94
Figura 2.18.	Registros de uso de agua superficial. Fuente: Conagua, 2017.	95
Figura 2.19.	Registros de uso de agua subterránea.Fuente: Conagua, 2017.	98
Figura 2.20.	Unidades geológicas administrativas.Fuente: Diario Oficial de la Federación, 2018.	100
Figura 2.21.	Datos del acuífero de Cuernavaca.Fuente: Diario Oficial de la Federación, 2003-2018.	101



Figura 2.22.	Datos del acuífero de Zacatepec.Fuente: Diario Oficial de la Federación, 2003-2018.	101
Figura 3.1.	Localización y orografía de la cuenca del río Apatlaco (izq.) y ubicación de las 44 estaciones climáticas (der.) analizadas en este estudio; 14 de ellas caen dentro del límite de la cuenca.	115
Figura 3.2.	Disponibilidad de datos diarios (azul) de precipitación (arriba), temperatura máxima (abajo izq.) y temperatura mínima (abajo der.) para las 44 estaciones climáticas, dentro de los 20 km de los límites de la cuenca del río Apatlaco, de 1949-2013. El identificador de cada estación se encuentra en el eje de las ordenadas.	119
Figura 3.3.	Serie temporal del número de estaciones que reportan precipitación (PREC), temperatura máxima (TMÁX), temperatura mínima (TMÍN) y precipitación de las estaciones controladas por Gasir4 (GasirPrec), a lo largo de la historia para México. (Fuente: M. C. Laura Jiménez Lagunes, de CatRisk México, 2018).	120
Figura 3.4.	Distribución geográfica de la media anual de: a) precipitación (mm); b) temperatura máxima (°C) y c) temperatura mínima (°C) para la cuenca del río Apatlaco, de acuerdo con los datos obtenidos de la malla homogeneizada para el periodo 1948-2013. También, se muestran los límites de las cuatro regiones de estudio en la cuenca.	122
Figura 3.5.	Climogramas de precipitación, temperatura máxima y temperatura mínima para la cuenca del río Apatlaco.	124
Figura 3.6.	Climogramas de precipitación, temperatura máxima y temperatura mínima para la zona alta (arriba), media oeste (central izquierda), media este (central derecha) y baja (abajo) de la cuenca del río Apatlaco.	127
Figura 3.7.	Serie de tiempo y anomalía estandarizada del índice días de verano, SU30, para la cuenca	128
Figura 3.8.	Lo mismo que en la Figura 3.7, pero para TXX (°C).	130
Figura 3.9.	Lo mismo que en la Figura 3.7, pero para TNN (°C).	131
Figura 3.10.	Lo mismo que en la Figura 3.6, pero para PRCPTOT (mm).	132
Figura 3.11.	Lo mismo que en la Figura 3.6 pero para R20mm (días).	134
Figura 3.12.	Diagrama Hovmöller del índice TXX anual con la elevación de las estaciones vs. tiempo, en la cuenca del río Apatlaco.	137
Figura 3.13.	Lo mismo que en la Figura 11, pero para TNN.	138
Figura 3.14.	Lo mismo que en la Figura 11, pero para PRCPTOT.	138
Figura 3.15.	Lo mismo que en la Figura 11 pero para R20mm.	139
Figura 4.1.	Objetivos ambientales de cuencas de México (wwf, Fundación Río Arronte y Conagua, 2012a)	152



Figura 4.2.	Reservas de agua para el medio ambiente Sistema de Información Geográfica del Agua, Conagua.	155
Figura 4.3.	Apéndices técnicos de la Norma de Caudal Ecológico NMX-AA-159-SCFI-2012.	159
Figura 4.4.	Microcuencas y estaciones hidrométricas del río Apatlaco.	161
Figura 4.5.	Estaciones climatológicas.	163
Figura 4.6.	Variabilidad intra-anual diaria de las microcuencas Chalchihuapan y Tres Marías.	165
Figura 4.7.	Variabilidad intranual cuenca media y baja del Apatlaco.	166
Figura 4.8.	Alteraciones hidrológicas en las estaciones hidrométricas de Temixco y Zacatepec.	168
Figura 4.9.	Propuesta de caudal ecológico del apéndice normativo "C" (Tennant Modificado).	171
Figura 4.10.	Tendencias de temperatura máxima y caudal mínimo de noventa días.	177
Figura 4.11.	Tendencias de precipitación y caudal máximo de noventa días.	178
Figura 5.1.	río Apatlaco	190
Figura 5.2.	Cuenca del río Apatlaco.	192
Figura 5.3.	Orografía de la cuenca. Elevación en metros sobre el nivel del mar (msnm).	193
Figura 5.4.	Afectaciones.	195
Figura 5.5.	Zonas de inundación identificadas	196
Figura 5.6.	Áreas de drenaje natural con aportación de caudal a la zona de estudio.	201
Figura 5.7.	Avenida registrada y lluvia del 09/07/1976.	203
Figura 5.8.	Avenida registrada y lluvia del 29/06/1982.	203
Figura 5.9.	Avenida registrada y lluvia del 17/08/1988.	204
Figura 5.10.	Avenida registrada y lluvia del 21/09/1996.	204
Figura 5.11.	Avenida registrada y lluvia del 26/08/2001.	205
Figura 5.12.	Imágenes satelitales de la cuenca del río Apatlaco, 1984 y 2016. Fuente: Google Earth.	207
Figura 5.13.	Curvas masa adimensionales de tormentas en la EMA IMTAMR.	209
Figura 5.14.	Lluvias máximas en 10 min por año de registro.	209
Figura 6.1.	Localización de la cuenca del río Apatlaco y ubicación de las estaciones seleccionadas (elaboración propia, con información de Montero y Pita, 2018).	217
Figura 6.2.	Distribución de la precipitación promedio diaria durante el año, en cuatro estaciones de la cuenca del río Apatlaco de 1951 a 2010. Fuente: elaboración propia.	219
Figura 6.3.	Comparación de los promedios de la temperatura media de los periodos 1951-2010 y 2011-2013, en la cuenca del río Apatlaco.	226
Figura 6.4.	Comparación de la precipitación promedio diaria entre los periodos 1951-2010 y 2011-2013, en la cuenca del río Apatlaco. Fuente: elaboración propia.	227
Figura 6.5.	Comparación de los promedios anuales de la precipitación acumulada de los periodos 1951-2010 y 2011-2013, en la cuenca del río Apatlaco. Fuente: elaboración propia.	228



Figura 6.6.	Comparación del inicio, fin y duración promedio de la CA en la cuenca del río Apatlaco, para los periodos 1951-2010 y 2011-2013.	238
Figura 7.1.	Cuenca del río Apatlaco, Morelos. Área de cuenca y orden del río (izq.). Ubicación de las estaciones de monitoreo de la Red Nacional, estaciones climatológicas, microcuencas y población (der.)	251
Figura 7.2.	Concentraciones máximas, mínimas y promedio de temperatura ambiente y del agua en la cuenca del río Apatlaco, Morelos.	254
Figura 7.3.	Temperatura ambiente y temperatura del agua, promedio de seis años (2012-2017), en cada estación de calidad del agua de la RNM en el río Apatlaco.	255
Figura 7.4.	Comportamiento de la temperatura ambiente y del agua por estación de monitoreo.	257
Figura 7.5.	Concentraciones máximas, mínimas y promedio de: a) oxígeno disuelto, b) demanda bioquímica de oxígeno, c) demanda química de oxígeno y d) sólidos suspendidos totales en el río Apatlaco, Morelos.	259
Figura 7.6.	Variaciones de oxígeno disuelto y demanda bioquímica de oxígeno en las estaciones de monitoreo de la Red Nacional.	261
Figura 7.7.	Variaciones de demanda química de oxígeno y sólidos suspendidos totales en las estaciones de monitoreo de la Red Nacional.	263
Figura 7.8.	Dendograma de similitud entre las estaciones de monitoreo de la Red Nacional.	264
Figura 8.1.	Descargas domésticas a cuerpo receptor en la cuenca del río Apatlaco.	278
Figura 8.2.	Ubicación de los puntos descarga de los permisos del Repda que descargan a un afluente del río Apatlaco	283
Figura 8.3.	Ubicación de los puntos descarga de las PTAR en la cuenca del río Apatlaco	284
Figura 8.4.	Planta de tratamiento de aguas residuales municipales en la cuenca del río Apatlaco	286
Figura 8.5.	Descarga de agua residual tratada en la cuenca del río Apatlaco	292
Figura 9.1.	Módulo Alto Apatlaco y zonas que lo conforman.Fuente: elaboración propia.	319
Figura 9.2.	Módulo Las Fuentes y zonas que lo conforman.Fuente: elaboración propia.	322
Figura 9.3.	Zona periurbana de Cuernavaca.Fuente: elaboración propia.	324
Figura 9.4.	Foto de la calle 10 de abril.Fuente: elaboración propia.	325
Figura 9.5.	Asociaciones comerciales en Las Fuentes.Fuente: elaboración propia.	337
Figura 10.1.	Avenida registrada y lluvia del 21/09/1996.Fuente: Ceama Morelos (2007). Avances de la Comisión de Cuenca del río Apatlaco. XXXI Sesión del Grupo de Seguimiento y Evaluación. Taxco, Gro., 24 de agosto de 2007.	356
Figura 10.2.	Sistema Nacional de Cambio Climático.Fuente: Estrategia Nacional de Cambio Climático. DOF, 2013.	367
Figura 12.1.	Medidas resilientes estructurales (MRE) y medidas resilientes no estructurales (MRNE). Fuente: elaboración propia.	439



Figura 12.2.	Infraestructura multipropósito: túnel SMART. Fuente: Discovery Channel.	440
Figura 12.3.	Reforestación de manglares en el Caribe. Fuente: Autoridad de los Recursos Acuáticos de Panamá.	441
Figura 12.4.	Concepto de resiliencia en el de sostenibilidad. La tendencia es que las medidas resilientes estén dentro de la sostenibilidad. Fuente: elaboración propia, adaptada de Arreguín (2016).	442
Figura 12.5.	Parque Hídrico La Quebradora, Iztapalapa. Fuente: (Fundación UNAM, 2017).	443
Figura 12.6.	Puente Coyuca, estado de Guerrero: a) Colapso del puente, b) Puente provisional construido 15 días después del colapso, c) Nuevo puente Coyuca construido un año y dos meses después. Fuente: www.eluniversal.com.mx	444
Figura 12.7.	a) Dique Maeslant, con sus puertas cerradas, b) Estructura del dique Maeslant. Fuente: holland.com	444
Figura 12.8.	Casas diseñadas para resistir vientos de huracán categoría 5 e inundaciones por marejadas ciclónicas. Barrio Nueve, Nueva Orleans. Fuente: elmundo.es	445
Figura 12.9.	a) La línea roja muestra el albarradón de Nezahualcóyotl, b) Representación de la construcción del dique prehispánico. Fuente: izt.uam.mx	446
Figura 12.10.	Ubicación de la ciudad de Cuernavaca dentro de la cuenca del río Apatlaco (RH18Fd). Fuente: elaboración propia con datos del Inegi.	448
Figura 12.11.	Corrientes perennes de Cuernavaca. Fuente: elaboración propia con datos obtenidos del Inegi.	450
Figura 12.12.	Principales barrancas de Cuernavaca. Fuente: elaboración propia con datos obtenidos del Inegi.	452
Figura 12.13.	Principales vías de comunicación en la ciudad de Cuernavaca. Fuente: elaboración propia con datos obtenidos del Inegi.	453
Figura 12.14.	Mapa de resiliencia urbana de Cuernavaca. Fuente: elaboración propia, con datos obtenidos del sistema computacional del Índice de Resiliencia en Ciudades.	467
Figura 13.1.	Principales vías de comunicación en la ciudad de Cuernavaca. Fuente: elaboración propia con datos obtenidos del Inegi.	489
Figura 13.2.	Mapa de la cuenca. Construcción propia.	490
Figura 13.3.	Mapa de la cuenca del río Apatlaco con el IVFI de la población en general.	508
Figura 13.4.	Mapa de la cuenca del río Apatlaco con el IVFI de la brecha de género.	509



ÍNDICE DE TABLAS

Cuadro 1.1.	Característica de cada tipo de adaptación, de acuerdo con Basset y Fogelman (2013).	38
Cuadro 2.1.	Población total, 2015.	64
Cuadro 2.2.	Criterios para estimar el porcentaje de participación poblacional en cada cuenca.	65
Cuadro 2.3.	Población total, 2015.	66
Cuadro 2.4.	PEA, población ocupada y su distribución porcentual, según división ocupacional, 2015.3	69
Cuadro 2.5.	Distribución porcentual de educación y salud en la cuenca del Apatlaco, 2015.4	71
Cuadro 2.6.	Acceso a servicios en viviendas particulares habitadas, 2015.5	73
Cuadro 2.7.	Índice y grado de marginación por municipio, 2015.6	75
Cuadro 2.8.	Porosidad de estaciones climatológicas en operación.	80
Cuadro 2.9.	Estaciones hidrométricas.	86
Cuadro 2.10.	Presas.	90
Cuadro 2.11.	Tipos de suelo.	92
Cuadro 2.12.	Usos de suelo.	93
Cuadro 2.13.	Usos de agua superficial en hm ³ .	96
Cuadro 2.14.	Usos de agua subterránea en hm ³ .	97
Cuadro 2.15.	Acuíferos.	99
Cuadro 4.1.	Distribución de las microcuencas.	159
Cuadro 4.2.	Volumen acumulado por microcuenca.	163
Cuadro 4.3.	Valores de referencia, de acuerdo con la NMX-AA-159-SCFI-2012.	168
Cuadro 4.4.	Porcentajes de CMA, Qmi y propuesta de caudal ecológico para Temixco y Zacatepec.	169
Cuadro 4.5.	Frecuencias de ocurrencia de tipos de años por OA.	171
Cuadro 4.6.	Caudal ordinario estacional en hm ³ , en las estaciones Temixco y Zacatepec.	172
Cuadro 4.7.	Frecuencia de ocurrencia de distintas avenidas.	173
Cuadro 4.8.	Volumen total del régimen de avenidas en hm ³ , en las estaciones Temixco y Zacatepec.	173
Cuadro 4.9.	Volumen final de reserva ambiental.	174
Cuadro 4.10.	Parámetros hidrológicos (m ³ /s) E. H. Temixco.	178
Cuadro 4.11.	Parámetros hidrológicos (m ³ /s) E. H. Zacatepec.	179
Cuadro 4.12.	Percentiles de caudales extremos bajos, pequeñas y grandes inundaciones (m ³ /s), E. H. Temixco.	180
Cuadro 4.13.	Percentiles de caudales extremos bajos, pequeñas y grandes inundaciones (m ³ /s), E. H. Zacatepec.	180
Cuadro 5.1.	Eventos de inundaciones en el área de estudio.	194
Cuadro 5.2.	Eventos de inundaciones en el área de estudio.	197
Cuadro 5.3.	Declaratoria de desastres.	198
Cuadro 5.4.	Características generales de las subcuencas.	200
Cuadro 5.5.	Tormentas analizadas en la estación automática IMTAMR.	208

Cuadro 6.1.	Resultados de consulta del SIAP en avance de siembras y cosechas para el año agrícola 2018, de los cultivos de temporal en el estado de Morelos, al 31 de agosto de 2018.	216
Cuadro 6.2.	Estaciones seleccionadas para determinar el PH y la CA en maíz, en la cuenca del río Apatlaco.	223
Cuadro 6.3.	Valores de los índices e indicadores agroclimáticos determinados para definir el inicio, fin y duración del PH y la CA, en el cultivo de maíz en cuatro estaciones de la cuenca del río Apatlaco (1951-2010).	229
Cuadro 6.4.	Valores de los índices e indicadores agroclimáticos determinados para definir el inicio, fin y duración del PH y la CA en el cultivo de maíz, en la cuenca del río Apatlaco para el periodo de 2011-2013.	231
Cuadro 6.5.	Comparación de valores de índices e indicadores agroclimáticos determinados para los dos periodos analizados y observaciones de cambios, tendencias y variaciones del inicio, fin y duración del PH y la CA en el cultivo de maíz, en la cuenca del río Apatlaco.	234
Cuadro 6.6.	Comparación de los índices e indicadores calculados para los periodos 1951-2010 y 2011-2013, relacionados con la temperatura y la precipitación que definen el PH y la CA en Cuernavaca, Morelos.	236
Cuadro 7.1.	Estaciones de monitoreo en el río Apatlaco, clave de identificación y nombre.	252
Cuadro 7.2.	Estadística descriptiva de las variables analizadas.	260
Cuadro 8.1.	Población de la cuenca del río Apatlaco, 2015.	276
Cuadro 8.2.	Estimadores de los ocupantes de las viviendas particulares habitadas y su distribución porcentual, según disponibilidad de drenaje y lugar de desalojo por municipio, en los municipios de la cuenca del río Apatlaco, 2015.	277
Cuadro 8.3.	Ocupantes de las viviendas particulares habitadas según disponibilidad de drenaje y lugar de desalojo por municipio en los municipios de la cuenca del río Apatlaco, 2015.	279
Cuadro 8.4.	Estimación del volumen de agua potable y del agua residual generada por la población de la cuenca del río Apatlaco, a partir de una dotación de 252 l/hab/d y un 75% de aportación.	280
Cuadro 8.5.	Descargas autorizadas de las PTAR en la cuenca del río Apatlaco (REPDA, 2018).	282
Cuadro 8.6.	Descargas autorizadas a cuerpos receptores afluentes al río Apatlaco (REPDA, 2018).	285
Cuadro 8.7.	PTAR municipales en operación en la cuenca del río Apatlaco.	287
Cuadro 8.8.	PTAR municipales fuera de operación en la cuenca del río Apatlaco.	289
Cuadro 8.9.	Factor de corrección para el metano.	295
Cuadro 8.10.	Estimación de la carga orgánica biodegradable generada por las descargas de aguas residuales de la población de la cuenca del río Apatlaco.	297
Cuadro 8.11.	Estimación anual de las emisiones de metano, a partir de la carga orgánica biodegradable generada por la población de la cuenca del río Apatlaco.	298
Cuadro 8.12.	Estimación de las emisiones en toneladas de CO ₂ e/año, de acuerdo con el tipo de disposición de las aguas residuales.	299



Cuadro 8.13.	Estimación de las emisiones en toneladas de CO ₂ e/año, a partir de la materia orgánica biodegradable, para 2015.	300
Cuadro 8.14.	Estimación de las emisiones de N ₂ O y el equivalente en toneladas de CO ₂ e/año en la cuenca del río Apatlaco.	303
Cuadro 8.15.	Estimación de las emisiones totales en toneladas de CO ₂ e en la cuenca del río Apatlaco.	304
Cuadro 9.1.	La gestión de las asociaciones de usuarios Las Fuentes, por su ubicación.	331
Cuadro 9.2.	Problemas en Las Fuentes, por ubicación.	335
Cuadro 9.3.	Problemas del Alto Apatlaco, por ubicación.	335
Cuadro 9.4.	Actividad productiva en Las Fuentes, por ubicación.	336
Cuadro 9.5.	Actividad productiva en el Alto Apatlaco, por ubicación.	338
Cuadro 10.1.	Medidas de mitigación y adaptación relativas a los recursos hídricos.	370
Cuadro 11.1.	Población de la ZMC.	390
Cuadro 11.2.	Tasas de Crecimiento Medio Anual por décadas, en Morelos, y población urbana en la ZMC, 1950-2015.	392
Cuadro 11.3.	Proyección de población municipal de la ZMC.	394
Cuadro 11.4.	ZMC: municipios centrales y criterios de incorporación.	394
Cuadro 11.5.	Demanda y oferta de agua potable en Cuernavaca.	404
Cuadro 11.6.	Fuentes de abastecimiento por municipio y volumen promedio de extracción de agua.	409
Cuadro 11.7.	Viviendas con agua entubada, con agua por acarreo, drenaje e infraestructura para el tratamiento.	413
Cuadro 11.8.	Algunas problemáticas del servicio de agua potable y saneamiento en Cuernavaca.	416
Cuadro 12.1.	Estructura de los indicadores que integran el índice técnico y calificación para la ciudad de Cuernavaca.	457
Cuadro 12.2.	Nivel de resiliencia, de acuerdo con la calificación del índice. Fuente: elaboración propia.	465
Cuadro 12.3.	Resultados de la evaluación de la resiliencia urbana de Cuernavaca. Fuente: elaboración propia, con datos obtenidos del sistema computacional del Índice de Resiliencia en Ciudades.	466
Cuadro 13.1.	Indicadores seleccionados para construir el Índice de Vulnerabilidad Frente a Inundaciones (IVFI).	487
Cuadro 13.1.	Indicadores seleccionados para construir el Índice de Vulnerabilidad Frente a Inundaciones (IVFI). (Continuación)	488
Cuadro 13.2.	Índice de exposición actual.	493
Cuadro 13.3.	Índice de exposición con modelo CNRM.	494
Cuadro 13.4.	Respuesta hidrológica de la cuenca.	496
Cuadro 13.5.	Índice de población susceptible de inundaciones.	497
Cuadro 13.6.	Área municipal con zonas de inundación.	498
Cuadro 13.7.	Índice de sensibilidad.	501
Cuadro 13.8.	Índice de resiliencia.	505
Cuadro 13.9.	Procesamiento del Índice de Vulnerabilidad Frente a Inundaciones.	506
Cuadro 13.10.	Cálculo y clasificación del IVFI.	507



SEMARNAT
SECRETARÍA DE MEDIO AMBIENTE Y
RECURSOS NATURALES



IMTA
INSTITUTO MEXICANO
DE TECNOLOGÍA
DEL AGUA

Impacto del cambio climático
para la gestión integral de la
cuenca hidrológica del
Río Apatlaco

www.gob.mx/imta

