

PROYECTO ESTRATÉGICO DE SEGURIDAD HIDRICA DE MORELIA HACIA EL 2050

Julio 2024



El presente documento ha sido elaborado con el contexto del contrato de servicios con Ref. No. 01- 200923-MLOPEZ-IMPLAN con el Instituto Municipal de Planeación (IMPLAN) de Morelia.

► Contenido

1. Delimitación y caracterización física	1
1.1 Localización, límites y extensiones	1
1.2 Fisiografía y geología	4
1.3 Usos del Suelo y Áreas Naturales Protegidas	11
2. Caracterización socioeconómica	17
2.1 Proceso de urbanización y expansión urbana	18
2.2 Dimensión, estructura y distribución espacial de la población y su proyección al 2050	20
2.3 Caracterización socioeconómica y cultural	23
2.4 Características asociadas con la vivienda	28
3. Sistema hidrometeorológico y climático	33
3.1 Hidrografía e infraestructura hidráulica	34
3.2 Hidrogeología, censos y aprovechamientos	37
3.3 Clima y fenómenos hidrometeorológicos	39
3.4 Análisis hidrológico y climático	49
4. Usos del agua	53
4.1 Aprovechamiento actual del agua	74
4.2 Abastecimiento público e industrial	82
4.3 Uso agrícola, DR 020 Morelia-Queréndaro	84
4.4 Demanda total de agua en la ZdE	89
4.5 Situación del sistema de abastecimiento de agua y tratamiento de aguas residuales	90
5. Disponibilidad actual y futura del agua	97
5.1 Disponibilidad de aguas subterráneas	98
5.2 Disponibilidad de aguas superficiales	100
5.3 Balance hídrico actual y futuro	107
5.4 Balance hídrico bajo cambio climático	113
5.5 Resultados del balance hídrico	117
5.6 Calidad del agua	121
6. Análisis prospectivo	125
6.1 Intercambio intersectorial y reúso de agua en la zona de estudio	126
6.2 Alternativas para el intercambio intersectorial de agua	130
6.3 Alternativas para el reúso del agua	138
6.4 Programa Metropolitano de Recarga mediante soluciones basadas en la naturaleza	143
7. Disponibilidad del agua con fuentes complementarias	154

7.1	Disponibilidad de las aguas con fuentes complementarias	155
7.2	Cálculo del balance hídrico con fuentes complementarias	156
8.	Riesgo y seguridad hídrica	165
8.1	Definición y metodología de cálculo	166
8.2	Índice de seguridad hídrica adaptado (ISHA)	167
8.3	Identificación y evaluación de riesgos por eventos hidrometeorológicos	186
8.4	Identificación y evaluación de riesgos por degradación ambiental	199
9.	Hoja de ruta 2024-2050	203
9.1	Políticas, estrategias y acciones	204
9.2	Presupuesto y Financiamiento	212
9.3	Indicadores de evaluación, seguimiento y control	217
10.	Conclusiones y recomendaciones	223
10.1	Conclusiones	224
10.2	Recomendaciones	230

Acrónimos y siglas

ANP	Área Natural Protegida
ART	Agua Residual Tratada
CENAPRED	Centro Nacional de Prevención de Desastres
Conagua	Comisión Nacional del Agua
CONEVAL	Consejo Nacional de Evaluación
CONAPO	Consejo Nacional de Población
Dem AP	Demanda de Agua Potable
Dem AR	Demanda de Agua para Riego
Dem T	Demanda Total
DOF	Diario Oficial de la Federación
Dot RUR	Dotación Rural
Dot URB	Dotación Urbana
DR 020	Distrito de Riego 020 Morelia-Queréndaro
INEGI	Instituto Nacional de Estadística y Geografía
IMPLAN Morelia	Instituto Municipal de Planeación de Morelia
IMTA	Instituto Mexicano de Tecnología del Agua
MAPAS	Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento (Conagua)
MSM	Monitor de Sequía en México (Conagua)
NAMO	Nivel de Aguas Máximas Ordinarias
OOAPAS Morelia	Organismo Operador de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento de Morelia
OMM	Organización Meteorológica Mundial
PTAR	Planta de Tratamiento de Aguas Residuales
REPDA	Registro Público de Derechos de Agua (Conagua)
RH-IV	Región hidrológico-administrativa Balsas (Conagua)
RH-VIII	Región hidrológico-administrativa Lerma Santiago Pacífico (Conagua)
SIGEM	Sistema de Información Geográfica y Estadística de Morelia
SIH	Sistema de Información Hidrológica (Conagua)
SINA	Sistema de Información del Agua (Conagua)
SMN	Servicio Meteorológico Nacional (Conagua)
ZdE	Zona de estudio
Scribe	Bio Pappel Scribe, S.A. de C. V.

1. Delimitación y caracterización física



► 1.1 Localización, límites y extensiones

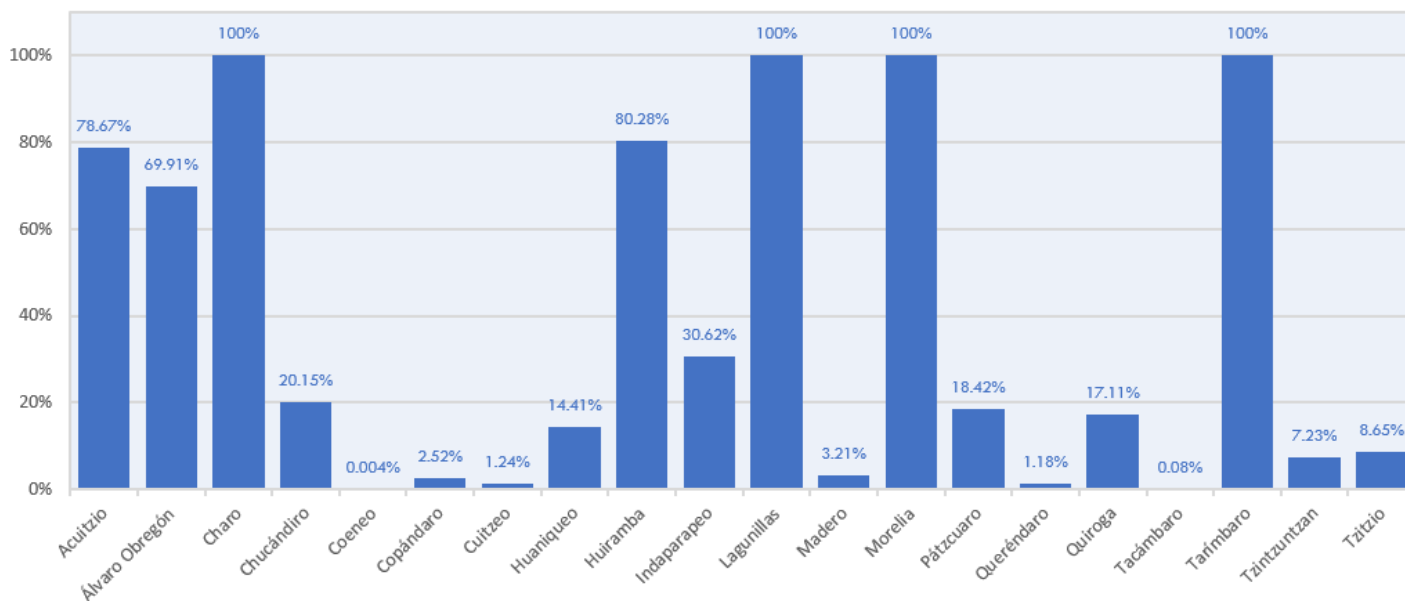
Municipios

La Zona de Estudio (ZdE) se localiza en el noroeste de la República Mexicana, entre los Paralelos 19°26'50" y 19°58'20" Norte, y los Meridianos 100°54'45" y 101°30'42" Oeste. Forma parte de la vertiente del pacífico y pertenece en su mayor proporción a la región hidrológico-administrativa Lerma-Santiago-Pacífico (RH-VIII), aunque en menor escala también a la región Balsas (RH-IV).

Incluye la totalidad del territorio de los municipios de Morelia, Tarímbaro, Charo y Lagunillas; y parcialmente los de Acuitzio, Álvaro Obregón, Chucándiro, Coeneo, Copándaro, Cuitzeo, Huaniqueo, Huiramba, Indaparapeo, Madero, Pátzcuaro, Queréndaro, Quiroga, Tacámbaro, Tzintzuntzan y Tzitzio; todos ellos dentro del estado de Michoacán.

La altitud en la ZdE varía desde los 3,240 metros sobre el nivel del mar (msnm) en la parte más alta, ubicada en el Suroeste (SO) de la ZdE en el municipio de Acuitzio, hasta los 1,120 msnm en el Sureste (SE), dentro de los municipios de Charo y Tzitzio, en tanto que la desembocadura al Lago de Cuitzeo ronda los 1,840 m.s.n.m.

Figura 1.1. Municipios y porcentaje de su territorio dentro de la ZdE



Fuente: Elaboración propia con base en la información de INEGI [5].

Cuencas y Microcuencas

La ZdE comprende parcialmente 4 cuencas hidrológicas [4]: la principal de ellas es el Lago de Cuitzeo, una cuenca endorreica que abarca el 80% de la ZdE, seguida de las cuencas del río Cutzamala (con 11%), del río Angulo (con 8%) y del río Tacámbaro (con sólo 2%) (ver Figura 1.1).

Ahora bien, si consideramos a la microcuenca, como la unidad básica de planificación, la ZdE está conformada por 28 de ellas. Veintidós escurriendo hacia el Lago de Cuitzeo, y las 6 restantes hacia fuera de la ZdE¹.

A partir de esta delimitación, la ZdE tiene una extensión total de 2,521.13 km², siendo la microcuenca de río Grande la más extensa (con 333.8 km²) y la más representativa, junto con la de río Chiquito, ya que en su conjunto albergan a la ciudad de Morelia.

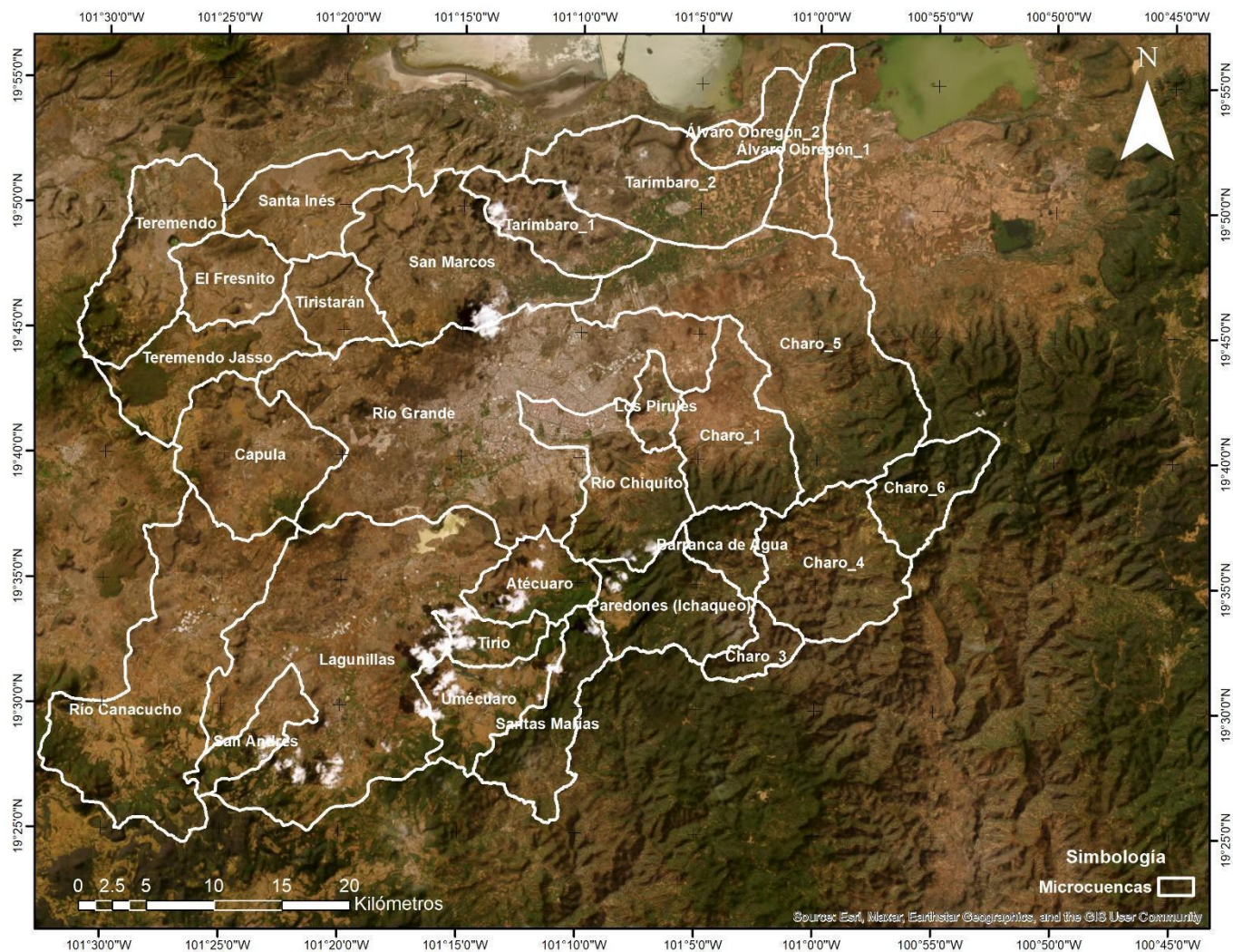
Tabla 1.1. Área de las microcuencas en la ZdE

MICROCUECA	REGIÓN HIDROIÓGICA	CUENCA	ÁREA	
			[km ²]	%
Atécuaro	Lerma-Santiago	Lago Cuitzeo	43.47	1.72%
Barranca de Agua	Balsas	Río Cutzamala	28.42	1.13%
Capula	Lerma-Santiago	Lago Cuitzeo	98.02	3.89%
El Fresno	Lerma-Santiago	Río Angulo	45.77	1.82%
Lagunillas	Lerma-Santiago	Lago Cuitzeo	303.91	12.05%
Los Pirules	Lerma-Santiago	Lago Cuitzeo	18.56	0.74%
Paredones (Ichaqueo)	Balsas	Río Cutzamala	74.01	2.94%
Río Chiquito	Lerma-Santiago	Lago Cuitzeo	87.58	3.47%
Río Grande	Lerma-Santiago	Lago Cuitzeo	333.82	13.24%
San Andrés	Lerma-Santiago	Lago Cuitzeo	31.18	1.24%
San Marcos	Lerma-Santiago	Lago Cuitzeo	132.19	5.24%
Santa Inés	Lerma-Santiago	Lago Cuitzeo	66.88	2.65%
Santas Marías	Balsas	Río Tacámbaro	59.96	2.38%
Teremendo	Lerma-Santiago	Río Angulo	89.13	3.54%
Teremendo Jasso	Lerma-Santiago	Río Angulo	72.48	2.87%
Tirio	Lerma-Santiago	Lago Cuitzeo	23.56	0.93%
Tiristarán	Lerma-Santiago	Lago Cuitzeo	39.93	1.58%
Umécuaro	Lerma-Santiago	Lago Cuitzeo	57.34	2.27%
Tarimbaro_1	Lerma-Santiago	Lago Cuitzeo	56.36	2.24%
Tarimbaro_2	Lerma-Santiago	Lago Cuitzeo	111.98	4.44%
Charo_1	Lerma-Santiago	Lago Cuitzeo	83.71	3.32%
Charo_3	Balsas	Río Cutzamala	20	0.79%
Charo_4	Balsas	Río Cutzamala	96.16	3.81%
Charo_5	Lerma-Santiago	Lago Cuitzeo	226.34	8.98%
Charo_6	Balsas	Río Cutzamala	47.49	1.88%
Álvaro Obregón_1	Lerma-Santiago	Lago Cuitzeo	43.9	1.74%
Álvaro Obregón_2	Lerma-Santiago	Lago Cuitzeo	27.4	1.09%
Río Canacucho	Lerma-Santiago	Lago Cuitzeo	201.61	8.00%
			2,521.16	

Fuente: Fuente: Elaboración propia con información de SIGEM, 2020 [9].

¹ La delimitación de las microcuencas de Álvaro Obregón_1, Álvaro Obregón_2, Charo_1, Charo_3, Charo_4, Charo_5, Charo_6, Tarimbaro_1, Tarimbaro_2 y Río Canacucho se realizó a partir de las curvas de nivel de terreno 1:50,000 del INEGI [7].

Figura 1.2. Límites y microcuencas de la Zona de Estudio (ZdE)



Fuente: Fuente: Elaboración propia con información de SIGEM, 2020 [9].

► 1.2 Fisiografía y geología

Fisiografía

De acuerdo con la carta fisiográfica del INEGI [5], la ZdE se encuentra dentro de dos provincias fisiográficas: Eje Neovolcánico y Sierra Madre del Sur.

A nivel de microcuencas, se tiene:

- Veintidós (22) microcuencas se encuentran completamente sobre el Eje Neovolcánico: Álvaro Obregón_1, Álvaro Obregón_2, Atécuaro, Capula, Charo_1, Charo_5, El Fresno, Lagunillas, Los Pirules, Río Canacucho, Río Chiquito, Río Grande, San Andrés, San Marcos, Santa Inés, Tarímbaro_1, Tarímbaro_2, Teremendo, Teremendo Jasso, Tirio, Tiristarán y Umécuaro.
- Cinco (5) microcuencas se localizan parcialmente sobre el Eje Neovolcánico y sobre Sierra Madre del Sur; es decir: Barranca de agua (con 41.29% y 58.71%, respectivamente), Charo_4 (con 6.34% y 39.65%), Charo_6 (con 60.35% y 48.83%), Paredones (Ichaqueo) (con 51.17% y 38.28%) y Santas Marías (con 61.72% y 38.28%).
- Una (1) microcuenca se encuentra totalmente sobre Sierra Madre del Sur: Charo_3.

Referente a los municipios:

- Tarímbaro y Álvaro Obregón se encuentran completamente sobre el Eje Neovolcánico.
- Morelia y Charo se encuentran parcialmente dentro del Eje Neovolcánico, con el 98.40% y con el 68.13% de su superficie, respectivamente.
- Morelia y Charo forman parte de la Sierra Madre del Sur, con un 1.60% y un 31.87 %, respectivamente.

Subregiones Fisiográficas

De acuerdo con información del INEGI [5], las subregiones que se localizan a lo largo de las 28 microcuencas son:

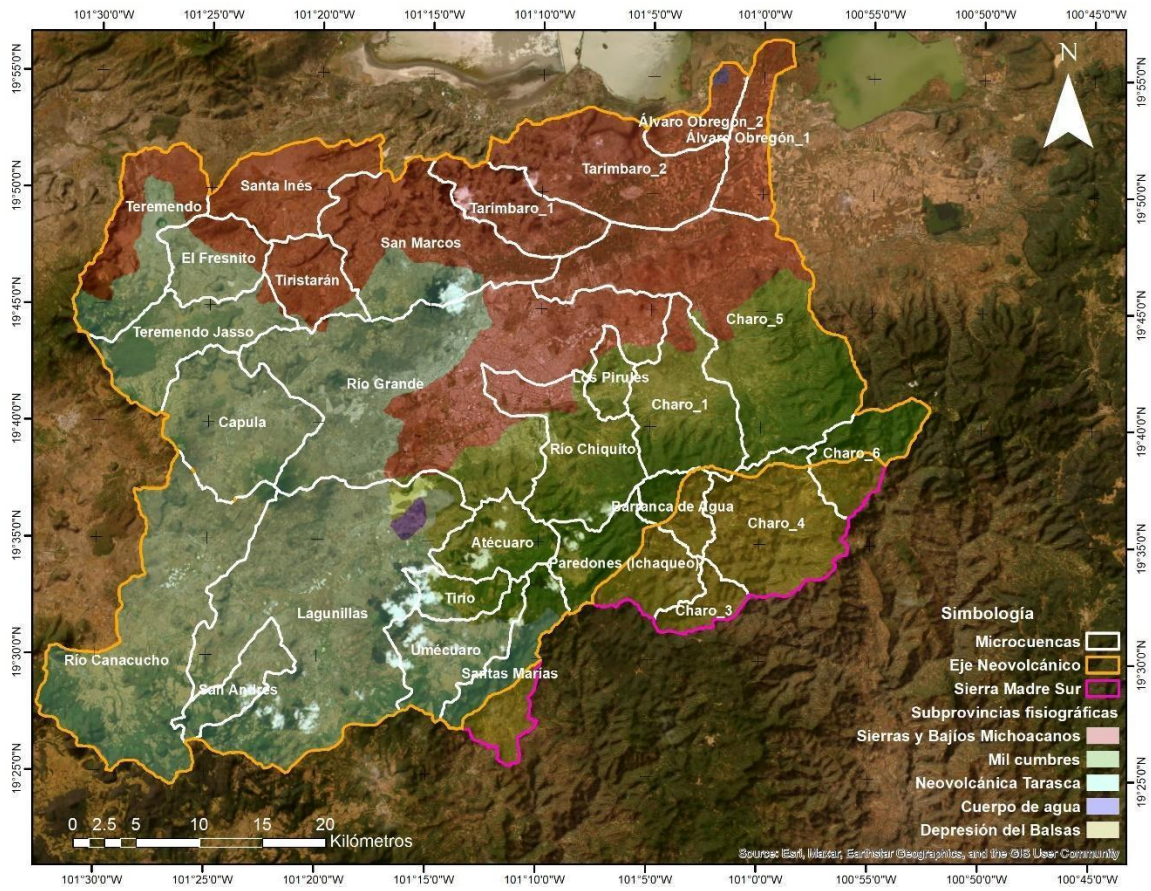
- La Subregión Neovolcánico Tarasca, donde se localizan completamente las microcuencas Capula, Río Canacucho y San Andrés, y parcialmente Atécuaro, El Fresno, Lagunillas, Río Grande, San Marcos, Santas Marías, Teremendo, Teremendo Jasso, Tirio, Tiristarán y Umécuaro.
- La Subregión Sierras y Bajíos Michoacanos, donde se localizan completamente las microcuencas Álvaro Obregón_1, Santa Inés, Tarímbaro_1 y 2, y parcialmente Álvaro Obregón_2, Charo_1 y Charo_5, El Fresno, Lagunillas, Los Pirules, Río Chiquito, Río Grande, San Marcos, Teremendo, Teremendo Jasso y Tiristarán.
- La Subregión Mil Cumbres, donde se localizan parcialmente las microcuencas Atécuaro, Barranca de agua, Charo_1, Charo_4, Charo_5 y Charo_6, Lagunillas, Los Pirules, Paredones, Río Chiquito, Río Grande, Santas Marías, Tirio y Umécuaro.
- La Subregión Depresión del Balsas, donde se localiza completamente la microcuenca Charo_3 y parcialmente las microcuencas Barranca de agua, Charo_1, Charo_4 y Charo_6, Paredones y Santas Marías.

Tabla 1.2. Regiones y Subregiones Fisiográficas en la ZdE

MICROCUENCA	EJE NEOVOLCÁNICO								SIERRA MADRE DEL SUR	
	NEOVOLCÁNICA TARASCA		CUERPO DE AGUA		SIERRAS Y BAJÍOS MICHOACANOS		MIL CUMBRES		DEPRESIÓN DEL BALSAS	
	[km ²]	%	[km ²]	%	[km ²]	%	[km ²]	%	[km ²]	%
Atécuaro	0.32	0.7%					43.15	99.3%		
Barranca de agua							11.74	41.3%	16.69	16.7%
Capula	98.02	100.0%								
El Fresno	29.68	64.9%			16.09	35.2%				
Lagunillas	280.78	92.4%	5.32	1.8%	0.47	0.2%	17.34	5.7%		
Los Pirules					2.87	15.5%	15.69	84.5%		
Paredones (Ichaqueo)							37.87	51.2%	36.14	36.1%
Río Chiquito					19.29	22.0%	68.29	78.0%		
Río Grande	152.17	45.6%			139.76	41.9%	41.89	12.6%		
San Andrés	31.18	100.0%								
San Marcos	33.40	25.3%			98.79	74.7%				
Santa Inés					66.88	100.0%				
Santas Marías	25.26	42.15%					11.75	19.6%	22.95	23.0%
Teremendo	42.56	47.8%			46.57	52.3%				
Teremendo Jasso	70.05	96.7%			2.43	3.4%				
Tirio	7.07	30.0%					16.49	70.0%		
Tiristarán	3.93	9.85			36.00	90.2%				
Umécuaro	50.14	87.5%					7.20	12.6%		
Tarímbaro_1					56.36	100.0%				
Tarímbaro_2					111.98	100.0%				
Charo_1					8.12	9.7%	74.44	88.9%	1.15	1.2%
Charo_3									20.00	100.0%
Charo_4							6.10	6.4%	90.05	93.7%
Charo_5					109.29	48.3%	117.05	51.7%		
Charo_6							28.66	60.4%	18.83	39.7%
Álvaro Obregón_1					43.90	100.0%				
Álvaro Obregón_2			1.71	6.3%	25.69	93.8%				
Río Canacucho	201.61	100.0%								

Fuente: Fuente: Elaboración propia con información de INEGI, 2001 [5]

Figura 1.3. Subregiones Fisiográficas en la ZdE



Fuente: Fuente: Elaboración propia con información de INEGI, 2001[5]

Topoformas

Con respecto a los sistemas de topoformas, y de acuerdo con el INEGI [5], las microcuencas se ubican de la siguiente forma:

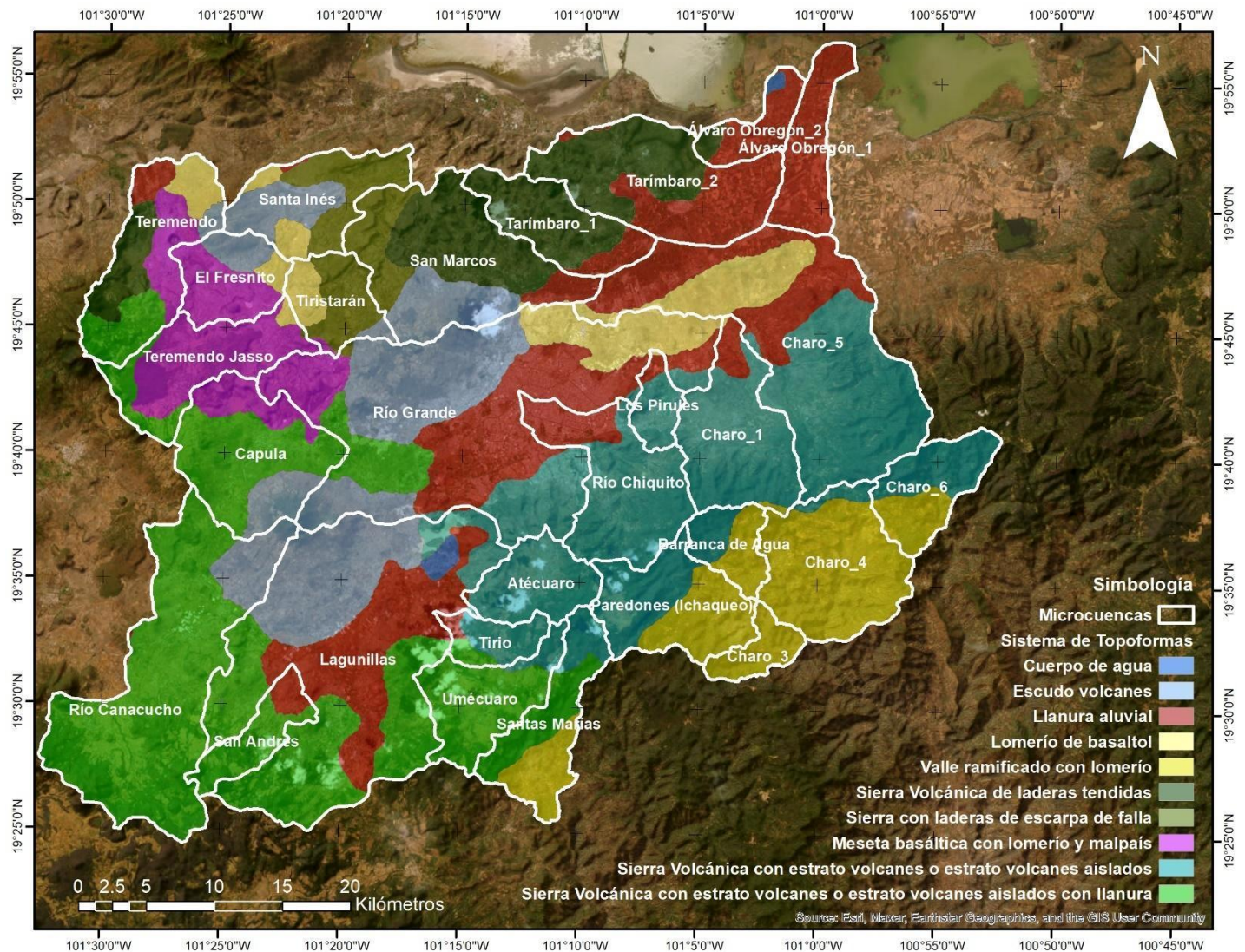
- 17 microcuencas sobre Llanuras;
- 10 microcuencas sobre Lomeríos;
- 6 microcuencas sobre la Meseta;
- 13 microcuencas sobre la Sierra; y
- 7 microcuencas sobre el Valle.

Tabla 1.3. Sistemas de Topoformas en la ZdE

MICROCUCENCA	CUERPO DE AGUA		LLANURA		LOMERÍO		MESETA		SIERRA		VALLE	
	[km ²]	%	[km ²]	%	[km ²]	%	[km ²]	%	[km ²]	%	[km ²]	%
Atécuaro			0.32	0.7%					43.15	99.3%		
Barranca de agua									11.74	41.3%	16.69	58.7%
Capula							20.07	20.5%	77.95	79.5%		
El Fresno					4.74	10.4%	29.68	64.9%	11.35	24.8%		
Lagunillas	5.32	1.8%	88.22	29.0%					210.37	69.2%		
Los Pirules			2.59	14.0%	0.28	1.5%			15.69	84.5%		
Paredones									37.87	51.2%	36.14	48.8%
Río Chiquito			19.29	22.0%					68.29	78.0%		
Río Grande			96.74	29.0%	42.12	12.6%	22.57	6.8%	172.4	51.6%		
San Andrés			7.04	22.6%					24.15	77.4%		
San Marcos			9.47	7.2%	0.69	0.5%			122.03	92.3%		
Santa Inés			0.83	1.2%	9.65	14.4%			56.4	84.3%		
Santas Marías									37.01	61.7%	22.95	38.3%
Teremendo			7.71	8.7%	12.21	13.7%	20.92	23.5%	48.3	54.2%		
Teremendo Jasso					2.15	3.0%	55.64	76.8%	14.69	20.3%		
Tirio			2.5	10.6%					21.06	89.4%		
Tiristarán					10.91	27.3%	1.06	2.7%	27.96	70.0%		
Umécuaro									57.34	100.0%		
Tarímbaro_1			10.62	18.9%					45.73	81.2%		
Tarímbaro_2			51.04	45.6%					60.94	54.4%		
Charo_1			7.81	9.3%	0.31	0.4%			74.44	88.9%	1.15	1.4%
Charo_3											20	100.0%
Charo_4									6.1	6.4%	90.05	93.7%
Charo_5			70.03	30.9%	39.25	17.3%			117.05	51.7%		
Charo_6									28.66	60.4%	18.83	39.7%
Álvaro Obregón_1			43.9	100.0%								
Álvaro Obregón_2	1.71	6.3%	21.53	78.6%					4.16	15.2%		
Río Canacucho			0.38	0.2%					201.23	99.8%		

Fuente: Fuente: Elaboración propia con información de INEGI, 2001 [5]

Figura 1.4. Sistemas de Topoformas en la ZdE



Fuente: Fuente: Elaboración propia con información de INEGI, 2001 [5]

Geología

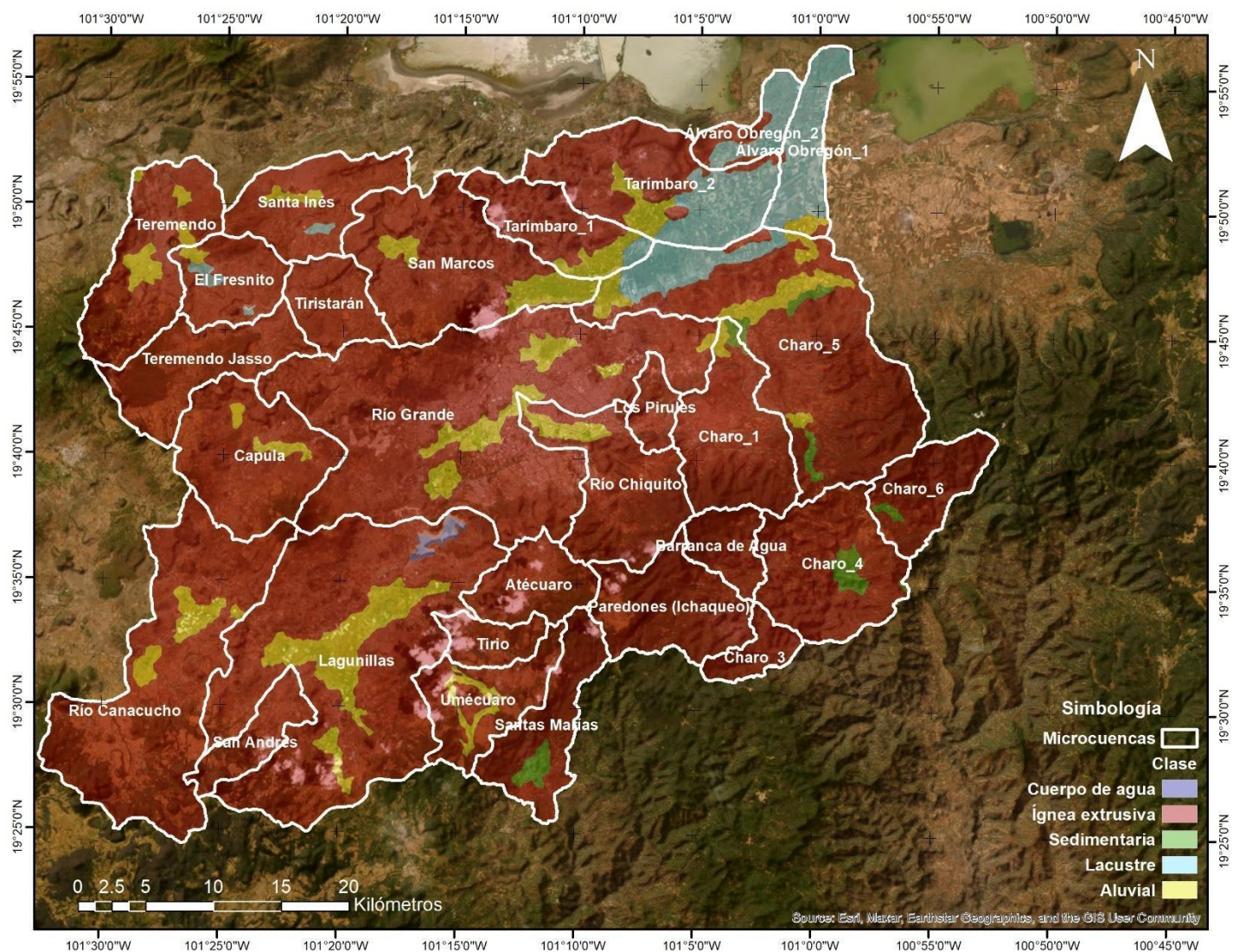
En la ZdE predominan las rocas ígneas extrusivas con 83% del área total. Dentro de estas, sobresale el tipo Basalto con 736.23 km², seguido de Andesita-Brecha volcánica intermedia y Toba ácida, con 326.81 y 295.27 km² respectivamente.

Tabla 1.4. Geología en la ZdE – Tipos de rocas y superficies abarcadas

CLASE	TIPO	ÁREA [km²]
IGNEAS EXTRUSIVAS	Andesita	16.65
	Andesita-Brecha volcánica intermedia	326.81
	Basalto	736.23
	Brecha volcánica básica	14.87
	Brecha volcánica intermedia	55.09
	Dacita	14.04
	Dacita-Brecha volcánica ácida	73.59
	Dacita-Toba ácida	15.50
	Riolita	4.16
	Toba ácida	295.27
	Toba básica	2.37
	Toba intermedia-Brecha volcánica intermedia	10.63
	Volcanoclástico	32.54
SEDIMENTARIAS	Arenisca-Conglomerado	5.32
	Conglomerado	6.88
	Limolita-Arenisca	4.87
N/A	Lacustre	159.01
	Aluvial	143.30
	N/A	14.54

Fuente: INEGI, 2003 [6]

Figura 1.5. Geología por microcuenca en la ZdE



Fuente: Elaboración propia con información de INEGI [6]

► 1.3 Usos del Suelo y Áreas Naturales Protegidas

Uso de Suelo

Dentro de la ZdE se identifican 11 diferentes tipos de uso de suelo. El 41.1% corresponde a suelos de uso agrícola-pecuario-forestal, es decir 1,036.84 km²; en tanto que los asentamientos humanos y las zonas urbanas ocupan solamente el 7.3% de la superficie total. Los bosques ocupan el segundo lugar con 34.5%, y dentro de estos sobresalen los de encino con 444.41 km² (ver **Tabla 1.5** a continuación).

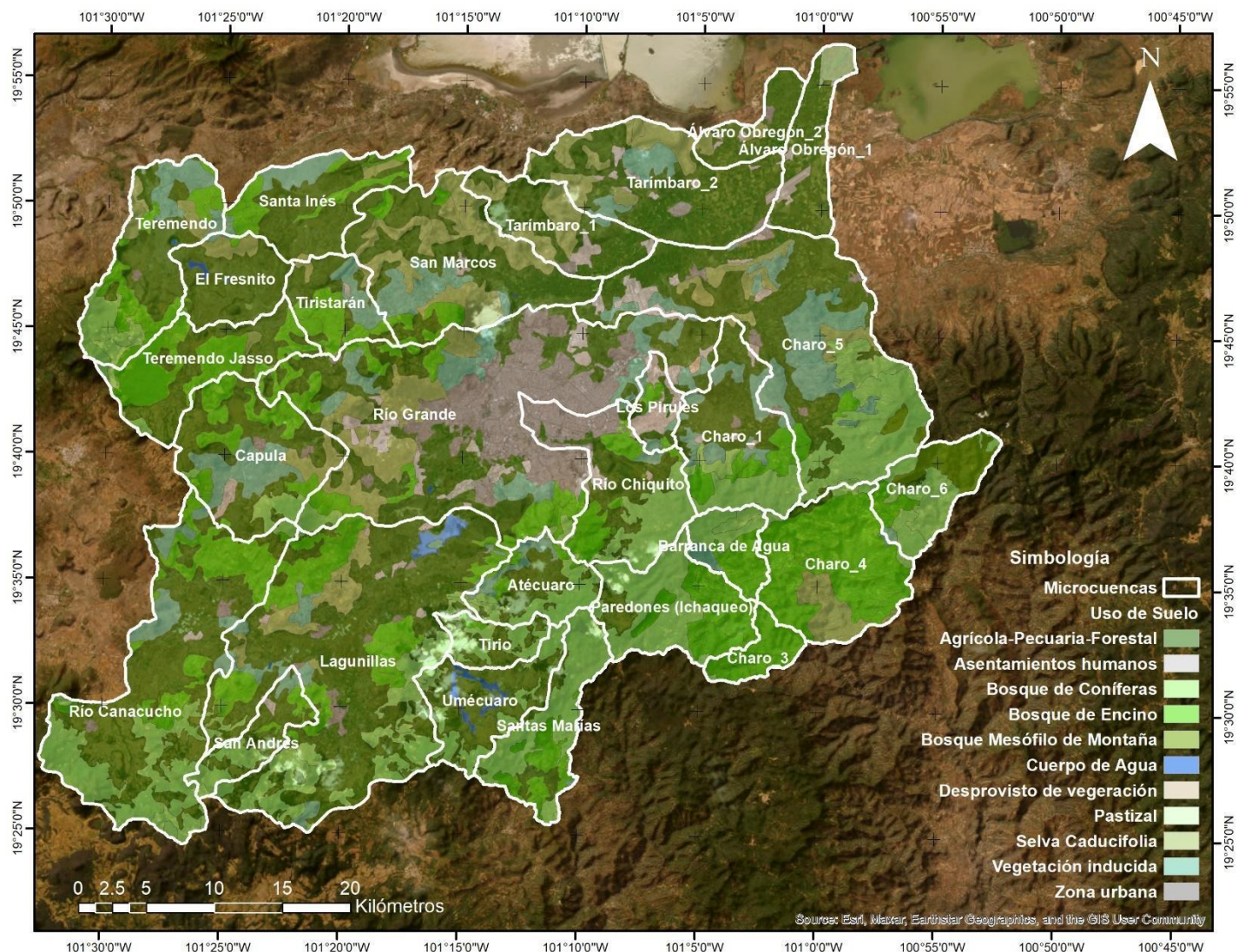
En el ámbito de las microcuencas y los suelos de uso agrícola-pecuario-forestal Lagunillas ocupa el primer lugar con 164 km² seguida de río Grande con 107.21 km². Río Canacucho y Charo_5 también tienen superficies considerables de suelo de uso de este tipo con 97.24 y 91.13 km² respectivamente. En relación con los asentamientos humanos y las zonas urbanas es río Grande la de mayor superficie con 108.89 km² que en conjunto con río Chiquito (con 19.29 km²) concentran la mayor superficie [8].

Tabla 1.5. Uso de suelo (cifras en km²)

MICROCUENCA	AGRICOLA- PECUARIA- FORESTAL	ASENTAMIENTOS HUMANOS	BOSQUE DE CONIFERAS	BOSQUE DE ENCINO	BOSQUE MESÓFILO DE MONTAÑA	CUERPO DE AGUA	DESPROVISTO DE VEGETACIÓN	PASTIZAL	SELVA CADUCIFOLIA	VEGETACIÓN INDUCIDA	ZONA URBANA	TOTAL
Atécuaro	16.16		17.09	4.63						5.59		43.47
Barranca de agua			12.96	12.91						2.55		28.42
Capula	39.07	2.19	7.10	23.38					6.32	18.67	1.28	98.02
El Fresno	38.03			1.23		0.94			4.87	0.71		45.77
Lagunillas	164.08	2.37	48.09	50.49		4.78			17.16	12.50	4.43	303.91
Los Pirules	4.26	8.60		2.75						2.81	0.13	18.56
Paredones	6.65		38.18	29.10						0.08		74.01
Río Chiquito	24.88	2.45	26.28	14.76						2.38	16.84	87.58
Río Grande	107.21	19.35	6.19	35.36		0.19	0.68		40.71	34.59	89.55	333.82
San Andrés	15.56	0.66	9.53	3.49						1.90	0.04	31.18
San Marcos	60.70	1.13		10.58		0.07			43.78	15.90	0.03	132.19
Santa Inés	40.46			14.51		0.00			2.39	9.52		66.88
Santas Marías	7.91		37.02	14.52						0.51		59.96
Teremendo	31.70		16.08	20.43		0.17			7.51	12.80	0.45	89.13
Teremendo Jasso	31.99		3.32	36.08					1.09			72.48
Tirio	10.27		12.34	0.95		0.00						23.56
Tiristarán	14.69	0.39		14.65					1.98	8.07	0.16	39.93
Umécuaro	36.65		16.49			4.19						57.34
Tarímbaro_1	34.01	3.61							16.95	0.90	0.88	56.36
Tarímbaro_2	72.28	3.63							23.15	10.88	2.04	111.98
Charo_1	32.26	1.41	21.83	13.05					0.44	13.96	0.75	83.71
Charo_3			0.49	19.50								20.00
Charo_4	2.10		4.25	73.79					15.56	0.45		96.16
Charo_5	91.13	8.28	55.14	4.89	3.19				15.91	43.22	4.59	226.34
Charo_6	0.78		23.35	5.72	16.70					0.94		47.49
Álvaro Obregón_1	34.16	3.28						6.06	0.18		0.22	43.90
Álvaro Obregón_2	22.61	0.79							3.26		0.74	27.40
Río Canacucho	97.24	0.74	50.23	37.64						13.94	1.82	201.61
	1,036.84	58.88	405.96	444.41	19.89	10.35	0.68	6.06	201.25	212.87	123.94	2,521.13

Fuente: Fuente: Elaboración propia con información de uso de suelo (serie III) INEGI [8]

Figura 1.6. Uso de suelo



Fuente: Elaboración propia con información de uso de suelo (serie IV) INEGI [8]

Áreas Naturales Protegidas

Dentro de la ZdE se reconoce la existencia de 10 Áreas Naturales Protegidas (ANP), siendo la más importante por su extensión la de *Pico Azul-La Escalera*, decretada como Zona de Protección Ambiental el 13 de septiembre de 2011 [1], con un área de 23,538 ha, es decir el 74.3% de la superficie total de ANP dentro de la ZdE, seguida de *Cerro del Águila* con 4,211 ha. (Tabla 1.6).

El *Cerro del Águila*, decretada el 11 de mayo de 2023 dentro de la categoría de reserva de captación y recarga mantos acuíferos [2], cobra una especial relevancia para la capital michoacana, ya que contribuye al abastecimiento y conservación del manantial de La Mintzita, que provee cerca del 40% del abastecimiento de agua potable de Morelia. Para el año 2010, esta

zona aún contaba con importantes áreas forestales –alrededor del 70% de su superficie se encontraba aún cubierta por vegetación arbórea y/o arbustiva (Bocco et al., 2001)², contribuyendo con la recarga natural y el abastecimiento del manantial; sin embargo, hoy está en riesgo debido a los cambios en el uso del suelo.

El ANP *El Cerro del Quinceo*, la tercera en importancia por su extensión, fue decretada el 16 de junio de 2023 como reserva de captación y recarga de mantos acuíferos [3], siendo un área de gran importancia por los servicios ecosistémicos que provee, entre ellos su capacidad para la captación de agua e infiltración, que también aporta recursos hídricos superficiales y escorrentías al manantial La Mintzita, además de pozos profundos, estanques, abrevaderos y otros manantiales que abastecen al municipio de Morelia.

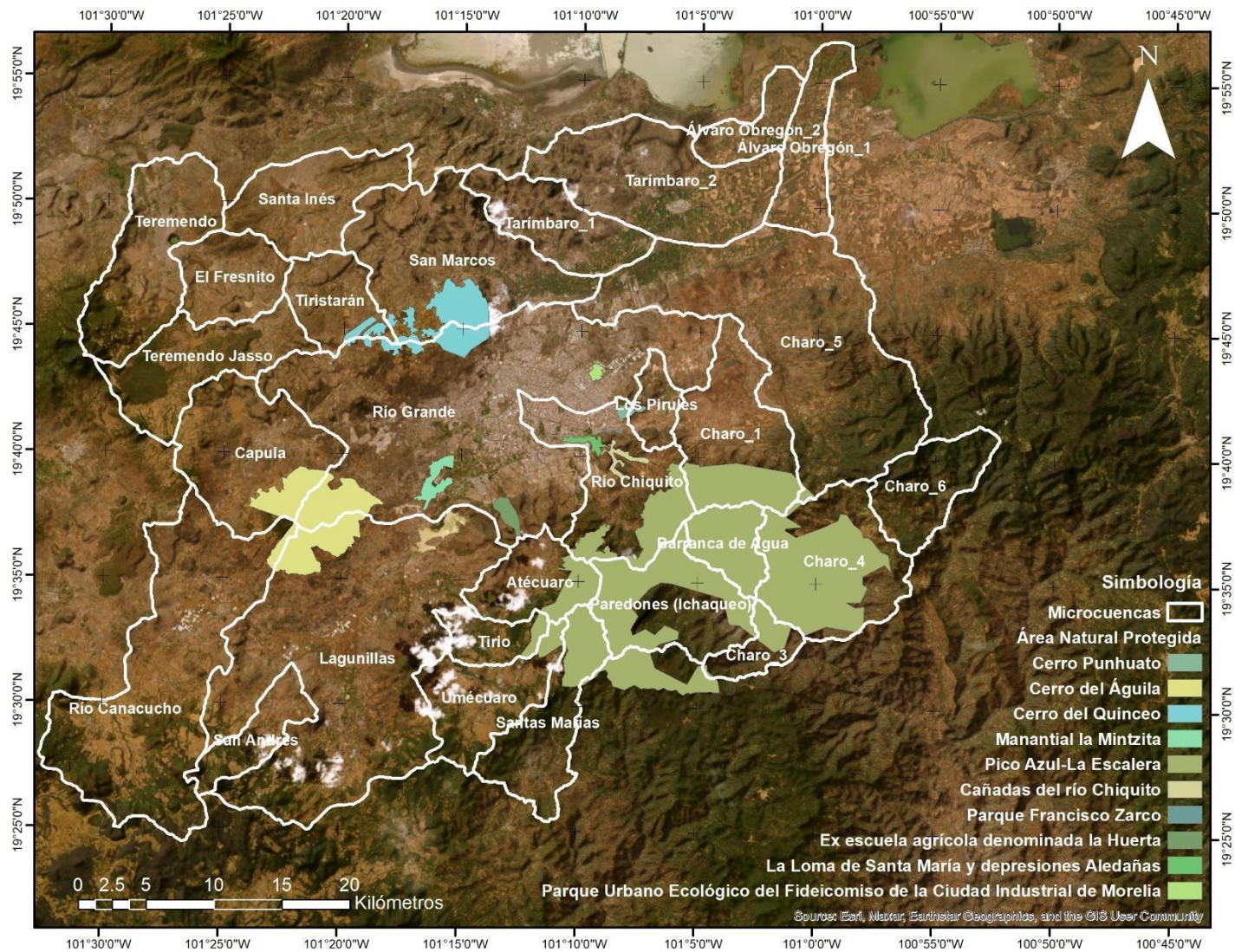
Tabla 1.6. Áreas Naturales Protegidas dentro de la ZdE

NOMBRE	FECHA DE DECRETO	CATEGORÍA	ÁREA	
			(ha)	%
Manantial la Mintzita	14/09/2016	Zona sujeta a preservación ecológica	412.78	1.3%
Cañadas del río Chiquito	29/04/2011	Zona de restauración y protección ambiental	205.20	0.6%
Ex escuela agrícola denominada la Huerta	31/01/2005	Zona sujeta a preservación ecológica	271.48	0.9%
Parque Francisco Zarco	15/02/2008	Parque urbano ecológico	17.81	0.1%
Pico Azul-La Escalera	13/09/2011	Zona de protección ambiental	23,538.61	74.3%
Cerro Punhuato	26/01/2005	Zona sujeta a preservación ecológica	117.14	0.4%
La Loma de Santa María y depresiones Aledañas	31/12/2009	Zona de restauración y protección ambiental	166.68	0.5%
Parque Urbano Ecológico - Fideicomiso de CIMO	10/07/1995	Parque urbano ecológico	89.11	0.3%
Cerro del Quinceo	16/06/2023	Reserva de captación y recarga de mantos acuíferos	2,642.12	8.3%
Cerro del Águila	11/05/2023	Reserva de captación y recarga de mantos acuíferos	4,211.14	13.3%
Total			31,672.07	

Fuente: Elaboración propia con información de IMPLAN, 2024 [4]

² Gerardo, Bocco & Masera, Omar & Mendoza, Manuel. (2001). La dinámica del cambio del uso del suelo en Michoacán. Una propuesta metodológica para el estudio de los procesos de deforestación (parte 2). Investigaciones Geográficas. 1. 10.14350/rig.59133.

Figura 1.7. Áreas Naturales Protegidas



Fuente: Elaboración propia con información de IMPLAN, 2024 [4]

Referencias

- [1] **DOF, 2011.** Decreto por el que se declara área natural protegida en la categoría de reserva estatal y subcategoría de reserva de captación y recarga de mantos acuíferos, al lugar conocido como Pico Azul – La Escalera, ubicado en el Municipio de Morelia, Michoacán de Ocampo.
- [2] **DOF, 2023.** Decreto por el que se declara área natural protegida en la categoría de reserva estatal y subcategoría de reserva de captación y recarga de mantos acuíferos, al lugar conocido como «Cerro del Águila», ubicado en el Municipio de Morelia, Michoacán de Ocampo. Diario Oficial de la Federación, 2023.
- [3] **DOF, 2023.** Decreto por el que se declara área natural protegida en la categoría de reserva estatal y subcategoría de reserva de captación y recarga de mantos acuíferos, al lugar conocido como «Cerro del Quinceo», ubicado en el Municipio de Morelia, Michoacán de Ocampo. Diario Oficial de la Federación, 2023.
- [4] **IMPLAN, 2024.** Morelia en Datos, Fichas Temáticas Morelia. Instituto Municipal de Planeación de Morelia, 2021. <https://implanmorelia.org/site/fichas-tematicas-morelia/>
- [5] **INEGI, 2001.** Conjunto de datos vectoriales Fisiográficos. Continuo Nacional. Escala 1:1 000 000. Serie I (Provincias fisiográficas). Base de Datos Geográficos de la Dirección General de Geografía, INEGI.
- [6] **INEGI, 2003.** Conjunto de Datos Geológicos Vectoriales E1401. Escala 1:250,000. Serie I. Base de Datos Geográficos de la Dirección General de Geografía, INEGI.
- [7] **INEGI, 2021a.** Conjunto de datos vectoriales de información topográfica escala 1:50 000 serie III. Instituto Nacional de Estadística y Geografía - INEGI.
- [8] **INEGI, 2016.** Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Uso del suelo y vegetación, escala 1:250 000, serie VI (Conjunto nacional): <https://www.inegi.org.mx/temas/ususuelo/#Descargas>
- [9] **SIGEM, 2020.** Mapa Interactivo de Morelia. Sistema de Información Geográfica y Estadística de Morelia (SIGEM).

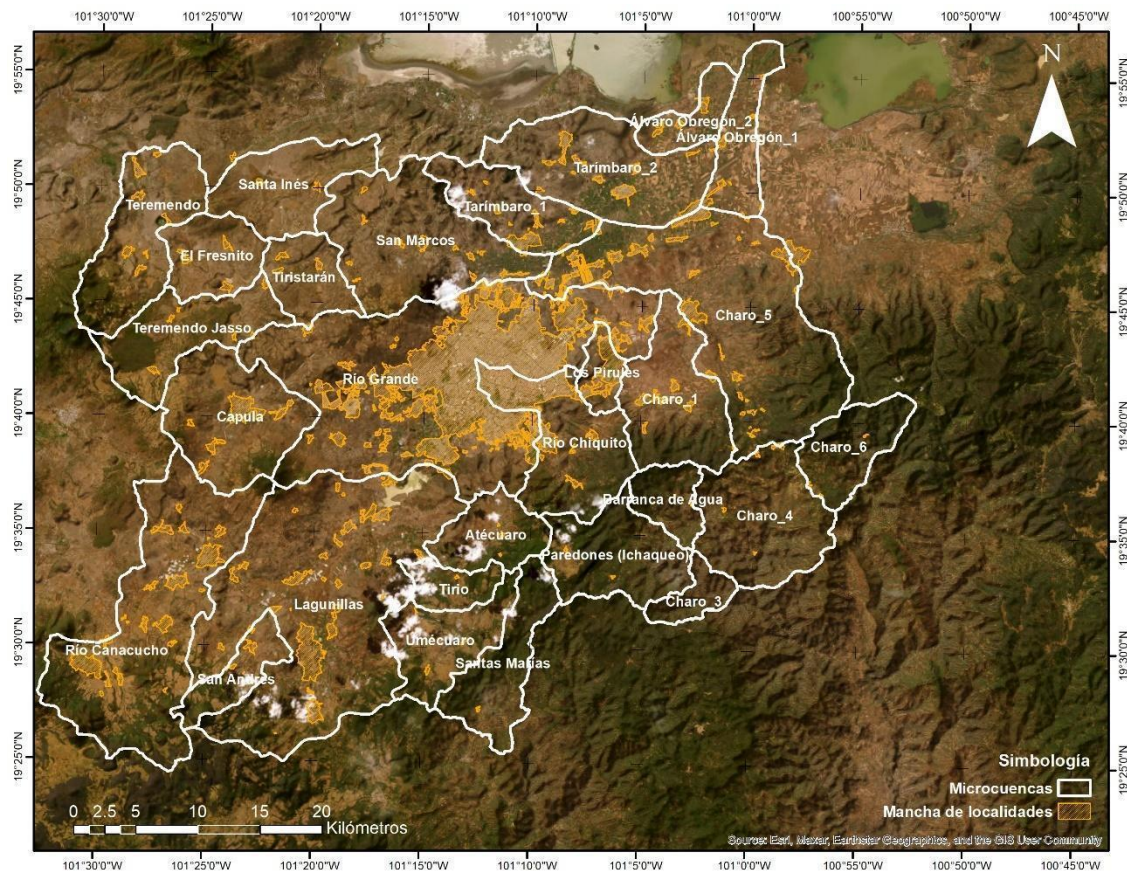
2. Caracterización socioeconómica



► 2.1 proceso de urbanización y expansión urbana

El crecimiento urbano de la ciudad de Morelia ha superado los límites municipales, lo que ha significado un aumento en las funciones, actividades e integración económicas con los municipios de Tarímbaro, Álvaro Obregón y Charo, principalmente [4]. Esto representa un número de ventajas y oportunidades, como puede ser la gestión conjunta de recursos con otros órdenes de gobierno, un mayor potencial de crecimiento económico o generar oportunidades laborales adicionales para la población; sin embargo, también plantea grandes retos, como lo son el acordar, coordinar e implementar políticas públicas, planes y programas, así como la atención y solución conjunta de problemas ambientales y/o territoriales con impactos regionales. Esto hace necesario considerar un área de proyecto extendida (ZdE) para fines de planificación.

Figura 2.1. Localidades de Municipios de la Zona de estudio



El crecimiento de las áreas urbanas de la ZdE se dio a principios de los años 90 de una manera acelerada, siguiendo un modelo de crecimiento horizontal, disperso, discontinuo y de baja densidad, lo que se tradujo en un espacio metropolitano con gran diversidad urbana, estructurado a partir de los ejes carreteros que salen de la ciudad de Morelia, donde se encuentran amplias zonas residenciales y habitacionales, parques, áreas naturales y espacios agrícolas, haciendo notorio que la política urbana de la ZdE ha sido fragmentada y orientada hacia la elaboración de instrumentos de planeación y gestión urbana particulares de cada municipio, sin una visión de conjunto. La ZdE requiere de grandes esfuerzos coordinados en materia de movilidad, infraestructura, equipamiento, de servicios públicos y manejo de residuos, para lograr efectos positivos en el nivel de vida de las personas.

El crecimiento y expansión de las áreas urbanas han deteriorado muchas de las áreas de valor ambiental, como las áreas forestales de la microcuenca del río Chiquito, generando presión sobre el área natural protegida de Pico Azul-La Escalera. El crecimiento de la zona oriente ha afectado al cerro Punhuato; la expansión de la zona norte ejerce una importante presión sobre el cerro Quinceo, y la ampliación de la zona poniente ha sido sobre zonas importantes para la recarga del manantial La Mintzita, principal fuente de abastecimiento de agua potable de la ciudad [1].

La ZdE comprende 598 localidades, de las cuales el 95% es de tipo urbano (mayores de 2,500 habitantes), y siendo las principales: Morelia, Fraccionamiento Galaxia, Álvaro Obregón, Fraccionamiento Metrópolis II, Fraccionamiento Hacienda del Sol, Acuitzio del Canje e Indaparapeo.

Por su ubicación, el 43% de las localidades se encuentra dentro del municipio de Morelia, el 18% en Tarímbaro, el 13% en Charo, el 8% en Álvaro Obregón, y el resto repartido en los municipios de Acuitzio, Chucándiro, Huaniqueo, Huiramba, Indaparapeo, Lagunillas, Madero, Pátzcuaro, Quiroga, Tzintzuntzan y Tzitzio.

A nivel de microcuenca, la lista la encabeza río Grande con 117 localidades (de las cuales el 91% son urbanas), seguido por Charo_5 y Lagunillas con 75 y 73 localidades, respectivamente.

Tabla 2.1. Número de localidades urbanas y rurales por microcuenca

MICROCUECA	LOCALIDAD			MICROCUECA	LOCALIDAD		
	RURAL	URBANA	TOTAL		RURAL	URBANA	TOTAL
Atécuaro	15		15	Teremendo Jasso	9		9
Barranca de agua	5		5	Tirio	8		8
Capula	11	1	12	Tiristarán	6		6
El Fresno	4		4	Umécuaro	17		17
Lagunillas	72	1	73	Tarímbaro1	23	1	24
Los Pirules	3	1	4	Tarímbaro2	20	2	22
Paredones	17		17	Charo1	20	1	21
Río Chiquito	8	1	10	Charo3	2		2
Río Grande	107	11	117	Charo4	25		25
San Andrés	5		5	Charo5	69	6	75
San Marcos	20		20	Charo6	20		20
Santa Inés	5		5	Álvaro Obregón1	20	1	21
Santas Marías	12		12	Álvaro Obregón2	6		6
Teremendo	7		7	Río Canacucho	33	3	36
TOTAL					569	29	598

Fuente: Elaboración propia con base en INEGI, 2021 [5]

► 2.2 Dimensión, estructura y distribución espacial de la población y su proyección al 2050

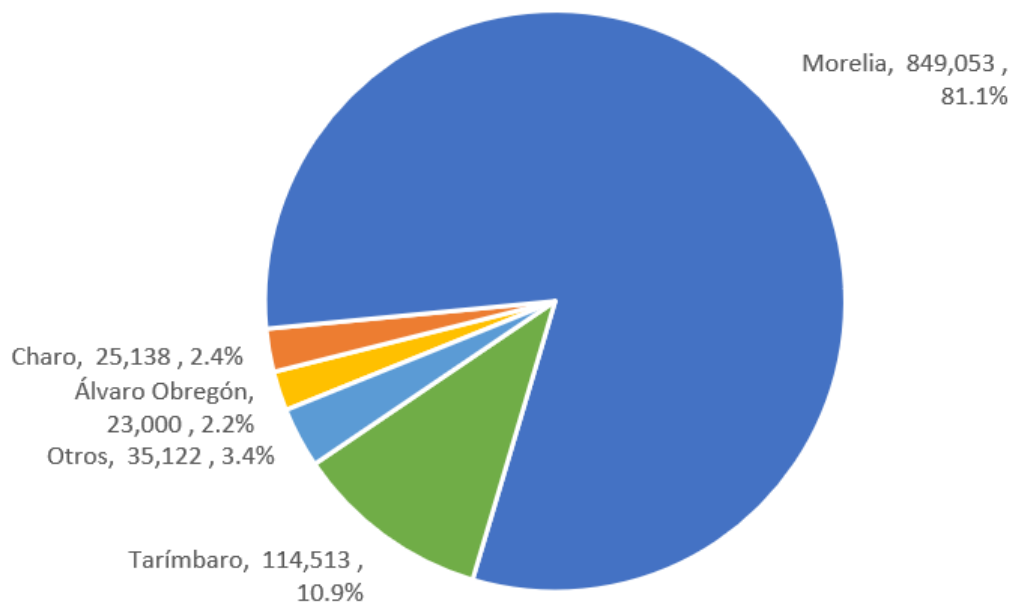
Tomando como base la población del INEGI en el año 2020 [5] y realizando un ajuste en su distribución espacial, a partir del procedimiento utilizado por el IMPLAN en función de las manchas urbanas, el número de habitantes asentados en la ZdE es de 1,046,826.

El municipio que concentra la mayor población es el de Morelia con 849,053 habitantes, guardando una proporción de 52% contra 48% entre mujeres y hombres, respectivamente. El resto de la población se distribuye entre Álvaro Obregón, Charo y Tarímbaro, municipios que se encuentran completamente dentro de la ZdE, y en otros 15 municipios que sólo lo están parcialmente (ver **Figura 2.2**).

A nivel de microcuencas, la mayor concentración de la población se encuentra en río Grande, con 715,506 habitantes (68.4% del total), seguido río Chiquito con 121,903 (11.6% del total). El resto de las microcuencas albergan poblaciones menores, por debajo de los 25,000 habitantes, a excepción de Charo_5 que tiene 65,532 habitantes (ver **Figura 2.3**).

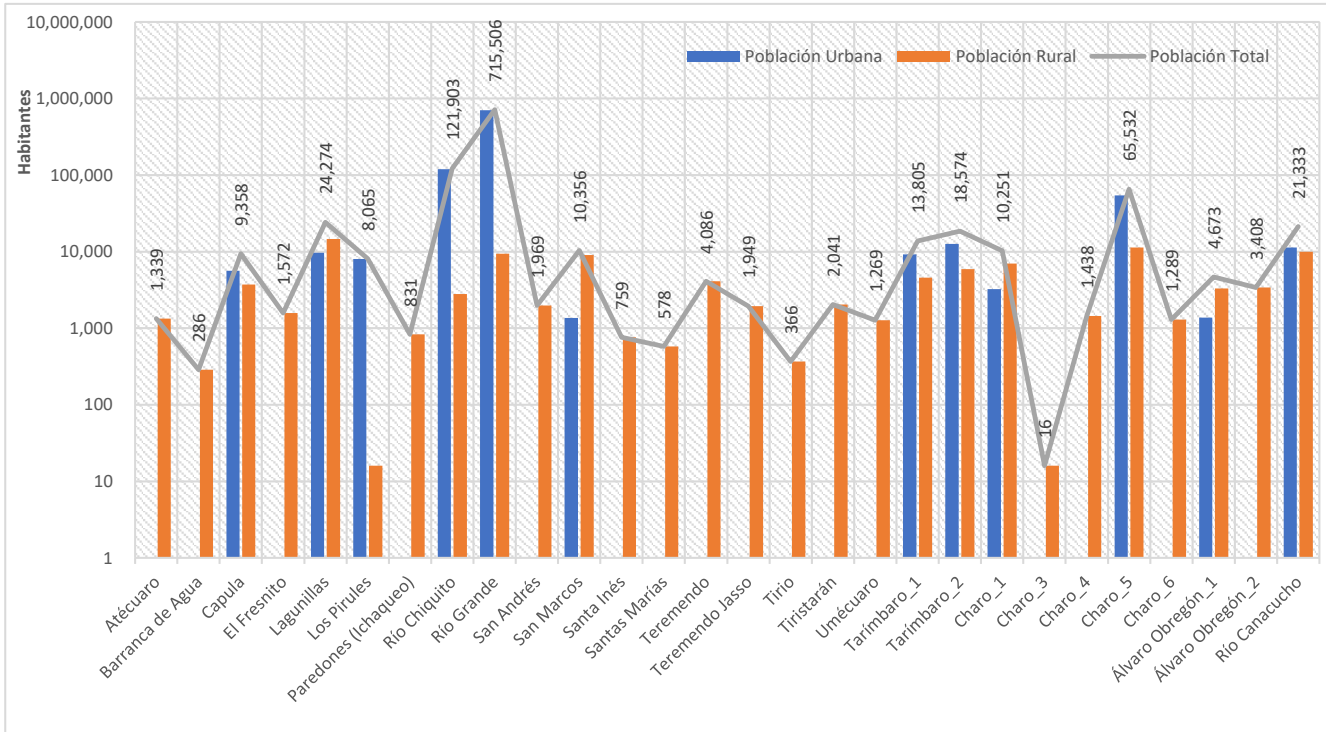
En términos de su clasificación por tipo, el 90% de la población está asentada en 10 localidades urbanas y sólo el 10% en 569 localidades rurales.

Figura 2.2. Población por Municipio



Fuente: Elaboración propia con base en INEGI, 2020 [5]

Figura 2.3. Población por Microcuenca



Fuente: Elaboración propia con base en INEGI, 2020 [5]

Tomando en consideración el procedimiento aplicado por el IMPLAN, la proyección de la población esperada al final del periodo (2050) se puede calcular en función de la tendencia de crecimiento, a partir de la información de los censos de población del INEGI 1970, 1980, 1990, 2000, 2010 y 2020. Esto es:

$$\begin{aligned}
 Pob_{TOT_F} &= (Pob_{RUR_A} \times T_{CREC_R}) + (Pob_{URB_A} \times T_{CREC_U}) \\
 T_{CREC_{MC}} &= \left[\left(\frac{1}{A_{MC}} \sum_{j=1}^n C_{Prom_j} A_j \right) \times \left(\frac{1}{Pob_{A_{MC}}} \right) \right] + 1 \\
 C_{Prom} &= \frac{1}{10} \sum Pob_i - Pob_{i-1} \times 30
 \end{aligned}$$

Donde:

- Pob TOT_F = Población futura (2050)
- Pob RUR_A = Población rural actual (2020)
- Por URB_A = Población urbana actual (2020)
- T_{CREC_{MC}} = Tasa de crecimiento por microcuenca (rural/urbano)
- Pob A_{MC} = Población actual por microcuenca
- A_{MC} = Área de la microcuenca
- C_{Prom_j} = Crecimiento promedio total en el polígono j
- A_j = Área del polígono j
- C_{Prom} = Crecimiento promedio total (rural/urbano)
- Pob_i = Población en el censo i

La **Tabla 2.2** muestra la población actual (al 2020) y de proyecto (al 2050) considerando su tipo de asentamiento.

Tabla 2.2. Población por Microcuenca

MICROCUECA	POBLACIÓN 2020			TASAS DE CRECIMIENTO		POBLACIÓN 2050		
	Pob RUR	Pob URB	Pob TOT	Rural	Urbana	Pob RUR	Pob URB	Pob TOT
Atécuaro	1,339	-	1,339	1.44589		1,936	-	1,936
Barranca de agua	286	-	286	1.36248		390	-	390
Capula	3,734	5,624	9,358	1.44589	1.44589	5,399	8,132	13,531
El Fresno	1,572	-	1,572	1.44589		2,273	-	2,273
Lagunillas	14,633	9,641	24,274	1.04836	1.99149	15,341	19,200	34,541
Los Pirules	16	8,049	8,065	1.44589	1.44589	23	11,638	11,661
Paredones	831	-	831	1.15054		956	-	956
Río Chiquito	2,786	119,117	121,903	1.44589	1.44589	4,028	172,230	176,258
Río Grande	9,348	706,158	715,506	0.98771	1.46710	9,233	1,036,005	1,045,238
San Andrés	1,969	-	1,969	1.36754		2,693	-	2,693
San Marcos	8,989	1,367	10,356	1.47622	1.47622	13,270	2,018	15,288
Santa Inés	759	-	759	1.01214		768	-	768
Santas Marías	578	-	578	1.21896		705	-	705
Teremendo	4,086	-	4,086	1.14147		4,664	-	4,664
Teremendo Jasso	1,949	-	1,949	1.39335		2,716	-	2,716
Tirio	366	-	366	1.44589		529	-	529
Tiristarán	2,041	-	2,041	1.44589		2,951	-	2,951
Umécuaro	1,269	-	1,269	1.43364		1,819	-	1,819
Tarimbaro1	4,584	9,221	13,805	0.97857	2.02922	4,486	18,711	23,197
Tarimbaro2	5,901	12,673	18,574	1.48007	1.49304	8,734	18,921	27,655
Charo1	6,998	3,253	10,251	0.96996	2.21293	6,788	7,199	13,986
Charo3	16	-	16	1.28397		21	-	21
Charo4	1,438	-	1,438	1.28495		1,848	-	1,848
Charo5	11,285	54,247	65,532	1.24444	1.73495	14,043	94,116	108,159
Charo6	1,289	-	1,289	1.21573		1,567	-	1,567
Álvaro Obregón1	3,293	1,380	4,673	1.30116	1.30217	4,285	1,797	6,082
Álvaro Obregón2	3,408	-	3,408	1.30217		4,438	-	4,438
Río Canacucho	9,994	11,339	21,333	1.29425	1.31121	12,935	14,868	27,803
	104,757	942,069	1,046,826			128,837	1,404,835	1,533,671

Fuente: Elaboración propia con base en INEGI, 2020 y CONAPO, 2020 [3]

▶ 2.3 Caracterización socioeconómica y cultural

Salud-Discapacidad

Los habitantes con alguna condición de discapacidad representan el 5% del total de población en 2020. Los tipos de discapacidad son principalmente personas que presentan alguna limitación para caminar o moverse, seguido de aquellas que presentan alguna deficiencia para ver y/o escuchar. Las localidades que presentan los más altos porcentajes de población con algún tipo de discapacidad son Tacícuaro, Tiripetío, Teremendo de los Reyes, Atapaneo, Chiquimitío y San Miguel del Monte (ver **Figura 2.4**).

Salud-Acceso a Seguridad Social

En promedio, el 66.2% de la población asentada en las 28 microcuencas cuenta con algún tipo de Seguridad Social. En la microcuenca Charo3 existe un rezago total de seguridad social, mientras que la mayor cobertura de seguridad social es en la microcuenca de Río Grande, donde 570,818 habitantes cuentan con algún tipo de seguridad social. (ver **Figura 2.5**)

Escolaridad-Asistencia escolar

El porcentaje de asistencia escolar es relativamente alto: casi el 100% de la población de 6 a 11 años asiste a la primaria; del total de población en edad de asistir a la secundaria, el 93% lo hace. Los porcentajes más bajos de asistencia escolar se dan en el nivel preescolar con un 68% y en el medio superior y superior (personas de 15 a 24 años) con un 52.5%.

Las localidades que se encuentran la microcuenca de Charo_3 cuenta con rezago total en cuanto a la asistencia escolar en personas de 15 a 24 años (ver **Figura 2.6**).

Marginación-Índice de Rezago Social

De acuerdo con datos del Censo de Población y Vivienda 2020 y cálculos del Consejo Nacional de Evaluación (CONEVAL), se tiene que de las 598 localidades, existen: (i) tres (3) localidades con Rezago Social Muy Alto, ubicadas en las microcuencas Álvaro Obregón1, Charo3 y Charo4; (ii) veintisiete (27) localidades con Rezago Social Alto; cincuenta y siete (57) localidades con Rezago Social Medio; Doscientas cuarenta y ocho (248) con Rezago Social Bajo; y, ciento treinta (130) localidades con Rezago Social Muy Bajo, de estas últimas 50 se localizan en la microcuenca Río Grande [2] (ver **Figura 2.7**).

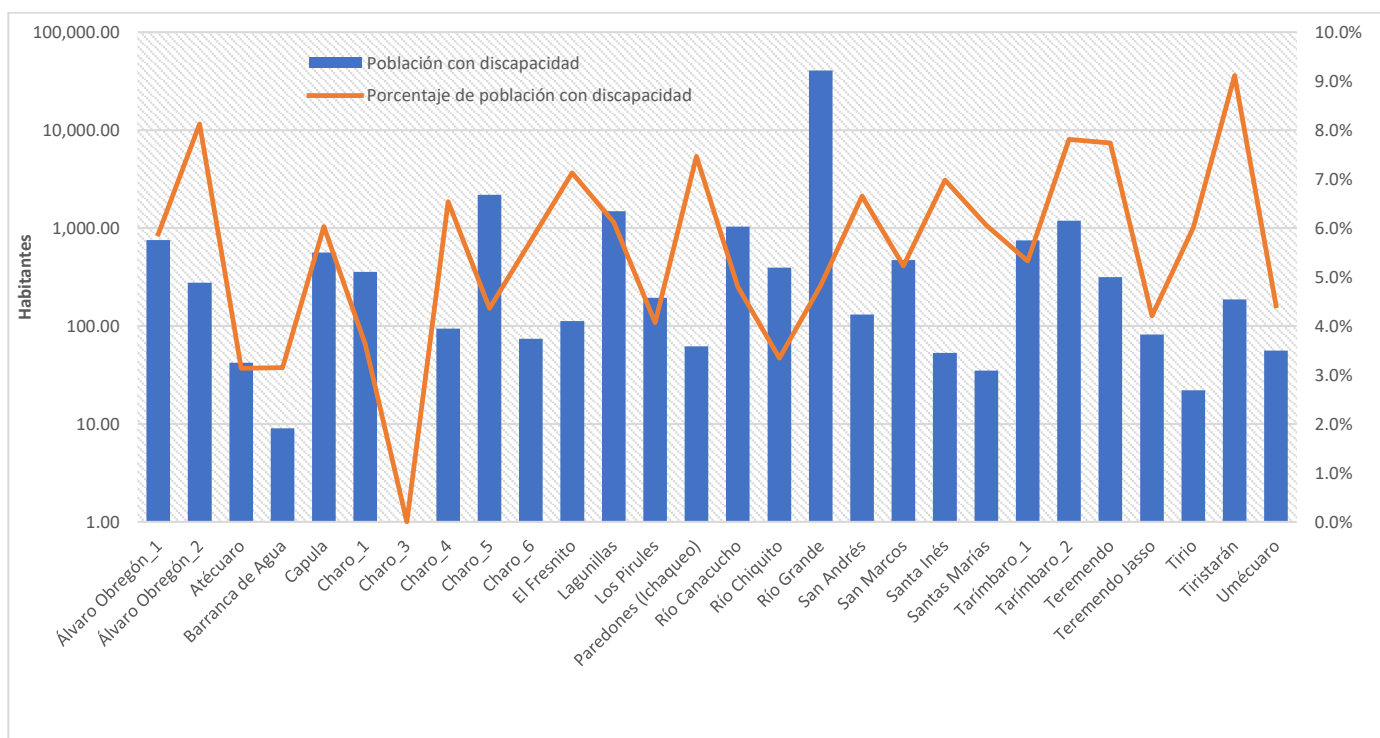
Población Económicamente Activa

La población económicamente activa asciende a 536,083 habitantes, de la cual el 56.1% es de género masculino y 43.9% es de género femenino. El municipio de Morelia concentra el 74.0% de la población total económicamente activa, siendo 300,739 hombres y 235,344 mujeres (ver **Figura 2.8**).

Identidades y tradiciones culturales de Morelia

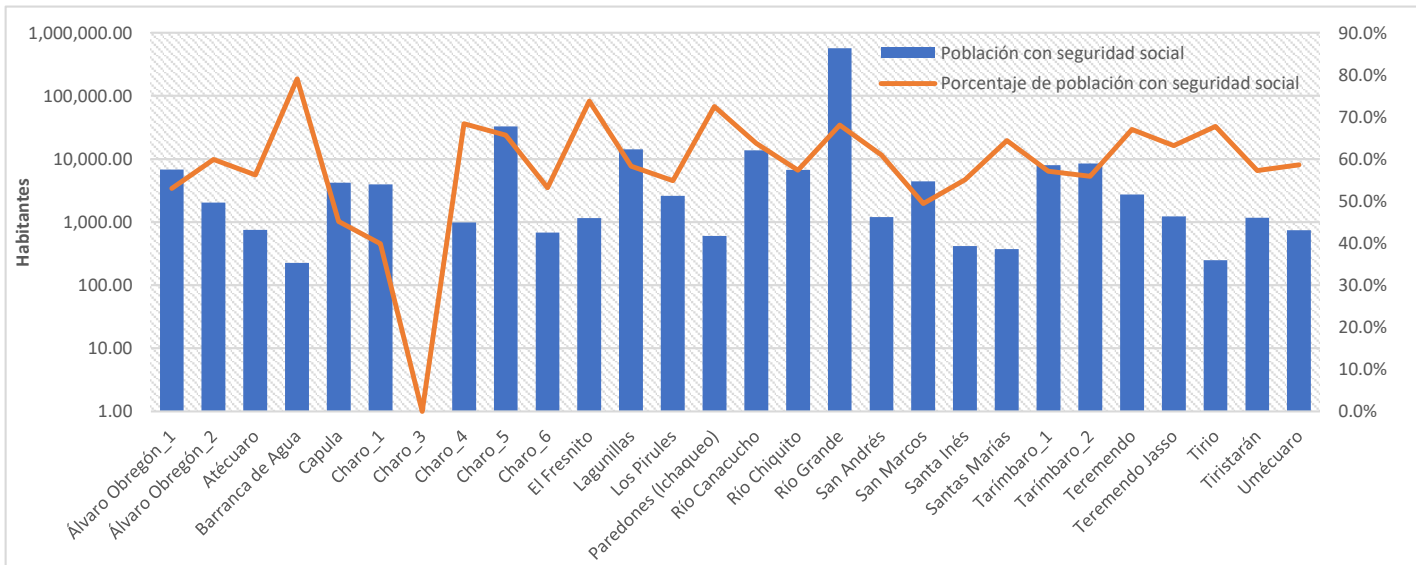
El Centro Histórico es el símbolo identitario de la ciudad de Morelia, es considerado como una auténtica joya histórica y patrimonial y además de la riqueza patrimonial que esto significa, cumple una función muy importante como centro urbano para la población municipal, debido a la gran cantidad de componentes que concentra. La Secretaría de Educación en el Estado tuvo registrado en diciembre de 2014 un total de 77 instalaciones que dan servicio a la población; la gran parte de ellos se encuentran al interior de la cabecera municipal (96%), existiendo fuera únicamente dos centros culturales en las tenencias de Tacícuaro, Santa María de Guido y un museo en Tiripetío. En los últimos veinte años ha disminuido la población que ocupa la zona del Centro Histórico y el daño. Por otra parte, el deterioro y daño patrimonial se encuentra asociado al cambio del uso del suelo habitacional-servicios, comercio y mixto.

Figura 2.4. Población con discapacidad



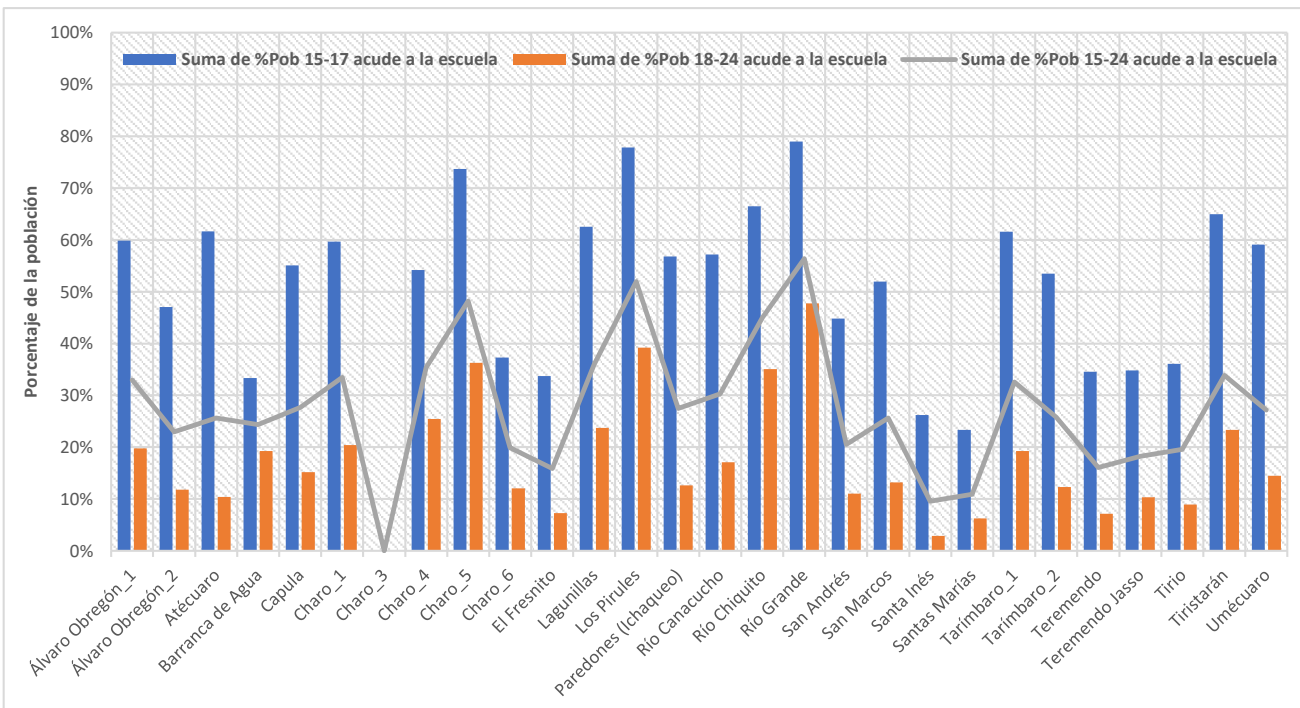
Fuente: Elaboración propia con base en INEGI, 2020 [5]

Figura 2.5. Población con Seguridad Social



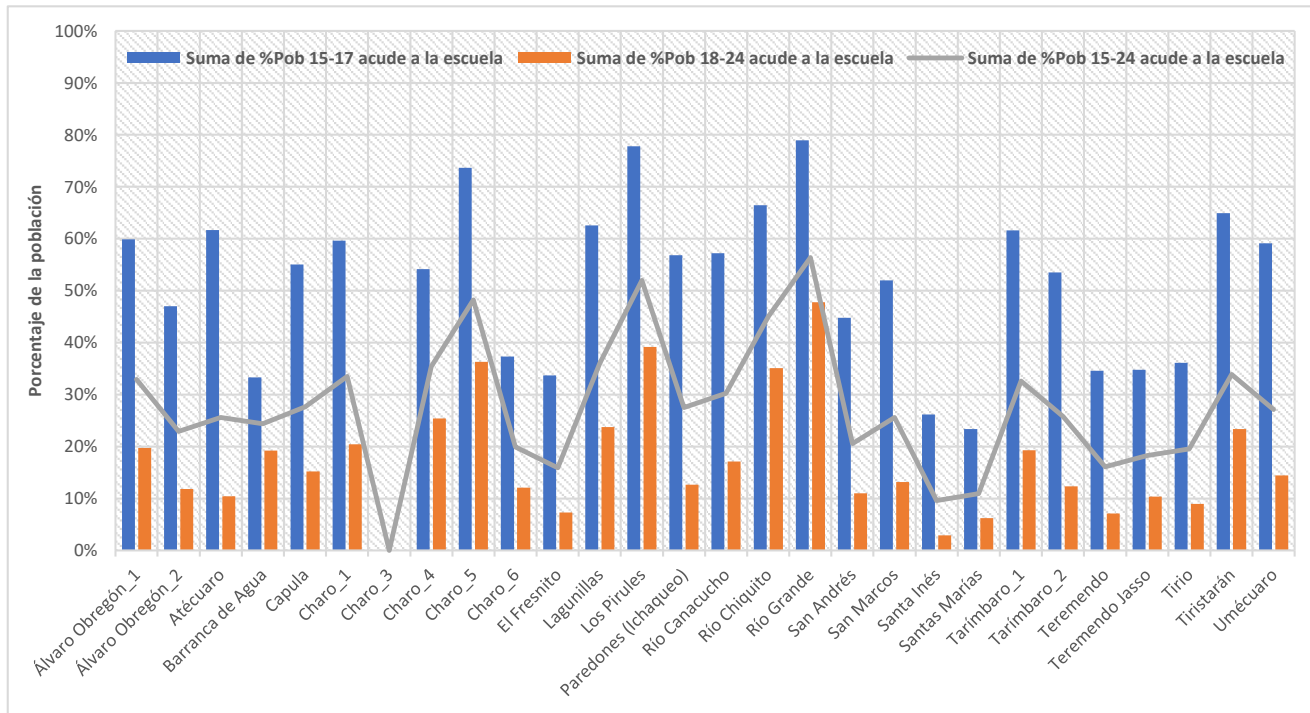
Fuente: Elaboración propia con base en INEGI, 2020 [5]

Figura 2.6. Escolaridad



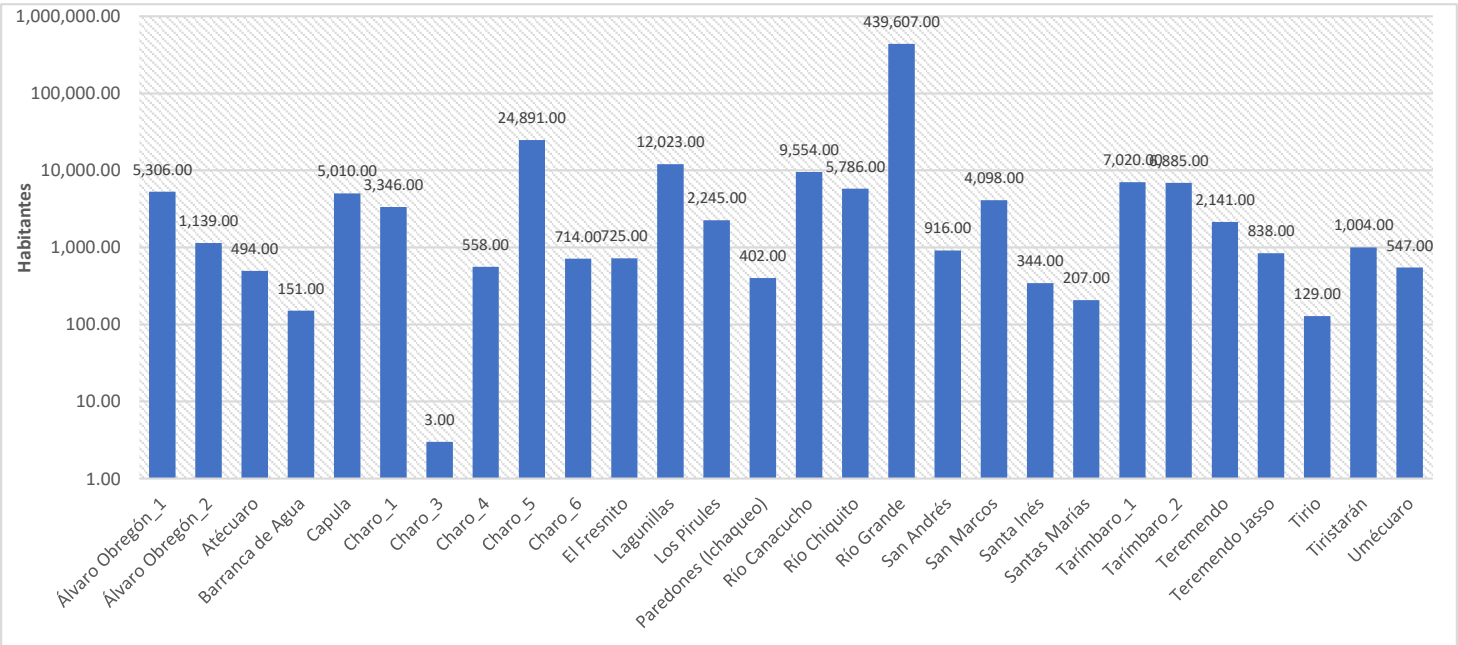
Fuente: Elaboración propia con base en INEGI, 2020 [5]

Figura 2.7. Rezago Social



Fuente: Elaboración propia con base en CONEVAL, 2020 [2]

Figura 2.8. Población Económicamente Activa (Escala Logarítmica)



Fuente: Elaboración propia con base en INEGI, 2020 [5]

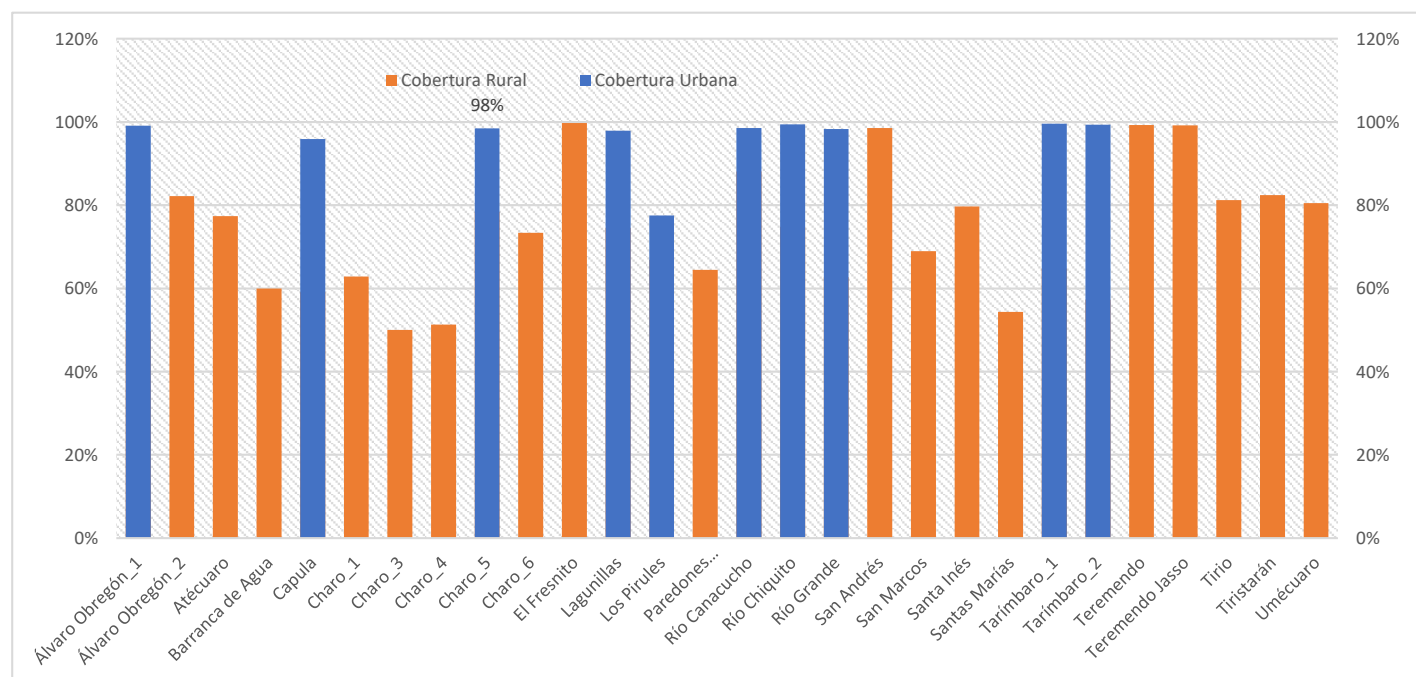
► 2.4 Características asociadas con la vivienda

Agua Potable

De acuerdo con el censo poblacional 2020 del INEGI, en todo el territorio se localizan 297,623 viviendas habitadas, con un promedio de 3.5 ocupantes por vivienda. Las viviendas en localidades urbanas (256,669) cuentan con una cobertura promedio de agua potable del 97.4%, mientras que aquellas en localidades rurales (40,954 viviendas), solamente tienen un promedio del 70.4%.

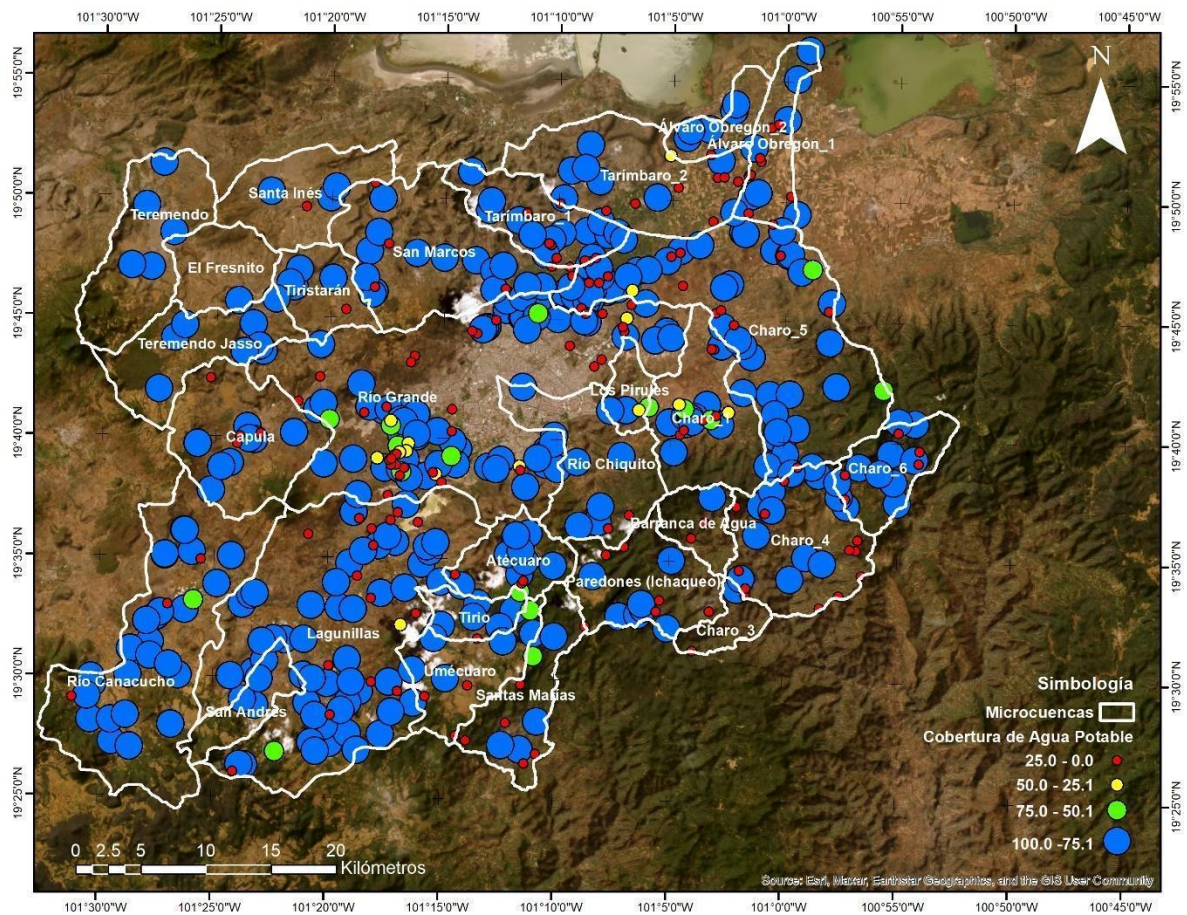
Con respecto a las Microcuencas, la microcuenca Álvaro Obregón_1 cuenta con el mayor rezago de cobertura de agua potable en el ámbito urbano con un promedio de 49.7%, mientras que, en el ámbito rural, la microcuenca Charo_3 cuenta el 50%, de cobertura promedio. En la parte alta de la microcuenca río Grande, se encuentran varias localidades que cuentan con una cobertura menor al 80% (ver **Figura 2.9** y **Figura 2.10**)

Figura 2.9. Cobertura de Agua Potable a nivel de Microcuenca



Fuente: Elaboración propia con base en INEGI, 2020 [5]

Figura 2.10. Distribución de Cobertura de Agua Potable a nivel de Microcuenca

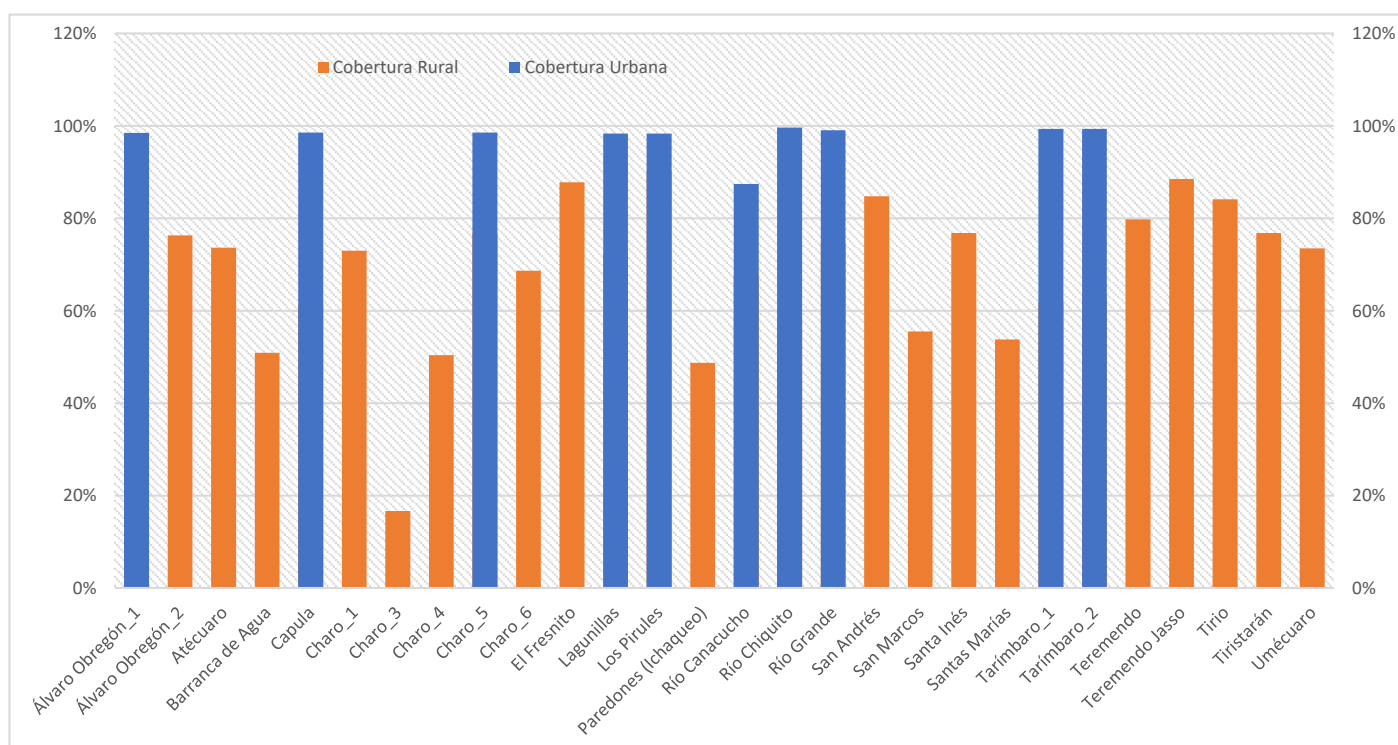


Fuente: Elaboración propia con base en INEGI, 2020 [5]

Alcantarillado

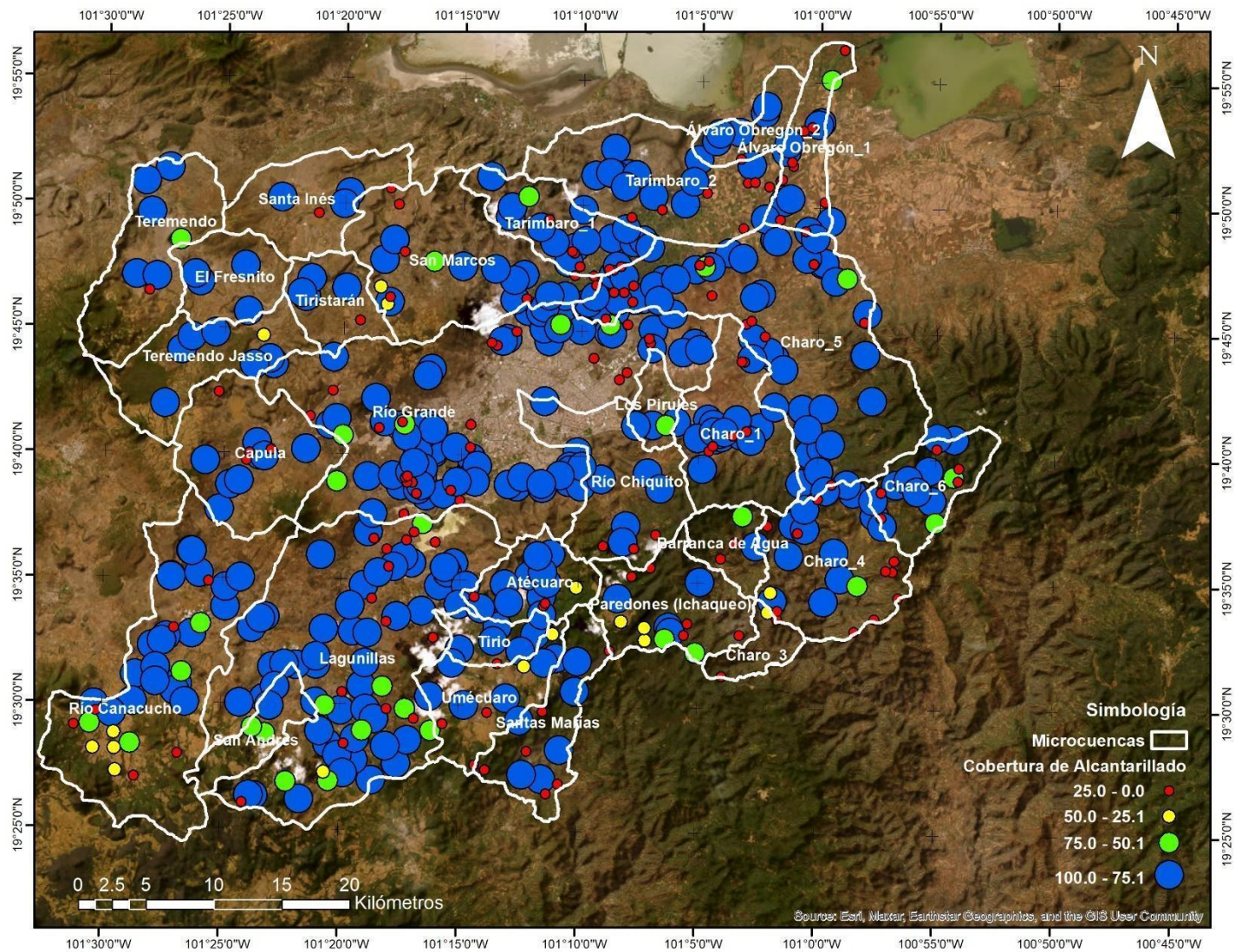
La cobertura de alcantarillado en promedio es de 94.3% para las localidades urbanas y de 68.7% en las localidades rurales. A nivel de microcuenca, se puede observar que Charo_3 es la que cuenta con la menor cobertura con 16.7% en el ámbito rural; mientras que en el ámbito urbano la microcuenca con la menor cobertura de alcantarillado es la del Río Canacucho con el 87.5%. (ver **Figura 2.11** y **Figura 2.12**.)

Figura 2.11. Cobertura de Alcantarillado a nivel de Microcuenca



Fuente: Elaboración propia con base en INEGI, 2020 [5]

Figura 2.12. Distribución de Cobertura de Alcantarillado a nivel de Microcuenca



Fuente: Elaboración propia con base en INEGI, 2021 [5]

Referencias

- [1] **CONAGUA, 2019.** Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento (MAPAS). Datos Básicos para Proyectos de Agua Potable y Alcantarillado (Libro 4). <https://files.conagua.gob.mx/conagua/mapas/SGAPDS-1-15-Libro4.pdf>
- [2] **CONEVAL, 2020.** Índice de marginación y rezago social por entidad federativa y municipio.
- [3] **CONAPO, 2020.** Bases de datos de la Conciliación Demográfica 1950 a 2019 y Proyecciones de la población de México 2020 a 2070.
- [4] **IMPLAN, 2022.** Programa Municipal de Desarrollo Urbano de Morelia 2022-2041.
- [5] **INEGI, 2020.** Principales resultados por localidad (ITER) del Censo de Población y Vivienda 2020. Datos oportunos. INEGI. Censo de Población y Vivienda 2020. SNIEG. Información de Interés Nacional. Conjunto de indicadores de población y vivienda a nivel localidad de todo el país, provenientes del Censo de Población y Vivienda 2020.
- [6] **INEGI 2021.** Marco Geoestadístico, Censo de Población y Vivienda 2020 Integrado. Instituto Nacional de Estadística y Geografía – INEGI

3. Sistema hidrometeorológico y climático



► 3.1 Hidrografía e infraestructura hidráulica

Red hidrográfica

La ZdE se encuentra localizada, casi en su totalidad (87%), dentro de la región hidrológica Lerma-Santiago (RH12). Veintidós, de las 28 microcuencas en la ZdE, corresponden a dicha región; las seis microcuencas restantes, ubicadas en el sureste de la ZdE, pertenecen a la región hidrológica de Balsas (RH18) (ver **Tabla 3.1**).

En términos de cuencas hidrológicas, la ZdE comprende parcialmente a cuatro (4): Lago de Cuitzeo, cuenca endorreica que ocupa la mayor extensión dentro de la ZdE, esto es el 79%, y que en conjunto con la cuenca del río Angulo (afluente del río Lerma) se ubican dentro de la RH12; complementariamente, las cuencas del río Cutzamala y del río Tacámbaro (ambas tributarias del río Balsas y por tanto dentro de la RH18) ocupan el 11% y 2% de la ZdE, respectivamente (ver **Tabla 3.1**).

Las cuencas comprendidas en la ZdE se encuentran sujetas a las disposiciones de dos decretos que las establecen como zona de veda para fines de su conservación y del restablecimiento del equilibrio hidrológico de las mismas, quedando así de manifiesto que se ha agotado la posibilidad de disponer de nuevos volúmenes de aguas superficiales, y haciendo indispensable una mejor distribución del volumen existente, sin comprometer su estabilidad [9][10].

La hidrología superficial de la ZdE se caracteriza por el predominio de corrientes efímeras, intermitentes como el río Chiquito, Santa Inés, Los Huiramos, El Tecolote, Los Pirules, San José, El Guayabito, Loma Larga, La Higuera, Jaripeo, La Joya, La Tinaja y San Andrés; y la presencia de algunas corrientes permanentes, entre las que sobresalen el río Grande de Morelia, Tupátaro, El Tejocote y Los Sauces. Además, hay zonas de mayor infiltración y recarga como las del poniente de Capula y Cuto de la Esperanza. También cuenta con cuerpos de agua perennes como El Padre, Amando, la Loma Caliente, Cointzio, El Bañito, La Mintzita, Los Venares y Umécuaro, y uno intermitente, que es el Llano de Rosas. La mayoría de estos cauces y cuerpos de agua se han visto afectados por diversas actividades humanas y presentan niveles bajos de calidad, principalmente los más cercanos a la zona urbana.

Tabla 3.1. Características de las regiones y las cuencas hidrológicas dentro de la zona de estudio

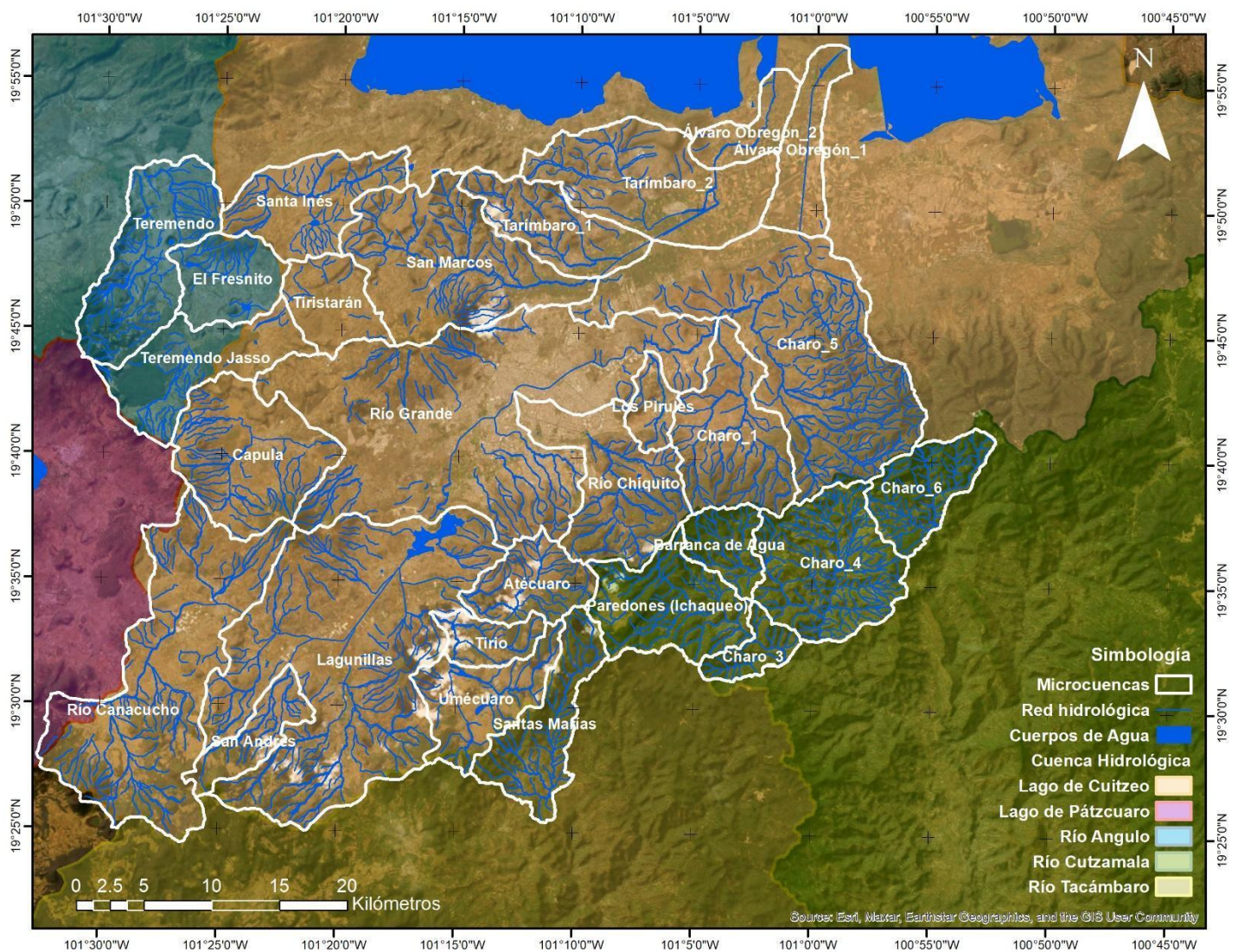
REGIÓN HIDROLÓGICA	EXTENSIÓN TERRITORIAL [km²]	PRECIPITACIÓN NORMAL ANUAL [mm]	ESCURRIMIENTO NATURAL [hm³/año]		CUENCAS HIDROLÓGICAS [No.]
Lerma Santiago (rh12)	132,916	717	13,240		58
Balsas (rh18)	118,268	947	18,575		15
Zona de Estudio	2,521	886	345		4

REGIÓN HIDROLÓGICA	EXTENSIÓN DENTRO DE LA ZdE [km²]	CUENCA HIDROLÓGICA	EXTENSIÓN TOTAL [km²]	EXTENSIÓN DENTRO DE LA ZdE [km²]		MICROCUENCAS [No.]
Lerma Santiago (rh12)	2,195	Lago de Cuitzeo	3,848	1,988	79%	19
		Angulo	2,069	207	8%	3
Balsas (rh18)	326	Cutzamala	10,643	266	11%	5
		Tacámbaro	5,494	60	2%	1
				2,521		28

Fuente: Elaboración propia con base en CONAGUA, 2023 [4]

Destaca entre estos el río Grande de Morelia, dada su importancia no sólo al ser el escurrimiento principal de la cuenca del Lago de Cuitzeo sino, sobre todo, en términos de su relevancia para el sistema de abastecimiento de agua potable y de agua para riego en la ZdE. Nace en el extremo suroeste de la cuenca, es de régimen perenne, y recorre una distancia aproximada de 90 km en dirección noreste; el 59 % de su longitud se encuentra acanalado, y durante su avance desde los municipios Huiramba, Lagunillas y Morelia, recibe aportaciones de corrientes de agua intermitentes hasta llegar a la presa Cointzio, donde continúa su trayectoria por la porción norte para recibir aportaciones por margen izquierdo de las aguas del manantial La Mintzita y así continuar su cauce a través de la ciudad de Morelia, para posteriormente verter sus aguas en el canal Joconol que desemboca al sur del lago de Cuitzeo [14].

Figura 3.1. Red hidrográfica



Presas

De acuerdo con el Sistema de Seguridad de Presas de la Conagua, en la ZdE se registran un total de 20 presas para un volumen total ordinario de 73.3 hm³ anuales.

Destaca la presa Cointzio, dada su relevancia en términos del sistema de abastecimiento tanto de agua potable como de agua para riego agrícola. Se localiza sobre el cauce del río Grande a la salida de la microcuenca Lagunillas con una capacidad de 68.52 hm³/año³.

Tabla 3.3. Presas en la Zona de Estudio

PRESA	MUNICIPIO	CUENCA	MICROCUENCA	CORRIENTE	Vol NAMO (hm ³)
Der Joconoles	Álvaro Obregón	Lago de Cuitzeo	Charo_5	Rio Grande	0.000
Der Zacapendo	Álvaro Obregón	Lago de Cuitzeo	Charo_5	Rio Grande	0.000
Der Corrales	Charo	Lago de Cuitzeo	Rio Grande	Rio Grande	0.000
Llano las Rosas	Chucándiro	Lago de Cuitzeo	Santa Inés	A. las Rosas	0.600
Instituto Valladolid	Morelia	Lago de Cuitzeo	Rio Chiquito	Escurremientos	0.001
San José de las Torres	Morelia	Lago de Cuitzeo	Rio Chiquito	Escurremientos	0.100
Barranca Seca I	Morelia	Lago de Cuitzeo	Rio Grande	A S/N	0.122
Barranca Seca II	Morelia	Lago de Cuitzeo	Rio Grande	Escurremientos	0.010
Santa María	Morelia	Lago de Cuitzeo	Rio Grande	S/N	0.040
La Mintzita	Morelia	Lago de Cuitzeo	Rio Grande	M. La Mintzita	0.800
Der El Salto	Morelia	Lago de Cuitzeo	Rio Grande	Rio Grande	0.000
Der La Goleta	Morelia	Lago de Cuitzeo	Rio Grande	Rio Grande	0.000
Los Reyes (Deshabilitada)	Morelia	Lago de Cuitzeo	Rio Grande	A. La Mora	0.075
Cointzio	Morelia	Lago de Cuitzeo	Lagunillas ⁴	Rio Grande	68.520
Loma Caliente	Morelia	Lago de Cuitzeo	Umécuaro	A. Pitaya y Zarza	1.380
Umécuaro	Morelia	Lago de Cuitzeo	Umécuaro ⁵	rio Grande	0.800
Amando	Morelia	Río Angulo	El Fresnito	A. Los Capullnés o Bca Honda	0.200
El Fresnito	Morelia	Río Angulo	El Fresnito	A. Las Canalejas	0.050
De Jaripo	Morelia	Río Angulo	Teremendo	A S/N	0.100
La Toluquilla	Tarímbaro	Lago de Cuitzeo	Tarímbaro2	A. Las Cuevas y Sta. Cruz	0.460
TOTAL					73.258

Fuente: Elaboración Propia, con base en información del Sistema de Seguridad de Presas de la Conagua, 2024 [6]

³ De acuerdo con información proporcionada por la Dirección Local de la Conagua, el almacenamiento al 28 de junio de 2024 se encuentra solamente al 18.6% de su capacidad al NAMO (Nivel de Aguas Máximas Ordinarias).

⁴ Se localiza en el límite entre la microcuenca de Lagunillas y la de Río Grande.

⁵ Se localiza en el límite entre la microcuenca de Umécuaro y la de Tiro.

3.2 Hidrogeología, censos y aprovechamientos

Acuíferos

Dentro de la ZdE subyacen 5 formaciones acuíferas, a saber: Zacapu, Huetamo, Tacámbaro-Turicato, Lagunillas-Pátzcuaro y Morelia-Queréndaro y es en este último donde se asientan la mayor parte de las microcuencas (20 de 28 – 75.54% de la superficie total de la ZdE) (ver **Tabla 3.4** y **Figura 3.2**).

Este acuífero (Morelia-Queréndaro), pertenece al Organismo de Cuenca VIII Lerma-Santiago-Pacífico, y es jurisdicción territorial de la Dirección Local Michoacán; en relación con su disponibilidad se encuentra totalmente vedado y sujeto a las disposiciones de cuatro decretos⁶.

Los valores de profundidad al nivel estático varían de 10 a 200 m, valores menores de 10 m se registran en el valle de Álvaro Obregón y Huandacareo; en tanto que los valores mayores, entre 160 y 200 m, se registran entre las localidades de Mil Cumbres, Peña Blanca, Fraccionamiento Coto del Ángel y Valle de las Flores. En la zona aledaña al Lago de Cuitzeo las profundidades varían entre 10 y 25 m. Profundidades del orden de los 50-160 m se presentan en la ciudad de Morelia. [7]

El uso principal del agua es agrícola (53.69%), el segundo lugar lo ocupa el público urbano (40.21%) y en menor medida los demás usos (6.1%); para este análisis se utilizaron los pozos activos. La extracción de agua subterránea de acuerdo con la estimación del censo es de 162.2 hm³/año. El volumen de agua estimado en el censo por salida de manantiales es de 60.3 hm³/año. [7]

Tabla 3.4. Acuíferos en la Zona de Estudio

ACUÍFERO	DISPONIBILIDAD MEDIA ANUAL	SUPERFICIE		MICROCUENCAS ABARCADAS	PORCENTAJE DE LA ZdE ABARCADA
		TOTAL	DENTRO DE ZdE		
	[hm ³ /año]	[km ²]	[km ²]	[No.]	[%]
Morelia - Queréndaro	-39.90	3,509.81	1,904.38	20	75.54%
Huetamo	2.06	5,881.97	266.08	5	10.55%
Lagunillas - Pátzcuaro	-2.47	1,149.46	201.61	1	8.00%
Tacámbaro - Turicato	27.55	5,456.23	59.96	1	2.38%
Zacapu	26.82	1,228.05	89.13	1	3.54%
TOTAL			2,521.16		

Fuente: Elaboración propia, con base en información de INEGI, 2019 [15] y DOF, 2023 [11]

⁶ Al oriente por el “Decreto que establece veda por tiempo indefinido para el alumbramiento de aguas del subsuelo de los terrenos que ocupa y circunda la Laguna de Los Azufres, en el Estado de Michoacán”, publicado en el Diario Oficial de la Federación (DOF) el 13 de febrero de 1956.

El centro del acuífero por el “Decreto que establece veda por tiempo indefinido para el alumbramiento de aguas del subsuelo en la zona que comprende los municipios de Morelia y Charo, Mich.”, publicado en el DOF el 10 de febrero de 1964.

Al suroeste por el “Decreto por el que se declara de interés público la conservación de los mantos acuíferos en la zona del Bajo Balsas, estableciéndose veda por tiempo indefinido para la extracción, alumbramiento y aprovechamiento de aguas del subsuelo en dicha zona”, publicado en el DOF el 27 de junio de 1975.

El resto del acuífero por el “Decreto por el que se declara de interés público la conservación de mantos acuíferos y aprovechamiento de las aguas del subsuelo en todos los municipios del estado de Michoacán”, publicado en 20 de octubre de 1987.

Tres decretos se clasifican como tipo III que permiten extracciones limitadas para usos domésticos, industriales, de riego y otros y uno (Zona del Bajo Balsas) como tipo II que sólo permite extracciones para usos domésticos.

This map illustrates the study area, highlighting the boundaries of various microcuenas (small watersheds) and acuíferos (aquifers). The microcuenas are labeled with names such as Morelia-Queréndaro, Alvaro Obregón_1, Alvaro Obregón_2, Tarimbaro_1, Tarimbaro_2, Santa Inés, San Marcos, El Fresno, Tiristaran, Teremendo, Teremendo Jasso, Capula, Rio Grande, Los Pirules, Charo_1, Charo_5, Charo_6, Charo_4, Charo_3, Batranca de agua, Paredones (Ichaqueo), Huetamo, Atecuaro, Tírio, Umequaro, San Andrés, Rio Canacucho, Lagunillas, and Tacámbaro-Turicato. The acuíferos are color-coded: Acuífero Zacapu (green), Acuífero Lagunillas-Pátzcuaro (purple), Acuífero Morelia-Queréndaro (red), Acuífero Tacámbaro-Turicato (yellow), and Acuífero Huétamo (blue). A legend in the bottom right corner provides the key for these colors and the white line representing microcuenas. A north arrow is located in the top right corner.

Elaboración propia, con base en información del SINA de Conagua [8]

► 3.3 Clima y fenómenos hidrometeorológicos

Clima

De acuerdo con la clasificación modificada del clima de Enriqueta García (1973)⁷ en la ZdE existe un clima Templado con tres subgrupos: subhúmedo, semicálido y semifrío.

En el 81% de la ZdE predominan los climas templados subhúmedos con variaciones en la humedad alrededor de las localidades Morelia, Capula y Acuitzio del Canje.

En la parte alta de la ZdE, cercana al Lago de Cuitzeo, en las inmediaciones de Jamaica, Cuparátaro y Atapaneo predomina el clima semicálido subhúmedo de los templados, menos húmedo, con lluvias en verano e invernales menores al 5%.

Finalmente, hacia el sur de la ZdE sobre los cerros Zacatonal y Providencia se presenta un clima semifrío subhúmedo, más húmedo con lluvias en verano y 5% de lluvia invernal.

Tabla 3.5. Distribución porcentual del clima

DESCRIPCIÓN			FÓRMULA	SUPERFICIE	
GRUPO C (Templado)					
(C)	Templado				
		Subhúmedo, más húmedo, porcentaje de lluvia invernal < 5	$C(w_2)(w)$	34.8 %	876.49 km ²
		Subhúmedo, humedad media, porcentaje de lluvia invernal < 5	$C(w_1)(w)$	48.5 %	1,223.00 km ²
		Subhúmedo, menos húmedo, porcentaje de lluvia invernal < 5	$C(w_0)(w)$	10.2 %	256.66 km ²
(A)	Semicálido				
C		Subhúmedo, más húmedo, porcentaje de lluvia invernal < 5	$(A)C(w_2)(w)$	0.7 %	17.89 km ²
		Subhúmedo, humedad media, porcentaje de lluvia invernal < 5	$(A)C(w_1)(w)$	5.6 %	141.34 km ²
(E)	Semifrío				
		Subhúmedo, más húmedo, porcentaje de lluvia invernal < 5	$C(E)(w_2)(w)$	0.2%	5.76 km ²

Fuente: Elaboración propia con base en información del INEGI (Mapa Ráster de Climas) [15].

Templado subhúmedo

Este se divide a su vez en tres tipos con características semejantes como: régimen de lluvias en verano, lluvia invernal menor a 5%, temperatura media anual de 12 a 18 °C, la del mes más frío entre -3 y 18 °C y la del mes más cálido menor a 22 °C; pero con grados de humedad distintos; esto es:

- El templado subhúmedo de los más húmedos $C(w_2)(w)$ se localiza en altitudes de 1,990 a 3,000 msnm, ubicado en la meseta Tarasca donde predominan los bosques de pino-encino, así como en la sierra Mil Cumbres con bosques de pino como vegetación dominante.
- El templado subhúmedo con humedad media $C(w_1)(w)$ se localiza en altitudes de 1,880 a 2,300 msnm cuya vegetación característica es la selva baja caducifolia y la agricultura de temporal.

⁷ En 1936 Wladimir Köppen clasificó los climas en 5 tipos basándose en la cantidad de precipitación y en la temperatura. En 1973 Enriqueta García modificó esta clasificación incorporando parámetros organizados en grupos, tipos y subtipos para diferenciar los climas en México.

- El templado subhúmedo menos húmedo $C(w_0)$ (w) se ubica en altitudes menores a los 1,880 msnm dentro del bajo Michoacano y para el que predomina la agricultura de humedad.

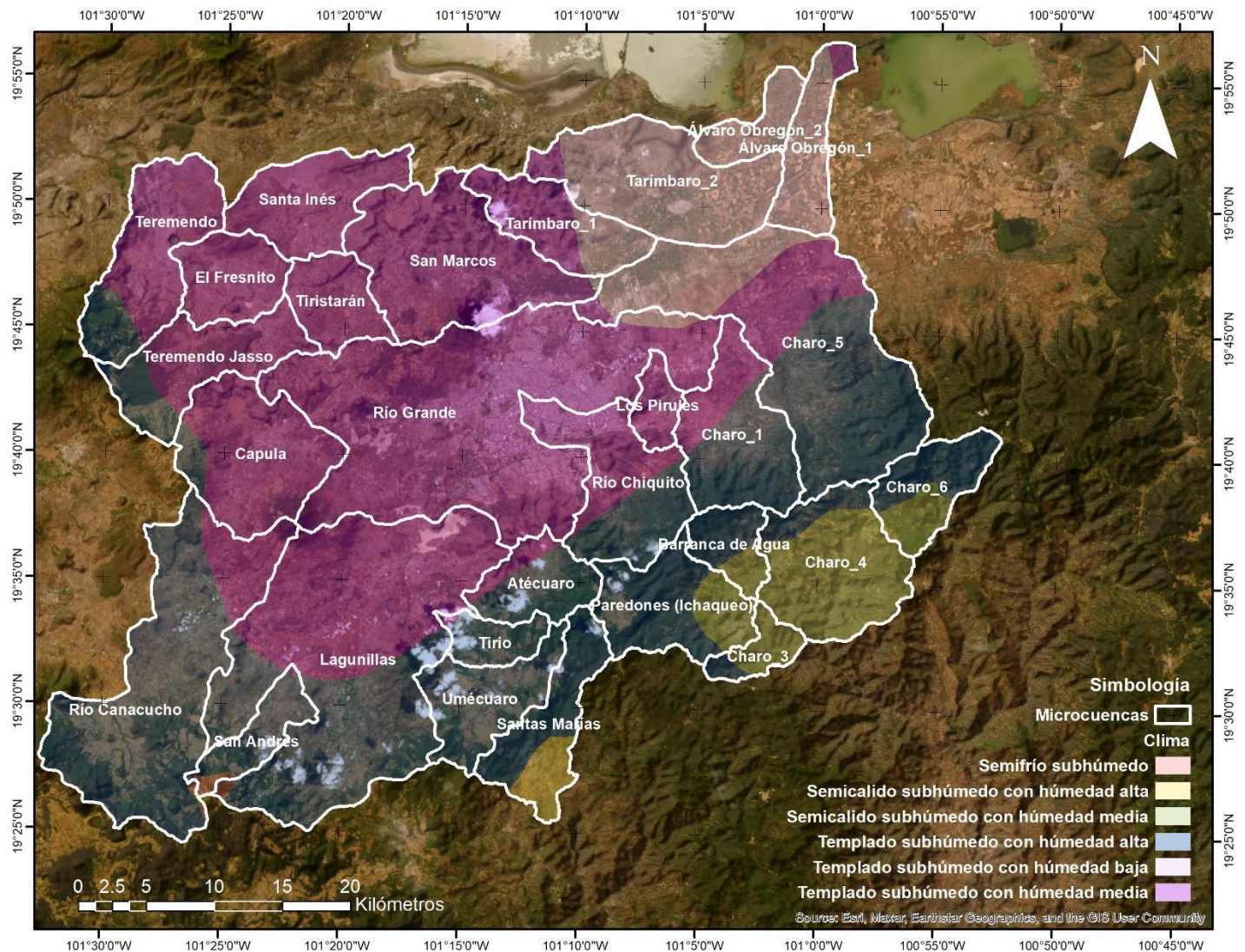
Templado semicálido

El templado semicálido $(A)C(w_0)$ (w) pertenece al menos húmedo de los templados subhúmedos y tiene un régimen de lluvias en verano y lluvia invernal menor a 5%. Su temperatura media anual es mayor a 18 °C, la del mes más frío es menor a 18 °C y la del mes más cálido mayor a 22 °C. Comprende la rivera del Lago de Cuitzeo y su vegetación característica es hidrófila-halófila.

Templado semifrío

El clima templado semifrío $C(E)(w_2)(w)$ tiene un régimen de lluvias en verano y lluvia invernal menor del 5%. Pertenece al tipo de climas más húmedos de los semifríos húmedos y registra una temperatura media anual entre los 5 y los 12 °C. Su temperatura del mes más frío varía entre -3 y 18 °C y la del mes más caluroso es menor a 18 °C. Se localiza en elevaciones entre 2,900 y 3,400 msnm, tales como las cimas de los cerros El Burro y La Nieve.

Figura 3.3. Climas



Fuente: Elaboración propia, con base en INEGI, ráster de climas [15]

Estaciones climatológicas

De acuerdo con el Sistema de Información Hidrológica (SIH) de la Conagua, un total de 39 estaciones climatológicas se localizan dentro de la Zde (16) y en sus alrededores (23). A nivel de cuenca, el 62% de las estaciones pertenecen al Lago de Cuitzeo y el resto se reparten entre las cuencas de los ríos Tacámbaro, Angulo y Cutzamala, así como en la del Lago de Pátzcuaro.

Las estaciones San Diego Curapatzeo (C16109) y Tacámbaro (C16123) son las más antiguas, ambas iniciaron operaciones en 1922; la primera aún está operando, y la segunda dejó de operar en marzo de 2023. La estación más reciente, El Colegio (C16512), en el municipio de Tarímbaro, inició operaciones en 1986, sin embargo, y a pesar de que se reporta como “operando”, sus últimos registros son octubre de 2021.

Llama la atención el elevado porcentaje de estaciones que se actualmente se encuentran suspendidas (46%), sobre todo si se considera que cuentan con registros históricos que datan del siglo pasado y con periodos que promedian los 40 años⁸. La rehabilitación de estas estaciones es de suma importancia no sólo en términos de contar con más información hacia el futuro, que permita monitorear de mejor forma el comportamiento de las variables meteorológicas que influyen en el ciclo hidrológico (y por tanto en el balance de agua de la ZdE), sino por el gran registro histórico que es el referente para las evaluaciones de cambio climático a largo plazo.

Tabla 3.6. Estaciones climatológicas

ESTACIÓN	CLAVE	MUNICIPIO	CUENCA	COORDENADAS		ALTITUD (m.s.n.m.)	SITUACIÓN
				LATITUD	LONGITUD		
Acuitzio del Canje	C16001	Acuitzio	Lago de Cuitzeo	19.498889	-101.344722	2,200	Suspendida
Álvaro Obregón (SMN)	C16004	Álvaro Obregón	Lago de Cuitzeo	19.816667	-101.033333	590	Suspendida
Álvaro Obregón (DGE)	C16091	Álvaro Obregón	Lago de Cuitzeo	19.823333	-101.038333	1,840	Operando
Bartolinas (CFE)	C16010	Tacámbaro	Río Tacámbaro	19.200000	-101.433333	1,400	Suspendida
Capula	C16247	Morelia	Lago de Cuitzeo	19.675000	-101.391667	2,097	Suspendida
Carrillo Puerto	C16016	Álvaro Obregón	Lago de Cuitzeo	19.897222	-101.038056	1,840	Operando
Cointzio	C16022	Morelia	Lago de Cuitzeo	19.625000	-101.281111	2,096	Operando
Copándaro de Galeana	C16023	Copándaro	Lago de Cuitzeo	19.892222	-101.213611	1,840	Suspendida
Cuitzeo	C16027	Copándaro	Lago de Cuitzeo	19.956111	-101.138056	1,831	Operando
Cuitzillo Grande	C16028	Morelia	Lago de Cuitzeo	19.766667	-101.119444	1,987	Suspendida
El Colegio	C16512	Tarímbaro	Lago de Cuitzeo	19.772500	-101.178056	1,880	Operando
El Devanador	C16232	Tzitzio	Río Cutzamala	19.384167	-100.824722	1,060	Suspendida
El Jacal (SMN)	C16034	Chucándiro	Lago de Cuitzeo	19.886667	-101.335556	1,875	Suspendida
El Jacal (DGE)	C16513	Chucándiro	Lago de Cuitzeo	19.886111	-101.336111	1,874	Suspendida
El Temazcal	C16045	Charo	Río Cutzamala	19.650556	-100.955000	2,220	Operando
Etúcuaro	C16049	Madero	Río Tacámbaro	19.383333	-101.216667	1,690	Suspendida
Huaniqueo	C16050	Huaniqueo	Río Angulo	19.899167	-101.504722	2,040	Operando
Jesús del Monte	C16055	Morelia	Lago de Cuitzeo	19.651667	-101.151389	2,180	Operando
Las Cruces Barreras	C16231	Chucándiro	Lago de Cuitzeo	19.938889	-101.383333	2,408	Operando
Morelia (OBS)	C16080	Morelia	Lago de Cuitzeo	19.700000	-101.183333	1,913	Operando
Morelia	C16081	Morelia	Lago de Cuitzeo	19.688611	-101.176111	1,908	Operando
Pátzcuaro	C16087	Pátzcuaro	Lago de Pátzcuaro	19.516389	-101.609722	2,140	Operando
Presa Malpaís	C16096	Queréndaro	Lago de Cuitzeo	19.826389	-100.878889	1,859	Operando
Puente San Isidro	C16100	Huaniqueo	Río Angulo	19.865833	-101.518889	2,022	Suspendida
Quirio	C16105	Indaparapeo	Lago de Cuitzeo	19.797500	-100.995000	1,858	Operando
San Diego Curapatzeo	C16109	Madero	Río Tacámbaro	19.333333	-101.183333	1,444	Operando
San Miguel del Monte	C16114	Morelia	Lago de Cuitzeo	19.620278	-101.134167	1,965	Operando
San Sebastián	C16116	Queréndaro	Lago de Cuitzeo	19.840278	-100.941667	1,836	Suspendida
Santa Fe	C16118	Quiroga	Lago de Pátzcuaro	19.673056	-101.556111	2,203	Operando
Santa Rita	C16119	Copándaro	Lago de Cuitzeo	19.903889	-101.261111	1,880	Operando
Santiago Undameo	C16120	Morelia	Lago de Cuitzeo	19.602778	-101.320000	2,130	Suspendida
Tacámbaro	C16123	Tacámbaro	Río Tacámbaro	19.235556	-101.456944	1,640	Suspendida
Tafetán	C16241	Tzitzio	Río Cutzamala	19.423889	-100.907222	913	Operando
Teremendo	C16254	Morelia	Río Angulo	19.783333	-101.477778	2,188	Operando
Tzitzio	C16136	Tzitzio	Río Cutzamala	19.582500	-100.923889	1,565	Operando
Villa Madero	C16139	Madero	Río Tacámbaro	19.400000	-101.266667	2,097	Suspendida
Villa Madero (CFE)	C16140	Madero	Río Tacámbaro	19.390000	-101.277500	2,182	Suspendida

⁸ Entre los años 20's y 50's se pusieron en operación seis (6) estaciones, que se complementaron con nueve (9) adicionales en la década de los 60's y en la década de los 80's con las tres (3) más recientes.

ESTACIÓN	CLAVE	MUNICIPIO	CUENCA	COORDENADAS		ALTITUD (m.s.n.m.)	SITUACIÓN
				LATITUD	LONGITUD		
Iramuco	C11027	Acámbaro	Lago de Cuitzeo	19.983333	-100.916667	1,840	Suspendida
El Refugio	C11114	Salvatierra	Lago de Cuitzeo	20.035556	-100.936944	2,040	Suspendida

Fuente: Elaboración propia, con base en la información del Sistema de información Hidrológica de la Conagua [5]

Precipitación y temperatura

Serie 1951-2010

De acuerdo con la información del Servicio Meteorológico Nacional (SMN) de la Conagua para el periodo 1951 a 2010, la precipitación anual promedio es de 889.6 mm. Al Este y sureste de la ZdE se presenta la máxima precipitación, con una media anual de 1,410 mm; en tanto que la más baja se registra en la localidad Álvaro Obregón, al Noreste (NE), con una media de 632.1 mm. En relación con la cuenca específica del Lago de Cuitzeo, la precipitación promedio anual es de 780 mm, con un máximo de 1,008 mm registrado en el Sursureste (SSE) de la Ciudad de Morelia, en la microcuenca del río Chiquito, y con un mínimo de 632.1 mm que se presenta en la localidad de Álvaro Obregón.

Por otra parte, la temperatura media anual es de 18 °C, oscilando entre los 15.1 °C en la estación Capula (C16247) y los 25.2 °C en la estación San Diego Curupatzco (C16109).

La temperatura mínima la registra la estación Copándaro de Galeana (C16023), al Norte (N) de la ZdE, con 7.2 °C promedio anuales, y con valores mínimos mensuales de -2.7 °C y diarios de hasta -8 °C, durante el mes de febrero. La temperatura más alta alcanza los 33 °C promedio anuales hacia el Sur (S) de la ZdE, con valores máximos mensuales de 42.6 °C y diarios de hasta 46 °C en el mes de junio.

Tabla 3.7. Precipitación y temperatura – promedios anuales por estación (1951-2010)

ESTACIÓN	CLAVE	TEMPERATURA [°C]			PRECIPITACIÓN MEDIA ANUAL [mm]
		MÁXIMA	MEDIA	MÍNIMA	
Acutzio del Canje	C16001	26.1	16.9	7.6	980.3
Álvaro Obregón (SMN)	C16004	26.6	18.7	10.9	632.1
Álvaro Obregón (DGE)	C16091	26.7	18.2	9.6	679.7
Bartolinas (CFE)	C16010	29.5	23.2	16.9	1,091.7
Capula	C16247	23.0	15.1	7.3	798.7
Carrillo Puerto	C16016	24.0	16.6	9.2	696.8
Cointzio	C16022	25.6	17.6	9.7	822.8
Copándaro de Galeana	C16023	23.7	15.5	7.2	833.8
Cuitzeo	C16027	26.5	18.2	9.9	694.6
Cuitzillo Grande	C16028	26.2	17.2	8.2	649.2
El Colegio	C16512	28.1	18.1	8.1	766.6
El Devanador	C16232	31.6	24.3	17.0	1,037.8
El Jacal (SMN)	C16034	25.9	17.9	10.0	824.6
El Jacal (DGE)	C16513	27.0	18.3	9.5	734.7
El Temazcal	C16045	22.9	17.0	11.1	1,396.1
Etúcuaro	C16049	27.5	19.4	11.3	1,097.7
Huaniqueo	C16050	25.2	18.0	10.7	874.1
Jesús del Monte	C16055	24.8	17.5	10.2	951.6
Las Cruces Barreras	C16231	23.2	15.9	8.6	894.4
Morelia (OBS)	C16080	27.5	19.0	10.4	796.5
Morelia	C16081	26.6	18.2	9.9	803.6
Pátzcuaro	C16087	25.7	16.9	8.0	972.2

ESTACIÓN	CLAVE	TEMPERATURA [°C]			PRECIPITACIÓN MEDIA ANUAL [mm]
		MÁXIMA	MEDIA	MÍNIMA	
Presa Malpaís	C16096	26.3	17.4	8.5	744.6
Puente San Isidro	C16100	24.6	16.2	7.7	819.1
Quirio	C16105	25.9	17.9	9.9	715.7
San Diego Curupatzco	C16109	33.0	25.2	17.3	1,070.0
San Miguel del Monte	C16114	24.7	16.1	7.6	1,008.0
San Sebastián	C16116	24.5	16.5	8.5	665.0
Santa Fe	C16118	25.3	16.7	8.2	814.6
Santa Rita	C16119	28.2	19.7	11.2	683.3
Santiago Undameo	C16120	24.8	16.2	7.7	849.3
Tacámbaro	C16123	27.5	18.5	9.4	1,153.3
Tafetán	C16241	-	-	-	1,049.3
Teremendo	C16254	25.3	16.9	8.5	699.9
Tzitzío	C16136	27.4	20.4	13.5	1,410.3
Villa Madero	C16139	23.1	16.2	9.2	1,294.8
Villa Madero (CFE)	C16140	24.0	15.8	7.6	1,194.3
Iramuco	C11027	25.7	17.7	9.8	724.7
El Refugio	C11114	25.0	17.4	9.7	770.3
		26.0	18.0	9.0	889.6

Fuente: Elaboración propia, con base en información estadística climatológica (1951 y 2010) del Servicio Meteorológico Nacional de la Conagua [18]

Normal climatológica 1990-2020

Tomando en cuenta la información correspondiente a la última normal climatológica⁹ publicada por el SMN para el periodo 1991-2020, se identifican un total de 12 estaciones en la ZdE y sus alrededores, todas ellas en operación.

Tabla 3.8. Precipitación y temperatura – normal climatológica 1991-2020

ESTACIÓN	CLAVE	TEMPERATURA [°C]			PRECIPITACIÓN MEDIA ANUAL [mm]
		MÁXIMA	MEDIA	MÍNIMA	
Álvaro Obregón (DGE)	C16091	23.5	17.2	10.9	647.2
Carrillo Puerto	C16016	29.6	19.9	10.3	737.9
El Colegio	C16512	24.8	17.4	9.9	740.3
El Temazcal	C16045	26.2	18.5	10.8	1,351.2
Huaniqueo	C16050	27.8	19.2	10.7	857.6
Jesús del Monte	C16055	26.4	18.9	11.4	1,040.0
Morelia (OBS)	C16080	27.8	17.9	8.1	826.7
Morelia	C16081	24.8	16.9	9.1	751.6
Quirio	C16105	26.3	17.6	8.9	669.9
Tacámbaro	C16123	26.2	17.8	9.2	1,250.0
Teremendo	C16254	28.3	19.1	9.9	714.9
Tzitzío	C16136	26.5	19.6	12.6	-
		26.5	18.2	9.9	871.6

Fuente: Elaboración propia, con base en información estadística climatológica (1951 y 2010) del Servicio Meteorológico Nacional de la Conagua [18]

⁹ De acuerdo con la Organización Meteorológica Mundial, una normal climatológica se define como: Medias periódicas calculadas para un periodo uniforme y relativamente largo que comprenda por lo menos tres periodos consecutivos de diez años. Cumplen dos funciones principales: por un lado, permiten predecir de forma implícita las condiciones que es más probable que se produzcan en un futuro próximo en cualquier ubicación dada y, por otro, constituyen una referencia estable con la que comparar cambios a largo plazo en las observaciones climáticas [17].

De acuerdo con esta información, la temperatura media anual es de 18.2 °C, oscilando entre los 16.9 y los 19.9 °C. Asimismo, y como se observa en la **Figura 3.6**, la temperatura mínima desciende hasta los 8.1 °C anuales, mientras que la máxima se eleva hasta los 29.6 °C.

Por su parte, la precipitación media anual en la cuenca es de 871.6 mm. Los valores más elevados corresponden a las estaciones: El Temazcal (C16045) con 1,351.2 mm anuales, ubicada en la cuenca del río Cutzamala a una altitud de 2,200 m.s.n.m., Tacámbaro (C16123) en la cuenca del mismo nombre y a 1,640 m.s.n.m., registra 1,250 mm al año, y Jesús del Monte (C16055) localizada a 2,180 m.s.n.m. en la cuenca del lago de Cuitzeo con un valor de 1,040 mm anuales. Los valores de precipitación anual varían de 647.2 a 1,351.2 mm.

Fenómenos hidrometeorológicos

Sequía

De acuerdo con la información del Monitor de Sequía en México (MSM)¹⁰ en el periodo comprendido entre 2014¹¹ y 2023, el 84% de los informes quincenales reportó algún grado de sequía en cuando menos uno de los 20 municipios que se encuentran dentro y alrededor de la ZdE. De estos, 166 (70%) reportaron una intensidad anormalmente seca (D0); 111 (47%) con sequía moderada (D1); 46 (19%) con sequía severa (D2); y 24 (10%) con sequía extraordinaria (D3). Ninguno reportó con sequía excepcional (D4), y solamente en 37 de los 238 informes ningún municipio tuvo sequía; esto es entre enero y mayo de 2014, entre marzo y junio de 2015, entre junio de 2018 y marzo de 2019; y entre octubre de 2021 y enero de 2022. El año 2023 se distingue por ser el único en el que el 100% de los informes quincenales reportaron algún grado de sequía en todos los municipios. Particularmente entre julio y diciembre todos los municipios reportaron sequía extrema (D3).

La **Figura 3.4** a continuación muestra de manera esquemática la evolución de la sequía en el tiempo en función de los diferentes tipos¹²:

- Anormalmente Seco (D0): La NADM indica que es una condición de sequedad, que se presenta al inicio o al final de un periodo de sequía. Al inicio debido a la sequedad de corto plazo puede ocasionar el retraso de la siembra, limitar el crecimiento del cultivo o pastos y existe el riesgo de incendios. Al final del periodo puede persistir déficit de agua, los pastos o cultivos pueden no recuperarse completamente.
- Sequía Moderada (D1): Las afectaciones que se pueden presentar, son algunos daños en los cultivos y pastos; el riesgo de incendios es alto, bajo nivel de agua en ríos, arroyos, embalses, abrevaderos y pozos, se sugiere restricción voluntaria en el uso del agua.
- Sequía Severa (D2): Las afectaciones que se pueden presentar son probables pérdidas en cultivos o pastos, alto riesgo de incendios, escasez de agua, se deben imponer restricciones en el uso de la misma agua.
- Sequía Extrema (D3): Pérdidas mayores en cultivos y pastos, el riesgo de incendios forestales es extremo, se generalizan las restricciones en el uso del agua debido a su escasez.
- Sequía Excepcional (D4): Pérdidas excepcionales y generalizadas de cultivos o pastos, riesgo excepcional de incendios, escasez total de agua en embalses, arroyos y pozos, es probable una situación de emergencia debido a la ausencia de agua.

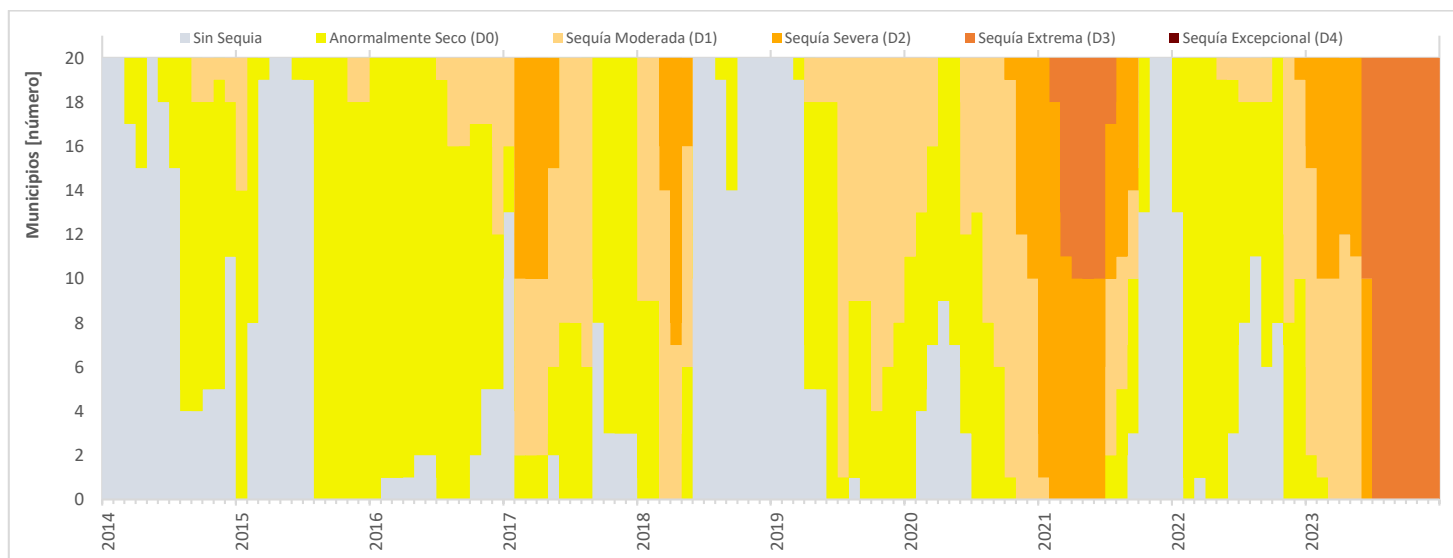
¹⁰ El MSM Se basa en la obtención e interpretación de diversos índices o indicadores de sequía tales como el Índice Estandarizado de Precipitación (SPI) que cuantifica las condiciones de déficit o exceso de precipitación (30, 90, 180, 365 días), Anomalía de Lluvia en Porcentaje de lo Normal (30, 90, 180, 365 días), Índice Satelital de Salud de la Vegetación (VHI) que mide el grado de estrés de la vegetación a través de la radiancia observada, el Modelo de Humedad del Suelo Leaky Bucket CPC-NOAA que estima la humedad del suelo mediante un modelo hidrológico de una capa, el Índice Normalizado de Diferencia de la Vegetación (NDVI), la Anomalía de la Temperatura Media, el Porcentaje de Disponibilidad de Agua en las presas del país y la aportación de expertos locales.

¹¹ Año en el que el MSM adquirió su carácter nacional con emisión quincenal.

¹² <https://smn.conagua.gob.mx/es/categorias-de-sequia>

En el año 2000 se emitieron 20 declaratorias por desastre asociado con la sequía. Posteriormente, en el 2009 se emitieron otras 8 declaratorias por contingencia climatológica y en el año 2011 otras 12 declaratorias, también por contingencia climatológica. Los 20 municipios incluidos en la ZdE han sido afectados por estos eventos.

Figura 3.4. Eventos de sequía a nivel municipal en el periodo 2014-2023.



Fuente: Elaboración propia, con base en información del Servicio Meteorológico Nacional de la Conagua [19]

Inundaciones

Las inundaciones son derivadas en la mayoría de los casos por la ocurrencia de tormentas y/o precipitaciones de gran intensidad en un periodo de tiempo corto, de tal forma que se supera la capacidad de infiltración del suelo y/o del almacenamiento/drenaje de la cuenca. En nuestro caso, se presentan principalmente hacia las partes bajas de la ZdE, en la cuenca del Lago de Cuitzeo, y asociadas a los principales ríos que drenan esta cuenca: el Río Grande con una dirección SO-NE y dividiendo a la ciudad de Morelia en dos partes, y el Río Chiquito que tiene su origen en la cañada de Jesús del Monte con una dirección SE-NO y terminando en la confluencia con el Río Grande.

En relación con las inundaciones históricas de la ciudad de Morelia, se observa que éstas son más persistentes a partir de la década de los 70, y en los últimos años, se presentan con mayor frecuencia en el mes de septiembre. Los procesos de expansión y crecimiento de la ciudad provocaron que durante el periodo 1955-2010 ésta se viera afectada por más de 165 inundaciones de diferentes magnitudes; sólo en 2005 tuvieron lugar 10 de estos eventos [1].

Los ciclones tropicales son fenómenos naturales que generan un considerable transporte de humedad del mar hacia territorio continental. Por ejemplo, en septiembre de 2013, las lluvias derivadas del huracán Manuel y la tormenta tropical Ingrid afectaron los municipios de Acuitzio, Huiramba, Pátzcuaro y Morelia, entre otros. Entre 1960 y 2023 sólo un ciclón ha impactado directamente en la ZdE; esto es, la depresión tropical *Iva* en 1961, que prácticamente atravesó la ciudad de Morelia. En 1988 la tormenta tropical *Debby* tuvo una trayectoria muy cercana rodeando la ZdE desde el Oeste (O) hacia el Noroeste (NO) [16].

En relación con las declaratorias por emergencia o desastre, y particularmente relacionadas con las inundaciones, se emitieron dos en el año 2003, una por emergencia en Huaniqueo y otra por desastre en Coeneo, y dos más en el año 2018, tanto por emergencia como por desastre en el municipio de Morelia. Adicionalmente por lluvias (que en varios casos incluyen

inundaciones) entre 2003 y 2018 se emitieron 40 declaratorias, 68% por contingencia climatológica, 10% por emergencia y 23% por desastre.

Declaratorias de emergencia por fenómenos hidrometeorológicos y sus impactos

De acuerdo con el registro histórico de CENAPRED, entre el 2000 y el 2023 se emitieron 111 declaratorias¹³ por fenómenos hidrometeorológicos afectando uno o varios de los municipios comprendidos en la ZdE; 57% por contingencias climatológicas, 28% por desastres y 15% por emergencias, siendo el 2013 el año con el mayor número de incidencias, esto es 21 fenómenos (18.9%), 12 nevadas, heladas o granizadas y 9 lluvias.

Las afectaciones más comunes han sido causa de las lluvias y las sequías (ambas con el 36%), seguidas por las nevadas, heladas o granizadas (15%), las heladas (6%), las inundaciones (4%) y las temperaturas extremas (3%). Los municipios con más declaratorias son Morelia con 17, Álvaro Obregón con 11, y Huaniqueo y Tarímbaro, ambos con 10.

Tabla 3.9. Declaratorias por fenómenos hidrometeorológicos por municipio 2000-2023

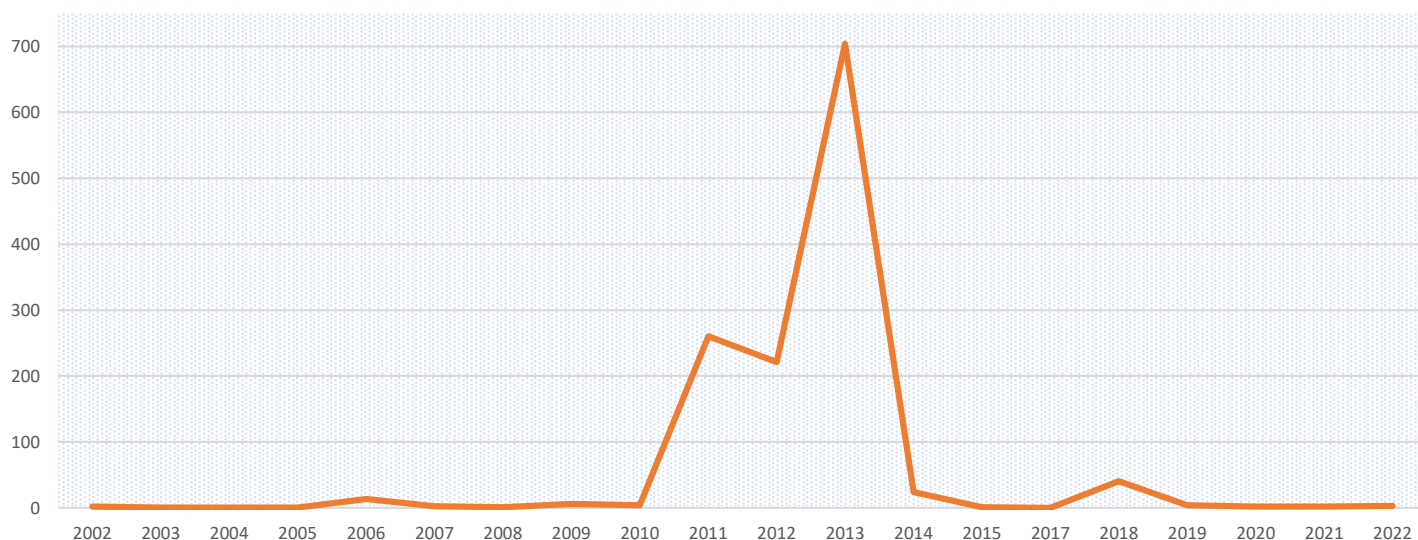
ESTACIÓN	DECLARATORIAS POR FENÓMENOS HIDROMETEOROLÓGICOS						
	HELADAS	INUNDACIÓN	LLUVIAS	NEVADAS	SEQUÍAS	TEMPERATURAS EXTREMAS	TOTAL
Álvaro Obregón			4	1	4	2	11
Acuitzio	1		1		1		3
Charo	1		2	1	1		5
Chucándiro				1	4		5
Coeneo		1	2	3	2		8
Copándaro			1	2	2		5
Cuitzeo				1	3		4
Huaniqueo		1	4	1	4		10
Huiramba			1	1	1		3
Indaparapeo			2	1	1		4
Lagunillas					1		1
Madero			2		1		3
Morelia	1	2	8	2	4		17
Pátzcuaro			2		1		3
Queréndaro	1		3	1	1		6
Quiroga	1				1	1	3
Tacámbaro			3	1	1		5
Tarímbaro	1		4	1	4		10
Tzintzuntzan			1		1		2
Tzitzio	1				2		3
	7	4	40	17	40	3	111

Fuente: Elaboración propia, con base en información de CENAPRED [2]

Tan sólo en el periodo 2000-2015, se registraron diversos fenómenos hidrometeorológicos que generaron daños por un monto total de \$1.25 miles de millones de pesos. Los impactos de estos fenómenos afectaron a los municipios comprendidos en la ZdE y en varios casos también a otros municipios dentro del estado de Michoacán. Llama la atención el periodo 2011-2013 que concentra los mayores costos: en 2011-2012 destaca la ocurrencia de una sequía que produjo daños acumulados por \$435 millones, afectando a 17,610 personas y con impactos en gran parte de las áreas de cultivo (29,000 hectáreas en 2011 y 12,600 en 2012); sumándose también en 2012 las lluvias y tormentas severas que aumentaron el monto en \$32.5 millones de pesos y sumaron impactos sobre las viviendas de 1,214 personas.

¹³ Las contingencias climatológicas son afectaciones a las actividades productivas, las emergencias implican riesgos a la vida y a la salud de la población, en tanto que los desastres enfocan los recursos del estado y la sociedad a la reconstrucción de las zonas afectadas [19].

Figura 3.5. Daños por ocurrencia de fenómenos hidrometeorológicos 2002-2022 [en millones de pesos]



Fuente: Elaboración propia, con base en información de CENAPRED [3]

Los fenómenos hidrometeorológicos que más daños ocasionaron fueron los ciclones tropicales con \$578 millones de pesos, es decir el 46% del total, seguidos por la sequía con 35% y las bajas temperaturas con 12%. En relación con la población afectada, son las sequías las que ocupan el primer lugar con 17,610 habitantes (38% del total), acompañadas por las bajas temperaturas que en un segundo lugar suman 15,672 habitantes más; la ocurrencia de estos dos fenómenos aporta los mayores impactos en la agricultura con un total de 92,366 hectáreas entre 2000 y 2022. Finalmente, las lluvias, granizadas y tormentas severas, así como los eventos que de éstas se derivan (las inundaciones o el deslizamiento de laderas), acarrearón el fallecimiento de 8 personas y generaron la totalidad de los daños sobre las viviendas [3]. La tabla siguiente resume la información para cada tipo de fenómeno.

Tabla 3.10. Impactos por ocurrencia de fenómenos hidrometeorológicos 2020-2022

FENÓMENO HIDROMETEOROLÓGICO	DEFUNCIONES [Número]	POBLACIÓN AFECTADA [habitantes]	VIVIENDAS DAÑADAS [número]	ÁREA DE CULTIVO DAÑADA [hectáreas]	TOTAL DE DAÑOS [millones de \$]
Bajas Temperaturas		15,672		50,916	149.14
Ciclón Tropical		7,858		29,236	577.60
Granizada		1,138	16	2,288	8.86
Lluvias	7	3,703	654	394	28.70
Sequías		17,610		41,450	435.50
Temperatura extrema		-		-	15.32
Tormenta severa	1	303	22	665	31.58
	8	46,284	692	124,949	1,246.71

Fuente: Elaboración propia, con base en información de CENAPRED [3]

► 3.4 Análisis hidrológico y climático

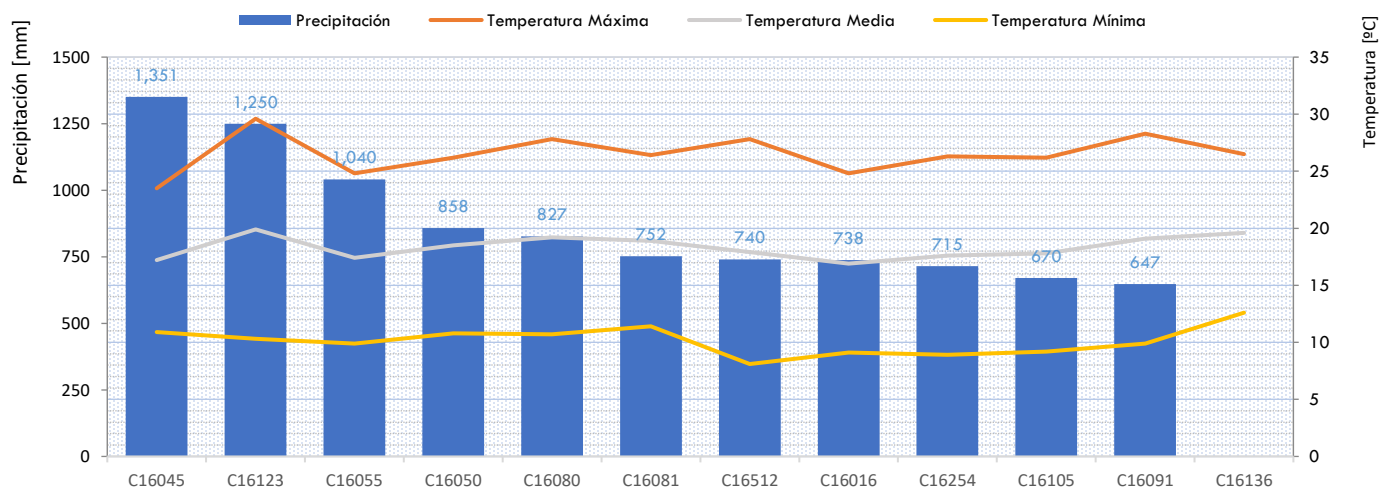
Análisis climático

Se toma en consideración los datos de la normal climatológica 1991-2020 sobre los datos históricos 1951-2010, toda vez que:

- Es un periodo estándar definido por la OMM
- Es calculada a partir de series de tiempo con datos en cuando menos 80% de los años del periodo (24 años) y con menos de 3 años consecutivos sin datos. Asimismo, en términos mensuales, son series con menos de 11 días totales o 5 consecutivos sin datos.
- En términos generales, es un mejor referente para evaluar condiciones actuales o recientes

En términos de la cuenca del Lago de Cuitzeo, la principal cuenca de la ZdE (cerca del 80% de la superficie total y 19 microcuencas abarcadas), la precipitación máxima alcanza los 1,040 mm en la estación Jesús del Monte (C16055) localizada en la microcuenca río Chiquito, en tanto que la mínima es de 647 mm registrados en la estación Álvaro Obregón (DGE) (C16091), ubicada en la localidad del mismo nombre. Las estaciones El Temazcal (C16045) y Tacámbaro (C16123) registran precipitaciones mayores de 1,351 y 1,250 mm, respectivamente; no obstante, estas estaciones se encuentran en las cuencas del río Cutzamala y del río Tacámbaro, ambas en la RH18 Balsas.

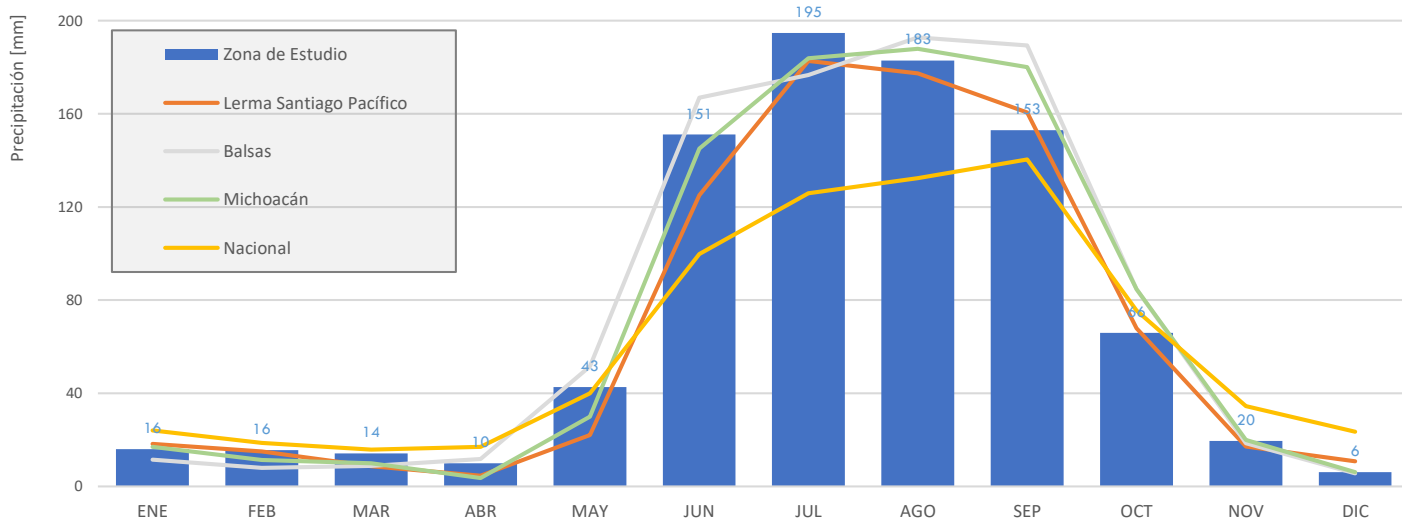
Figura 3.6. Precipitación y temperatura (normal climatológica 1991-2020)



Fuente: Elaboración propia, con base en información estadística climatológica (1951 y 2010) del SMN de la Conagua [18]

La distribución de la precipitación en el año se muestra en la **Figura 3.7**. Como se observa, el 80% de la precipitación (682 mm) ocurre únicamente en 4 meses del año; esto es, entre de junio y septiembre, siendo julio el más lluvioso de ellos con una media mensual de 195 mm. En comparación con el régimen de precipitaciones tanto en la región como a nivel nacional, se observa que la ZdE presenta una precipitación media anual por encima tanto de la media nacional (747.5 mm), como de la media regional en Lerma Santiago Pacífico (810.3 mm) y de la media estatal (879.4 mm). Asimismo, la concentración de la precipitación entre junio y septiembre es también más acentuada a diferencia del nivel nacional, regional y estatal.

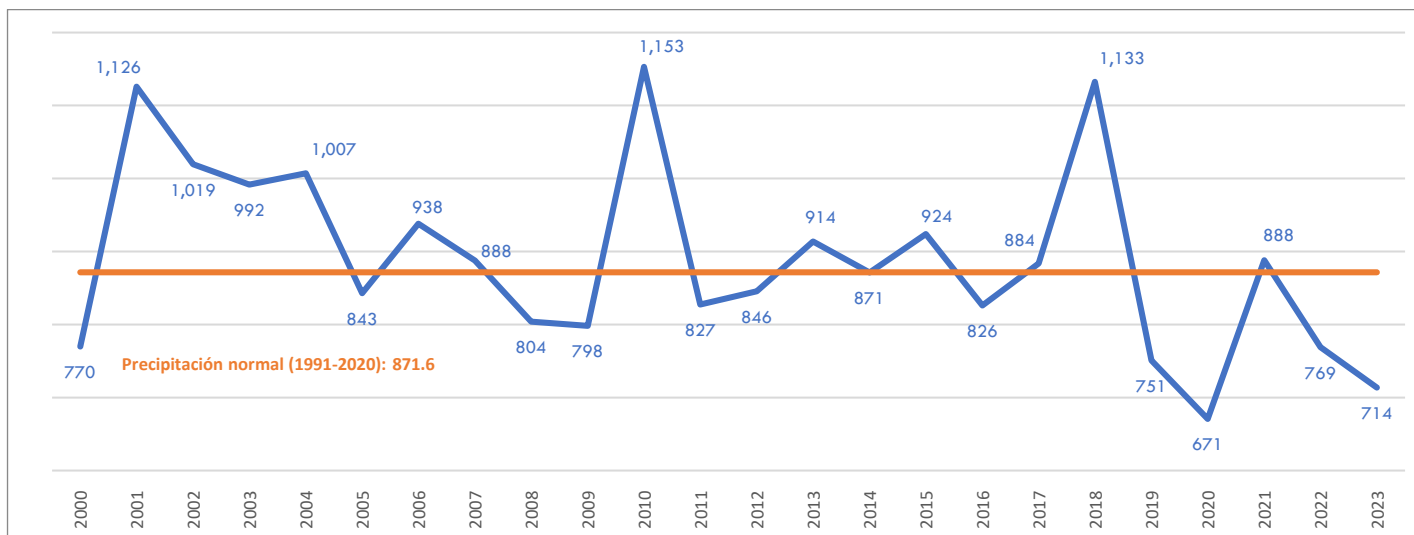
Figura 3.7. Distribución de la precipitación media anual (normal climatológica 1991-2020)



Fuente: Elaboración propia, con base en información del Servicio Meteorológico Nacional de la Conagua [18]

La precipitación de los años 2022 y 2023 alcanzó láminas acumuladas de 768.8 y 713.5 mm, respectivamente. Estos valores en comparación con la precipitación normal para el periodo 1990-2020, resultan ser inferiores en 11.8 y 18.1% respectivamente. En contraste, los años 2001, 2010 y 2018 registran las mayores precipitaciones acumuladas por encima de los 1,000 mm anuales y superiores a la normal 1990-2020 en 29%, 32% y 30%, respectivamente. La serie anual completa desde el 2000 hasta el 2023 se presenta en la (Figura 3.8).

Figura 3.8. Precipitación pluvial anual (normal climatológica 1991-2020)



Fuente: Elaboración propia, con base en información del Servicio Meteorológico Nacional de la Conagua [18]

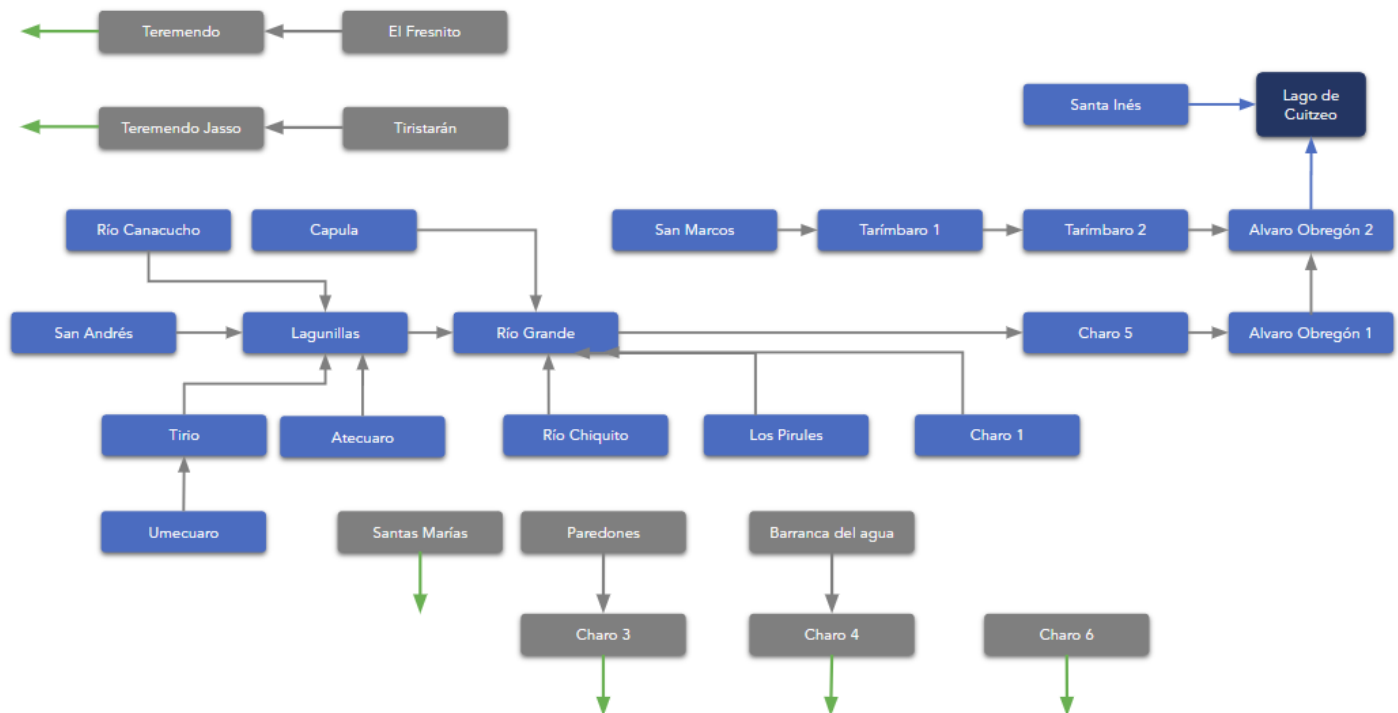
Los extremos de precipitación que se presentan tanto en términos de intensidad como de concentración/ocurrencia en el tiempo, se ven reflejados en las diversas afectaciones que en relación con la sequía y las inundaciones se han registrado en la ZdE a lo largo del tiempo. Esto hace aún más evidente la necesidad de desarrollar capacidades vinculadas con la implementación y operación de sistemas de alerta temprana que no solamente mejoren la resiliencia general de la ZdE frente a estos fenómenos extremos, sino que particularmente aporten una mayor seguridad hídrica hacia el 2050.

Análisis hidrológico

Como se mencionó anteriormente, la ZdE comparte su superficie entre la RH (Lerma Santiago) y la RH (Balsas), siendo la RH12 la de mayor relevancia para este estudio dado que no sólo representa un mayor porcentaje de la superficie de la ZdE, sino que además contiene a la cuenca hidrológica del Lago de Cuitzeo (RH12Gb), que a su vez es una subcuenca de la cuenca hidrológica RH12G Lago de Pátzcuaro-Cuitzeo.

El drenaje superficial de la ZdE se determina a partir de la dinámica hidrológica que de manera natural se da entre las 28 microcuencas que la conforman. La **Figura 3.9** muestra de manera esquemática la conectividad entre ellas. Como se puede observar, las microcuencas que pertenecen a la cuenca del Lago de Cuitzeo se interconectan y terminan drenando hacia el lago a través de las microcuencas Álvaro Obregón_2 y Santa Inés. Por otro lado, 6 de las microcuencas drenan hacia el Balsas, fuera de la ZdE; esto es: Teremendo, Teremendo Jasso, Santa Marías, Charo_3, Charo_4 y Charo_6.

Figura 3.9. Drenaje superficial de la ZdE (Conectividad hidrológica entre microcuencas)



Fuente: Elaboración propia, con base en información del INEGI [12] [13]

Referencias

- [1] **ARREYGUE-GÓMEZ et al, 2012**, Estudio de las inundaciones de Morelia, Michoacán, México.
- [2] **CENAPRED, 2024**. Declaratorias sobre emergencia, desastre y contingencia climatológica a nivel municipal entre 2000 y 2023.
<https://datos.gob.mx/busca/dataset/declaratorias-sobre-emergencia-desastre-y-contingencia-climatologica/resource/946ad8a6-abe4-4ba8-b96b-7a45bfe687ea>
- [3] **CENAPRED, 2024a**. Datos del impacto socioeconómico provocado por los desastres entre 2000 y 2022.
<https://datos.gob.mx/busca/dataset/informacion-del-impacto-socioeconomico-provocado-por-desastres-en-mexco/resource/1fe10641-f051-4ace-ae17-c9846e52ea88>
- [4] **CONAGUA, 2023**. Atlas del Agua en México, 2023.
- [5] **CONAGUA, 2024**. Sistema de Información Hidrológica, 2024. Base de datos histórica de estaciones climatológicas.
<https://sih.conagua.gob.mx/climas.html>
- [6] **CONAGUA, 2024a**. Sistema de Seguridad de Presas, Conagua. <https://presas.conagua.gob.mx/inventario/>
- [7] **CONAGUA, 2024b**. Actualización de la disponibilidad media anual de agua en el acuífero Morelia-Queréndaro (1602), estado de Michoacán.
- [8] **CONAGUA, 2024c**. Situación de los recursos hídricos. SINA.
<https://sinav30.conagua.gob.mx:8080/SINA/?opcion=acuiferos>
- [9] **DOF 2011**. DECRETO por el que se modifican los diversos por los que se constituyen reservas de aguas nacionales y se establece una veda en la Región Hidrológica número 18 Balsas.
- [10] **DOF 2014**. DECRETO por el que por causas de interés público se suprimen las vedas existentes en la subregión hidrológica Lerma-Chapala, y se establece zona de veda en las 19 cuencas hidrológicas que comprende dicha subregión hidrológica.
- [11] **DOF, 2023**. ACUERDO por el que se actualiza la disponibilidad media anual de agua subterránea de los 653 acuíferos de los Estados Unidos Mexicanos, mismos que forman parte de las regiones hidrológico-administrativas que se indican.
- [12] **INEGI, 2006**. Red hidrográfica digital de México, escala 1:250,000 (Edición 1.0).
- [13] **INEGI, 2010**. Red hidrográfica digital de México, escala 1:50,000 (Edición 2.0).
- [14] **INEGI, 2020**. Cuenca hidrológica Lago de Cuitzeo. Humedales. Informe Técnico.
- [15] **INEGI, 2019**. Carta hidrológica aguas subterráneas México Informe técnico Escala 1:1 000 000 Serie II.
- [16] **INEGI 2023**. Estudio de información integrada de la Cuenca Lago Cuitzeo y otras.
- [17] **OMM 2017**. Directrices de la Organización Meteorológica Mundial sobre el cálculo de las normales climáticas (OMM No. 1203). Ginebra.
- [18] **SMN-CONAGUA, 2024**. Información estadística climatológica.
<https://smn.conagua.gob.mx/es/climatologia/informacion-climatologica/informacion-estadistica-climatologica>
- [19] **SMN-CONAGUA, 2024a**. Monitor de sequía en México.
<https://smn.conagua.gob.mx/es/climatologia/monitor-de-sequia/monitor-de-sequia-en-mexico>

4. Usos del agua



► 4.1 Aprovechamiento actual del agua

Aguas superficiales

El Registro Público de Derechos de Agua (REPDa) de la Conagua registra para la ZdE un total de 364 concesiones de agua superficial que representan un volumen de 118.62 hm³.

En términos de su uso, el 54% del total del volumen concesionado en la ZdE se destina para el abastecimiento de agua potable; mientras que el 22% es para uso agropecuario; el 24% restante se utiliza para uso industrial e hidroeléctrico.

A nivel de microcuencas, el río Grande tiene el 59% del volumen total concesionado en la ZdE, del cual el 48% (56.9 hm³) es para el abastecimiento de agua potable, en segundo lugar esta Río Chiquito con el 3.7%, seguida por Lagunillas con el 1.5 por ciento.

Tabla 4.1. Concesiones de aguas superficiales por microcuenca

MICROCUECA	AGUA POTABLE		AGROPECUARIO		INDUSTRIAL		HIDROELÉCTRICO		TOTAL	
	VOLUMEN [m ³]	TÍTULOS [No.]	VOLUMEN [m ³]	TÍTULOS [No.]	VOLUMEN [m ³]	TÍTULOS [No.]	VOLUMEN [m ³]	TÍTULOS [No.]	VOLUMEN [m ³]	TÍTULOS [No.]
Atécuaro			102,622	2					102,622	2
Barranca de agua	19,739	3	12,614	1					32,353	4
Capula			12,500	1					12,500	1
El Fresnito			267,500	5					267,500	5
Lagunillas	1,717,258	41	7,170,988	57	687	1			8,888,932	99
Los Pirules									-	-
Paredones	52,387	8	166,056	4					218,442	12
Río Chiquito	4,057,039	6	90,189	5	18,662	1			4,165,890	12
Río Grande	56,917,121	14	1,352,657	14	11,266,132	3			69,535,911	31
San Andrés	17,976	1							17,976	1
San Marcos	33,233	2	3,465,136	20					3,498,369	22
Santa Inés	51,046	4							51,046	4
Santas Marías	78,680	11	105,685	3					184,365	14
Teremendo			3,514,884	3					3,514,884	3
Teremendo Jasso			2,000	1					2,000	1
Tirio	15,294	2	202,500	2	31,627	2	17,125,000	1	17,374,421	7
Tiristarán									-	-
Umécuaro	4,162	1	267,871	5					272,033	6
Tarímbaro_1	105,472	5	160,407	5					265,879	10
Tarímbaro_2	15,768	1	14,515	1					30,283	2
Charo_1	117,953	6	1,542,012	8	9,461	1			1,669,426	15
Charo_3	862	1							862	1
Charo_4	86,150	22	167,003	12					253,153	34
Charo_5	246,887	16	3,363,095	16					3,609,982	32
Charo_6	88,753	16	223,727	7					312,480	23
Álvaro Obregón_1									-	-
Álvaro Obregón_2									-	-
Río Canacucho	170,254	11	4,132,873	11	31,536	1			4,334,663	23
	63,796,032	171	26,336,835	183	11,358,105	9	17,125,000	1	118,615,972	364

Fuente: Elaboración propia con base en la información del REPDa de Conagua [1]

Figura 4.1. REPDA Superficial



Fuente: Elaboración propia con base en la información del REPDA de Conagua [1]

Aguas subterráneas

El REPDA de la Conagua registra un total de 631 concesiones de agua subterránea en la ZdE, 318 (50.4%) para uso agropecuario y 313 (49.6%) para uso público-urbano (agua potable e industrial). En el ámbito espacial, las concesiones para el uso público-urbano se concentran en mayor medida en la ciudad de Morelia, extendiéndose hacia los municipios de Tarímbaro y Álvaro Obregón para el caso del agua potable, en concordancia con el crecimiento de la mancha urbana; en tanto que las concesiones para uso agropecuario se ubican hacia el Noreste (NE), coincidiendo con los módulos II, III y IV del DR 020, y hacia el Suroeste (SO) de la ZdE [1]

En términos de acuíferos, prácticamente la totalidad de las concesiones para el aprovechamiento de aguas subterráneas (98.9%) corresponden al acuífero Morelia-Queréndaro, con 620 concesiones otorgadas a los diferentes usuarios en la ZdE.

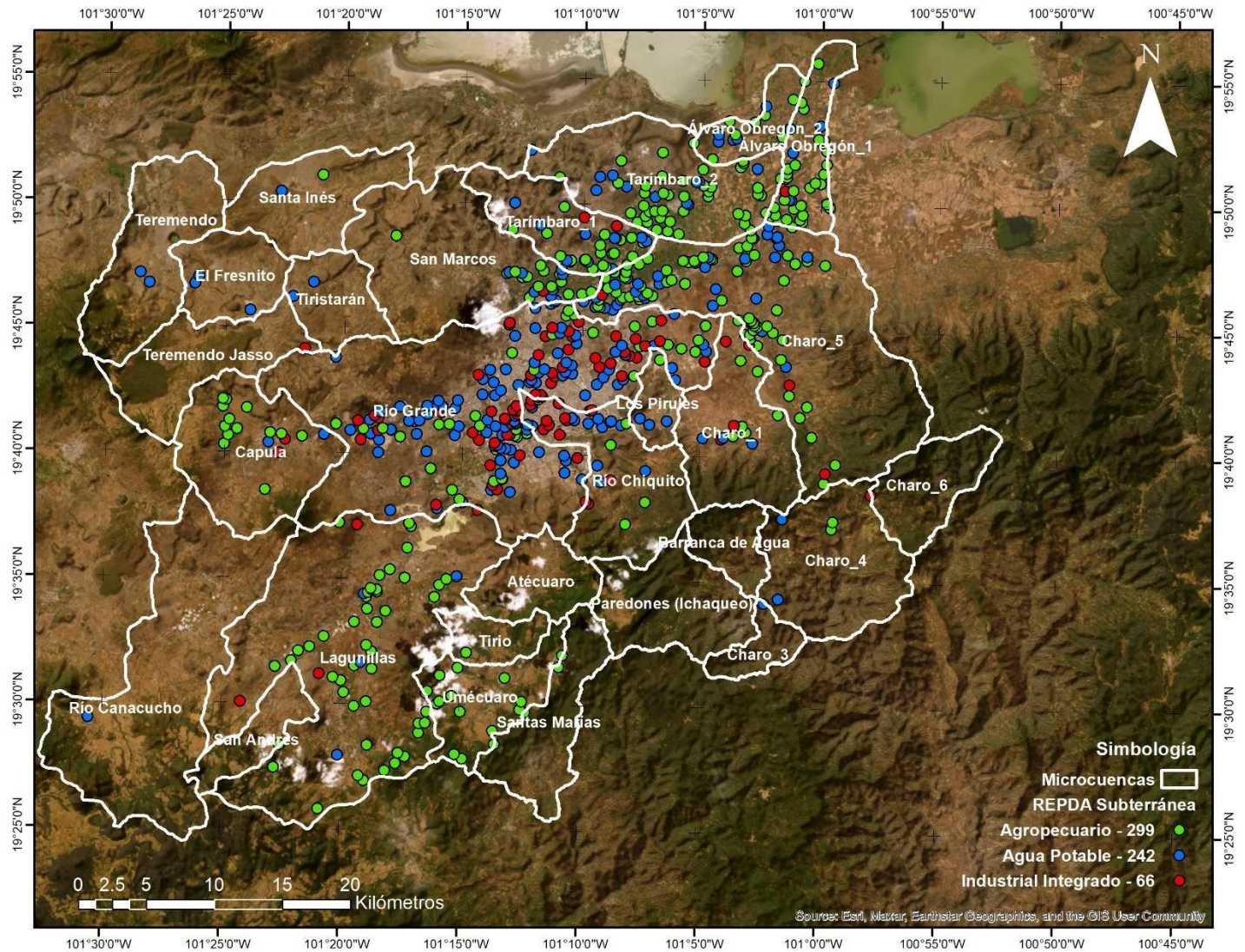
Tabla 4.2. Concesiones de aguas subterráneas por microcuenca

MICROCUECA	ACUÍFERO	AGUA POTABLE		AGROPECUARIO		INDUSTRIAL		TOTAL	
		VOLUMEN [m³]	TÍTULOS [No.]	VOLUMEN [m³]	TÍTULOS [No.]	VOLUMEN [m³]	TÍTULOS [No.]	VOLUMEN [m³]	TÍTULOS [No.]
Atécuaro	Morelia-Queréndaro							-	-
Capula	Morelia-Queréndaro	147,332	2	559,328	14	115,000	2	821,660	18
El Fresno	Morelia-Queréndaro	74,790	3					74,790	3
Lagunillas	Morelia-Queréndaro	123,740	4	2,882,128	48	117,740	4	3,123,608	56
Los Pirules	Morelia-Queréndaro	1,320,650	3	77,000	1			1,397,650	4
Rio Chiquito	Morelia-Queréndaro	5,791,812	13	366,543	5	537,369	12	6,695,724	30
Rio Grande	Morelia-Queréndaro	24,566,937	96	4,186,634	36	6,335,045	72	35,088,617	204
San Andrés	Morelia-Queréndaro			12,690	1			12,690	1
San Marcos	Morelia-Queréndaro	2,917,316	10	3,876,007	15	800,000	2	7,593,324	27
Santa Inés	Morelia-Queréndaro	30,660	1	48,000	1			78,660	2
Teremendo Jasso	Morelia-Queréndaro					10,000	1	10,000	1
Tirio	Morelia-Queréndaro			65,000	2			65,000	2
Tiristarán	Morelia-Queréndaro	49,275	2					49,275	2
Umécuaro	Morelia-Queréndaro			700,165	17			700,165	17
Tarimbaro1	Morelia-Queréndaro	781,257	11	5,739,274	20	40,000	2	6,560,531	33
Tarimbaro2	Morelia-Queréndaro	450,670	11	10,310,888	42			10,761,558	53
Charo1	Morelia-Queréndaro	220,515	3	2,101,557	7	250,675	4	2,572,747	14
Charo5	Morelia-Queréndaro	2,743,751	31	9,815,963	65	113,724	5	12,673,438	101
Álvaro Obregón_1	Morelia-Queréndaro	553,742	6	5,734,374	31	40,000	1	6,328,116	38
Álvaro Obregón_2	Morelia-Queréndaro	327,057	5	2,007,117	9			2,334,174	14
Barranca del agua	Huetamo							-	-
Paredones (Ichaqueo)	Huetamo							-	-
Charo_3	Huetamo	46,538	1					46,538	1
Charo_4	Huetamo	111,600	2	146,000	2	32,850	1	290,450	5
Charo_6	Huetamo							-	-
Santas Marías	Tacámbaro-Turicato			112,156	2			112,156	2
Teremendo	Zacapu	193,815	2					193,815	2
Rio Canacucho	Lagunillas-Pátzcuaro	401,500	1					401,500	1
Total general		40,852,956	207	48,740,825	318	8,392,403	106	97,986,184	631

Fuente: Elaboración propia con base en la información del REPDA de

Conagua [1]

Figura 4.2. Concesiones para el aprovechamiento de aguas subterráneas por microcuenca



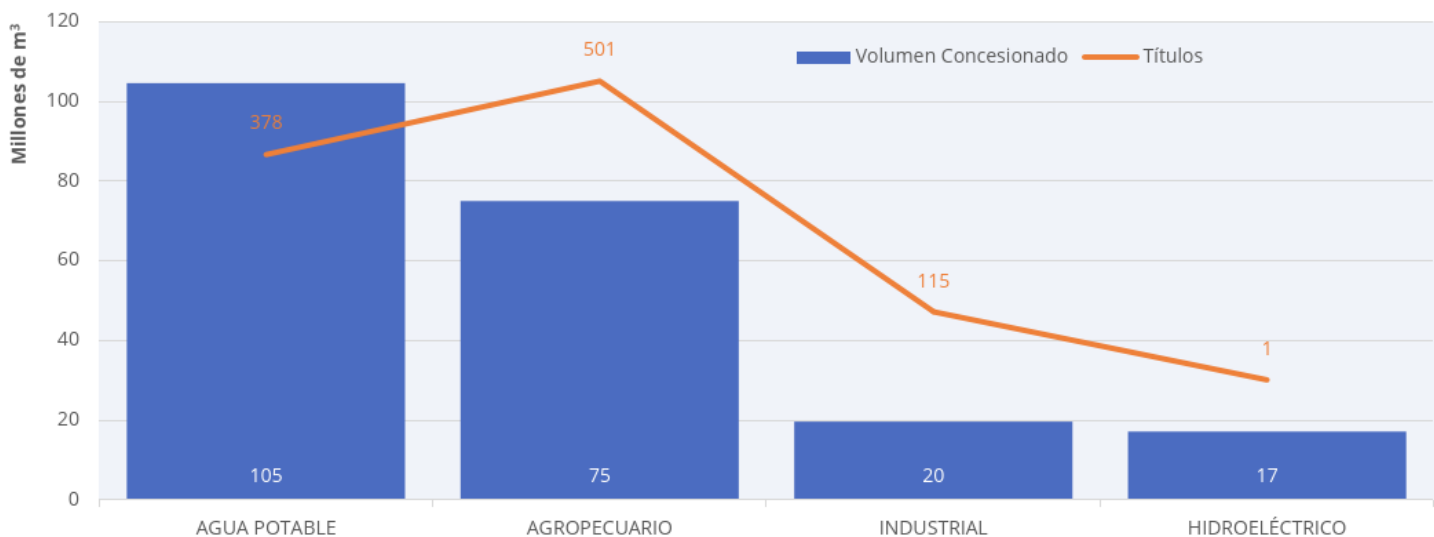
Fuente: Elaboración propia con base en la información del REPDA de Conagua [1]

Análisis de los aprovechamientos de aguas nacionales

Dentro de la ZdE se registran un total de 995 títulos de concesión para el aprovechamiento de aguas nacionales, tanto superficiales (37%) como subterráneas (63%). El volumen total concesionado asciende a 216.6 millones de m³.

El uso agropecuario tiene el mayor número de concesiones con 501 títulos asignados (50.4%) aunque solamente tiene el 35% del volumen total concesionado; en tanto que el agua potable tiene únicamente el 38% de los títulos, pero el mayor volumen con 104.6 millones de m³ asignados; esto es el 27% del volumen total concesionado para el uso público en todo el estado de Michoacán. Finalmente, los usos industrial e hidroeléctrico tienen el 12% restante de los títulos para un volumen conjunto de 36.9 millones de m³.

Figura 4.3. Concesiones para el aprovechamiento de aguas nacionales en la ZdE



Fuente: Elaboración propia con base en la información del REPDA de Conagua [1]

En el ámbito de las microcuencas, río Grande y río Chiquito tienen el 87% del volumen total concesionado para agua potable en toda la ZdE; el 13% restante se reparte entre Charo_5 (2.9%), Santa Inés (2.8%), Lagunillas (1.8%), Los Pirules (1.3%) y las otras 22 microcuencas, que en términos individuales tienen asignado menos de 1% cada una.

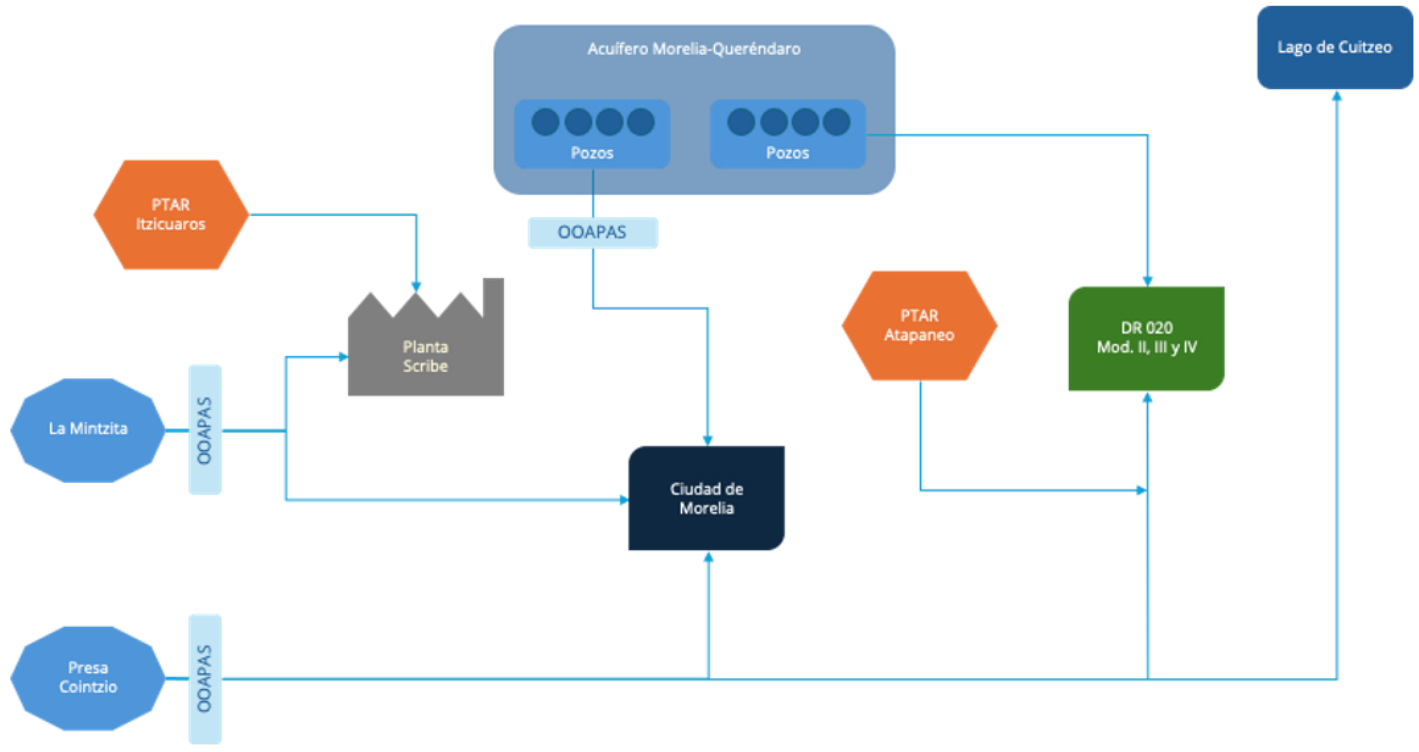
Tabla 4.3. Concesiones para el aprovechamiento de las aguas nacionales en la ZdE

MICROCUCENCA	AGUA POTABLE		AGROPECUARIO		INDUSTRIAL		HIDROELÉCTRICO		TOTAL	
	VOLUMEN [m³]	TÍTULOS [No.]	VOLUMEN [m³]	TÍTULOS [No.]	VOLUMEN [m³]	TÍTULOS [No.]	VOLUMEN [m³]	TÍTULOS [No.]	VOLUMEN [m³]	TÍTULOS [No.]
Atécuaro	-	-	102,622	2	-	-	-	-	102,622	2
Barranca de agua	19,739	3	12,614	1	-	-	-	-	32,353	4
Capula	147,332	2	571,828	15	115,000	2	-	-	834,160	19
El Fresnito	74,790	3	267,500	5	-	-	-	-	342,290	8
Lagunillas	1,840,998	45	10,053,116	105	118,427	5	-	-	12,012,540	155
Los Pirules	1,320,650	3	77,000	1	-	-	-	-	1,397,650	4
Paredones	52,387	8	166,056	4	-	-	-	-	218,442	12
Río Chiquito	9,848,851	19	456,732	10	556,031	13	-	-	10,861,614	42
Río Grande	81,484,058	110	5,539,292	50	17,601,177	75	-	-	104,624,527	235
San Andrés	17,976	1	12,690	1	-	-	-	-	30,666	2
San Marcos	2,950,550	12	7,341,144	35	800,000	2	-	-	11,091,693	49
Santa Inés	81,706	5	48,000	1	-	-	-	-	129,706	6
Santas Marías	78,680	11	217,841	5	-	-	-	-	296,521	16
Teremendo	193,815	2	3,514,884	3	-	-	-	-	3,708,699	5
Teremendo Jasso	-	-	2,000	1	10,000	1	-	-	12,000	2
Tirio	15,294	2	267,500	4	31,627	2	-	-	314,421	8
Tiristarán	49,275	2	-	-	-	-	-	-	49,275	2
Umécuaro	4,162	1	968,035	22	-	-	-	-	972,197	23
Tarímbaro_1	886,729	16	5,899,681	25	40,000	2	-	-	6,826,410	43
Tarímbaro_2	466,438	12	10,325,403	43	-	-	17,125,000	1	27,916,841	56
Charo_1	338,468	9	3,643,569	15	260,136	5	-	-	4,242,173	29
Charo_3	47,399	2	-	-	-	-	-	-	47,399	2
Charo_4	197,750	24	313,003	14	32,850	1	-	-	543,603	39
Charo_5	2,990,637	47	13,179,058	81	113,724	5	-	-	16,283,420	133
Charo_6	88,753	16	223,727	7	-	-	-	-	312,480	23
Álvaro Obregón_1	553,742	6	5,734,374	31	40,000	1	-	-	6,328,116	38
Álvaro Obregón_2	327,057	5	2,007,117	9	-	-	-	-	2,334,174	14
Río Canacucho	571,754	12	4,132,873	11	31,536	1	-	-	4,736,163	24
	104,648,990	378	75,077,659	501	19,750,508	115	17,125,000	1	216,602,156	995

Fuente: Elaboración propia con base en la información del REPDA de Conagua [1]

La Figura 4.4 muestra de manera esquemática la dinámica e interrelación entre los principales actores vinculados no sólo con el aprovechamiento actual de los recursos hídricos, sino con la seguridad hídrica en la ZdE hacia el 2050.

Figura 4.4. Principales actores involucrados en el aprovechamiento del agua en la ZdE



Fuente: Elaboración propia

► 4.2 Abastecimiento público e industrial

En términos del agua disponible para poder atender la demanda en la ZdE, y de acuerdo con la información descrita en la sección anterior, se tendría un volumen concesionado para uso específico en el sector público¹⁴ e industrial¹⁵ de hasta 124.4 hm³ al año.

Demanda de agua potable urbana y rural por microcuenca

De acuerdo con lo establecido por la Conagua [2] para fines de planificación, la demanda de agua potable (Dem AP) está en función de la cantidad población, asentada tanto en el ámbito urbano como rural y, de una dotación establecida; esto es:

$$Dem AP = (Pob URB \times Dot URB) + (Pob RUR \times Dot RUR)$$

Donde:

Dem AP = Demanda de Agua Potable

Pob URB = Población Urbana

Pob RUR = Población Rural

Dot URB = Dotación Urbana = 286.14 litros por habitante por día¹⁶

Dot RUR = Dotación Rural = 100 litros por habitante por día¹⁷

La demanda actual de agua potable en la ZdE asciende a un total de 102.21 millones de m³ al año, de los cuales el 86% corresponde con las microcuencas de río Grande y río Chiquito, que es donde principalmente se asienta la ciudad de Morelia. La tabla siguiente resume los cálculos de esta demanda por tipo de población establecida en cada microcuenca.

Tabla 4.4. Demanda actual de agua potable por microcuenca en la ZdE

MICROCUECA	Pob RUR	Pob URB	Dem AP
	100l/h/d	286.14 l/h/d	hm ³ /año
Atécuaro	1,339	-	0.05
Barranca de agua	286	-	0.01
Capula	3,734	5,624	0.72
El Fresnito	1,572	-	0.06
Lagunillas	14,633	9,641	1.54
Los Pirules	16	8,049	0.84
Paredones	831	-	0.03
Río Chiquito	2,786	119,117	12.54
Río Grande	9,348	706,158	74.09
San Andrés	1,969	-	0.07
San Marcos	8,989	1,367	0.47
Santa Inés	759	-	0.03
Santas Marías	578	-	0.02
Teremendo	4,086	-	0.15
Teremendo Jasso	1,949	-	0.07
Tirio	366	-	0.01
Tiristarán	2,041	-	0.07
Umécuaro	1,269	-	0.05
Tarímbaro1	4,584	9,221	1.13

¹⁴ incluye los rubros público urbano y doméstico de la clasificación del REPDA

¹⁵ Incluye los rubros industriales, agroindustrial, servicios y comercio de la clasificación del REPDA

¹⁶ Calculada con base en el volumen total distribuido por el OOAPAS Morelia en el año 2022 y la población reportada en el censo 2020 del INEGI.

¹⁷ Para zonas rurales, el MAPAS de la Conagua [41] recomienda considerar un consumo promedio de 100 l/h/d, establecido en función del consumo doméstico.

MICROCUCENCA	Pob RUR	Pob URB	Dem AP
	100l/h/d	286.14 l/h/d	hm ³ /año
Tarimbaro2	5,901	12,673	1.54
Charo1	6,998	3,253	0.60
Charo3	16	-	0.00
Charo4	1,438	-	0.05
Charo5	11,285	54,247	6.08
Charo6	1,289	-	0.05
Álvaro Obregón1	3,293	1,380	0.26
Álvaro Obregón2	3,408	-	0.12
Río Canacucho	9,994	11,339	1.55
	104,757	942,069	102.21

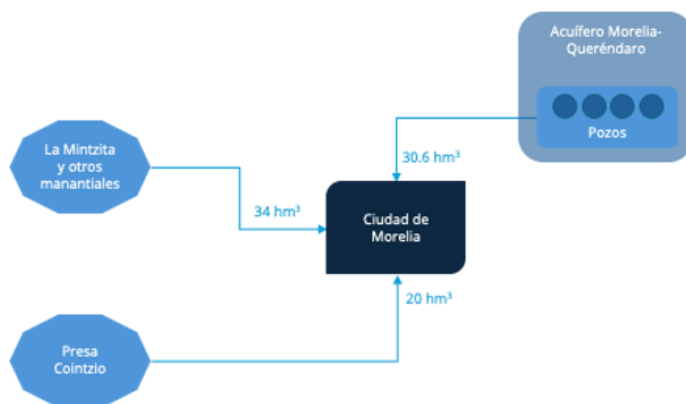
Fuente: Elaboración propia con base en INEGI, 2020 [4] y Conagua [2]

Abastecimiento en la Ciudad de Morelia

El Organismo Operador de Agua Potable y Saneamiento (OOAPAS) de Morelia es el principal encargado del abastecimiento de agua potable en la ZdE¹⁸. Para satisfacer dicha demanda de agua, el OOAPAS se abastece de diferentes fuentes de aguas superficiales y subterráneas (ver **Figura 4.5**).

En 2022 la producción del OOAPAS fue de 84.6 hm³, de los cuales el 64% proviene de aguas superficiales y el 36% restante de subterráneas. Las fuentes superficiales se componen de los manantiales (34 hm³), distinguiéndose entre estos el de La Mintzita que aporta el 91% de ese volumen, y de la presa Cointzio (20 hm³), localizada a 13 km al Suroeste de la ciudad de Morelia, cuya toma y conducción se realiza por gravedad a través de un canal de mampostería hasta la planta potabilizadora Vista Bella, y que a su vez en el trayecto también deriva hacia la planta de Loma Larga. Los 30.6 hm³ aportados por las aguas subterráneas provienen de pozos profundos [6].

Figura 4.5. Fuentes del OOAPAS para el abastecimiento de agua potable a la ciudad de Morelia (volúmenes de 2022)



Fuente: Elaboración propia con base en información del OOAPAS [6]

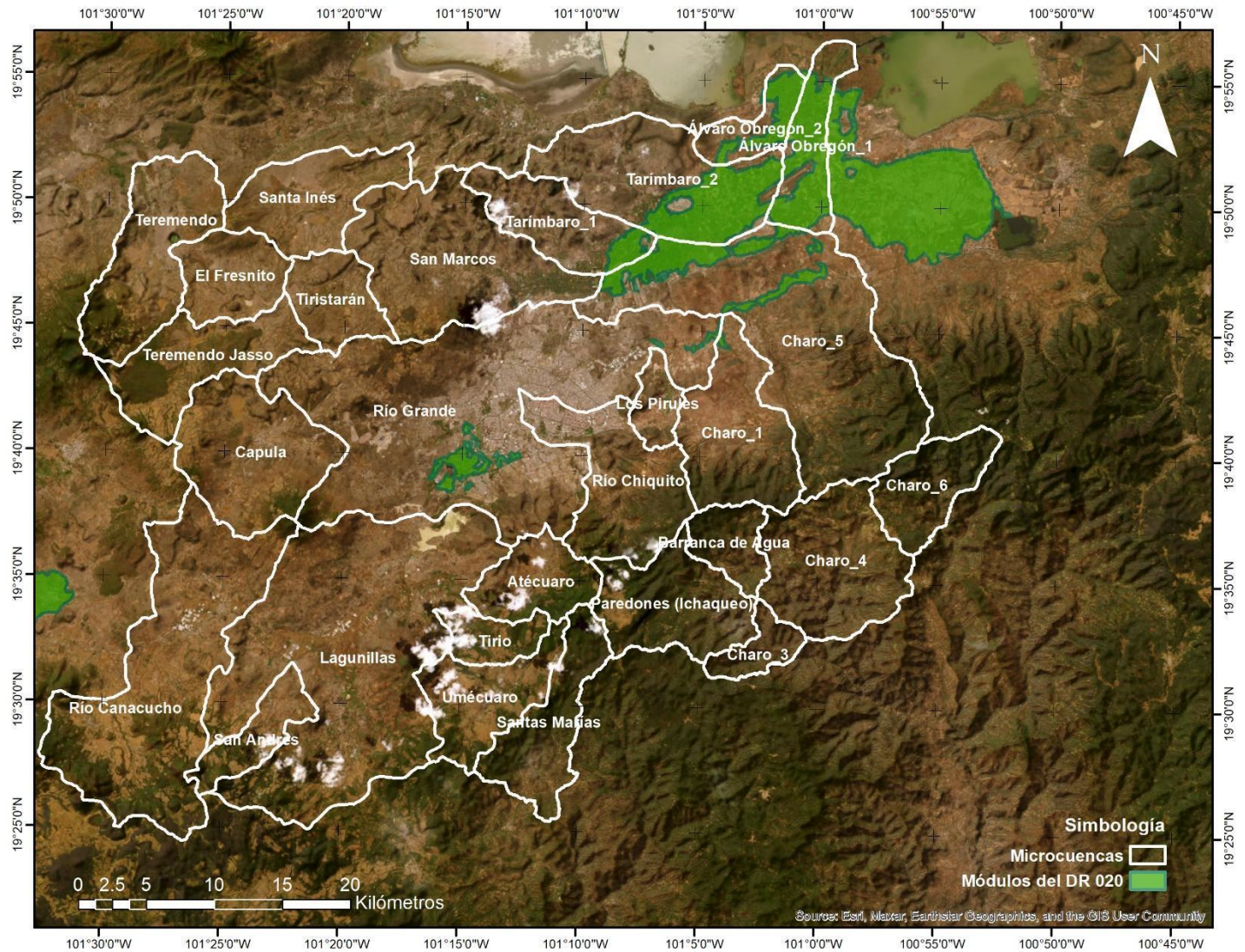
¹⁸ Cabe señalar que adicionalmente existen 4 Juntas Locales y varios Comités que en conjunto atienden a más de 290 localidades urbanas y rurales, con niveles diferentes de densidad de población y cobertura de los servicios.

► 4.3 Uso agrícola, DR 020 Morelia-Queréndaro

En relación con el uso agrícola, la demanda de agua se vincula con el Distrito de Riego DR 020, Morelia-Queréndaro, integrado por 6 módulos en total, de los cuales solamente los módulos I, II, III y IV se localizan dentro de la ZdE (ver **Figura 4.6**).

La superficie física total de los cuatro módulos dentro de la ZdE es de 14,672 hectáreas de las cuales el 99.13% es superficie regable, con un total de 3,984 usuarios. Las fuentes de abastecimiento de estos cuatro módulos son la Presa Cointzio (38.65 hm³/año) y las Aguas Residuales Tratadas (ART) de la ciudad de Morelia (40 hm³/año), para un volumen total concesionado de 78.65 hm³/año (ver **Tabla 4.5**).

Figura 4.6. Ubicación de módulos del DR 020



Fuente: Elaboración propia con base en información del DR020 [3]

Tabla 4.5. Superficie, usuarios y volúmenes concesionados en el DR 020

MÓDULO No.	SUPERFICIE		USUARIOS	PARCELA PROMEDIO	VOLUMEN CONCESIONADO [hm³/año]				
	FÍSICA [ha]	REGABLE [ha]			PRESA COINTZIO	ART	PRESA MALPAÍS	MANANTIALES CHPULTEPEC	TOTAL
I	1,393.97	1,287.25	402	3.5	5.47				5.47
II	1,138.76	1,136.03	400	2.8	0.86	3.43			4.29
III	8,497.99	8,488.96	2,208	3.8	22.04	25.61			47.65
IV	3,641.21	3,632.12	884	4.1	10.28	10.96			21.24
SUBTOTAL Zde	14,671.93	14,544.36	3,894		38.65	40.00	0	0	78.65
V	4,836.77	4,833.81	1383	3.5			20.43		20.43
VI	1,019.00	1,019.00	463	2.2				3.18	3.18
TOTAL	20,527.70	20,397.17	5,740		38.65	40.00	20.43	3.18	102.26

Fuente: Elaboración propia con base en información de Conagua proporcionada por el DR 020 [3]

El volumen promedio entregado al DR 020 en el periodo 2011-2023 asciende a un total de 97.2 millones de m³ al año, de los cuales el 79.5% corresponde a agua para riego y el 20.5% restante a uso público-urbano. Específicamente en términos del agua para riego, el 83.1% corresponde a los volúmenes entregados a través de la Presa Cointzio y las ART de la ciudad de Morelia, en tanto que las aguas subterráneas del acuífero Morelia-Queréndaro contribuyeron con volumen promedio de 13.06 millones de m³ al año (16.9%).

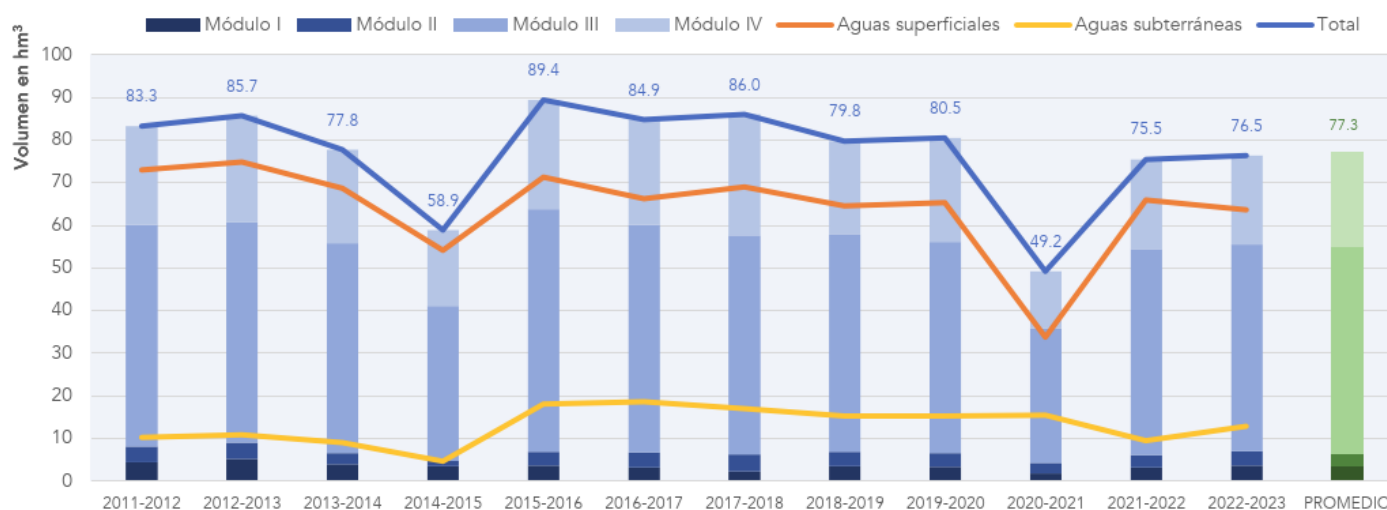
Tabla 4.6. Volúmenes entregados por módulo y punto de control DR 020

MÓDULO / PUNTO DE CONTROL		VOLUMENES ENTREGADOS [hm³/año]												
		2011- 2012	2012- 2013	2013- 2014	2014- 2015	2015- 2016	2016- 2017	2017- 2018	2018- 2019	2019- 2020	2020- 2021	2021- 2022	2022- 2023	Promedi o
I	Canal La Huerta	3.39	3.96	3.03	2.87	2.67	2.22	1.74	2.87	2.28	1.32	2.30	2.83	2.62
	Canal Cointzio	1.13	1.32	1.01	0.67	1.02	1.03	0.51	0.65	1.08	0.58	0.90	0.90	0.90
	Subtotal	4.52	5.28	4.04	3.54	3.69	3.25	2.25	3.52	3.37	1.90	3.20	3.73	3.53
II	La Goleta	0.74	0.77	0.52	0.28	0.45	0.76	0.82	1.26	1.00	0.76	0.90	1.08	0.78
	Corrales	1.66	1.73	1.16	0.45	1.69	1.28	1.52	1.27	1.32	0.86	1.05	1.26	1.27
	La Nopalera	1.29	1.34	0.91	0.43	1.04	1.47	1.68	0.90	0.96	0.79	1.00	0.95	1.06
	Subtotal	3.69	3.83	2.59	1.16	3.18	3.51	4.03	3.43	3.29	2.41	2.95	3.30	3.11
III	Joconoles	45.74	45.58	43.46	33.37	44.93	41.00	42.25	40.39	39.74	21.31	40.90	39.28	39.83
	Pozos	6.20	6.14	5.75	3.04	12.03	12.44	9.16	10.43	9.82	10.25	7.34	9.17	8.48
	Subtotal	51.94	51.72	49.22	36.42	56.96	53.43	51.41	50.82	49.56	31.55	48.24	48.45	48.31
IV	Zacapendo	19.11	20.20	18.62	16.09	19.56	18.46	20.49	17.31	18.90	8.15	18.95	17.29	17.76
	Pozos	4.04	4.69	3.32	1.65	6.06	6.22	7.86	4.71	5.36	5.20	2.20	3.70	4.58
	Subtotal	23.15	24.89	21.94	17.74	25.62	24.68	28.35	22.03	24.25	13.36	21.15	20.99	22.34
Riego con ASUP		73.06	74.89	68.71	54.17	71.36	66.22	69.02	64.66	65.28	33.77	66.00	63.60	64.23
Riego con pozos		10.24	10.83	9.07	4.69	18.09	18.65	17.01	15.14	15.18	15.45	9.54	12.87	13.06
TOTAL RIEGO		83.30	85.72	77.78	58.85	89.45	84.88	86.04	79.80	80.46	49.22	75.55	76.47	77.29
Uso Público-Urbano		20.68	20.86	20.73	19.83	18.06	19.82	19.93	19.57	19.92	19.94	19.80	19.90	19.92
TOTAL UPU		20.68	20.86	20.73	19.83	18.06	19.82	19.93	19.57	19.92	19.94	19.80	19.90	19.92
GRAN TOTAL		103.98	106.57	98.51	78.68	107.51	104.70	105.97	99.37	100.39	69.16	95.34	96.37	97.21

Fuente: Elaboración propia con base en información de Conagua proporcionada por el DR 020 [3]

Como se muestra en la **Figura 4.7**, el volumen máximo entregado al DR 020 corresponde a la temporada entre octubre 2015 y septiembre 2016 con un total de 89.4 millones de m³, mientras que el periodo con el menor volumen corresponde al 2020-2021, coincidiendo con el año de más bajas precipitaciones (671 mm en 2020).

Figura 4.7. Volúmenes de agua para riego entregados al DR 020 en el periodo 2011-2023



Fuente: Elaboración propia con base en información de Conagua proporcionada por el DR 020 [3]

Demanda de agua para riego

Para fines de planificación del presente estudio se considera que la demanda de agua para riego se mantendrá constante en el tiempo, toda vez que las aguas nacionales dentro la ZdE se encuentran bajo veda y que, por tanto, no se podrán asignar nuevas concesiones ni se modificará la superficie de riego actual. En ese sentido, la demanda total de agua para riego se determinará en función de la siguiente expresión:

$$Dem\ AR = Con\ ASUP_R + Con\ ASUB_R$$

Donde:

Dem AR = Demanda de Agua para Riego

Con ASUP_R = Volumen concesionado de aguas superficiales para riego DR 020¹⁹

Con ASUB_R = Volumen concesionado de aguas subterráneas para riego ZdE

La tabla siguiente resume los volúmenes de Con ASUP_R obtenidos en función de los volúmenes concesionados para el DR 020 por punto de control.

Tabla 4.7. Volúmenes concesionados de agua para riego DR 020 – componente aguas superficiales

MODULO	PUNTO DE CONTROL	VOLUMEN CONCESIONADO	PROPORCIÓN POR PUNTO DE CONTROL ²⁰	VOLUMEN CONCESIONADO X PUNTO DE CONTROL	MICROCUENCAS
Módulo I	Canal la Huerta	5.47	0.7444	4.07	Río Grande
	Canal Cointzio		0.2556	1.40	Río Grande
Módulo II	La Goleta	4.29	0.2501	1.07	Río Grande
	Corrales		0.4083	1.75	Charo_1
	La Nopalera		0.3416	1.47	Charo_5
Módulo III	Joconoles	47.65	1.0000	47.65	Tarímbaro_1, Tarímbaro_2, Charo_5
Módulo IV	Zacapendo	21.24	1.0000	21.24	Álvaro Obregón_1, Álvaro Obregón_2
		78.65		78.65	

¹⁹ Incluye a su vez la componente de aguas residuales tratadas

²⁰ Obtenido en función de los valores históricos promedio.

Fuente: Elaboración propia con base en información de Conagua proporcionada por el DR020 [3]

La componente Con_ASUB_R se determina en función de los volúmenes concesionados para uso en riego agrícola. La tabla siguiente resume los diferentes volúmenes por microcuenca que integran la demanda total de agua para riego.

Tabla 4.8. Demanda total de agua para riego

MICROCUECA	DEMANDA TOTAL DE AGUA PARA RIEGO [hm ³ /año]		
	Con $ASUP_R$	Con $ASUB_R$	Dem AR
Atécuaro		-	-
Barranca del agua		-	-
Capula		0.56	0.56
El Fresnito		-	-
Laqunillas		2.88	2.88
Los Pirules		0.08	0.08
Paredones		-	-
R Chiquito		0.37	0.37
R Grande	6.5	4.19	10.73
San Andrés		0.01	0.01
San Marcos		3.88	3.88
Sta. Inés		0.05	0.05
Santas Marías		0.11	0.11
Teremendo		-	-
Teremendo Jasso		-	-
Tirio		0.07	0.07
Tiristarán		-	-
Umécuaro		0.70	0.70
Tarimbaro_1	9.5	5.74	15.27
Tarimbaro_2	23.8	10.31	34.14
Charo_1	1.8	2.10	3.85
Charo_3		-	-
Charo_4		0.15	0.15
Charo_5	15.8	9.82	25.58
Charo_6		-	-
Álvaro Obregón_1	13.8	5.73	19.54
Álvaro Obregón_2	7.4	2.01	9.44
R. Canacucho		-	-
	78.65	48.74	127.41

Fuente: Elaboración propia con base en información de Conagua [1] [3]

► 4.4 Demanda total de agua en la ZdE

La demanda total de aguas nacionales dentro de la ZdE queda entonces definida por:

$$Dem\ T = Dem\ AP + Dem\ AR$$

Donde:

Dem T = Demanda Total de Aguas Nacionales

Dem AP = Demanda de Agua Potable

Dem AR = Demanda de Agua para Riego

La tabla siguiente resume la demanda total de aguas nacionales por microcuenca.

Tabla 4.9. Demanda total de aguas nacionales por microcuenca en la ZdE

MICROCUECA	DEMANDA TOTAL DE AGUA [hm³/año]		
	Dem AP	Dem AR	Dem T
Atécuaro	0.05		0.05
Barranca del agua	0.01		0.01
Capula	0.72	0.56	1.28
El Fresnito	0.06		0.06
Lagunillas	1.54	2.88	4.42
Los Pirules	0.84	0.08	0.92
Paredones	0.03		0.03
R Chiquito	12.54	0.37	12.91
R Grande	74.09	10.73	84.82
San Andrés	0.07	0.01	0.08
San Marcos	0.47	3.88	4.35
Santa Inés	0.03	0.05	0.08
Santas Marías	0.02	0.11	0.13
Teremendo	0.15		0.15
Teremendo Jasso	0.07		0.07
Tirio	0.01	0.07	0.08
Tiristarán	0.07		0.07
Umécuaro	0.05	0.70	0.75
Tarimbaro_1	1.13	15.27	16.40
Tarimbaro_2	1.54	34.14	35.68
Charo_1	0.60	3.85	4.45
Charo_3	0.00		0.00
Charo_4	0.05	0.15	0.20
Charo_5	6.08	25.58	31.66
Charo_6	0.05	-	0.05
Álvaro Obregón_1	0.26	19.54	19.80
Álvaro Obregón_2	0.12	9.44	9.56
R. Canacucho	1.55		1.55
	102.21	127.39	229.61

Fuente: Elaboración propia con base en información de Conagua [1] [3]

► 4.5 Situación del sistema de abastecimiento de agua y tratamiento de aguas residuales

El OOAPAS Morelia a cargo del sistema de abastecimiento y tratamiento de aguas en la ciudad de Morelia realizó un ejercicio de diagnóstico y planificación para su mejoramiento en el año 2021 [5]. A continuación, se resumen los principales hallazgos que permiten delinear la situación actual del sistema.

Diagnóstico

El diagnóstico del estado actual del sistema se basa en un Tablero de Control y Evaluación, que incluye 88 indicadores de desempeño, que se refieren a diversos aspectos, tales como las coberturas, la eficiencia energética y física, la gestión comercial, el manejo del personal y las finanzas. La **Tabla 4.10** a continuación resume una serie de datos básicos del sistema. Se tienen un total de 249,438 tomas activas registradas de las cuales solamente el 27% cuenta con servicio continuo.

Tabla 4.10. Datos básicos del sistema de abastecimiento y tratamiento de aguas

DATOS BÁSICOS DEL SISTEMA	UNIDAD	CANTIDAD
Total de tomas activas registradas	Tomas	249,438
Tomas domésticas	Tomas	225,245
Tomas domésticas con medidor	Tomas	141,988
Tomas comerciales	Tomas	21,050
Tomas comerciales con medidor	Tomas	19,653
Tomas industriales	Tomas	1,751
Tomas industriales con medidor	Tomas	1,661
Tomas servicio público	Tomas	1,023
Tomas servicios públicos con medidor	Tomas	918
Otras	Tomas	369
Otras tomas con medidor	Tomas	361
Micromedidores instalados funcionando	Unidad	85,239
Medidores	Tomas	154,852
Tomas con servicio continuo	Tomas	68,745
Tomas conectadas al alcantarillado	Tomas	249,207
Volumen producido	m ³ /año	80,650,585
Producción anual de agua subterránea	m ³ /año	30,635,604
Producción anual de agua superficial	m ³ /año	50,014,981
Fuentes de abastecimiento activas	Unidad	114
Macromedidores instalados funcionando	Unidad	98
Volumen macromedido	m ³ /año	77,105,988
Volumen de agua facturado	m ³ /año	39,301,560
Volumen de agua residual tratado	m ³ /año	34,766,232
Número de PTAR	unidad	8
Capacidad instalada de tratamiento	lps	1,472
Número de Plantas potabilizadoras	unidad	4
Muestras totales bacteriológicas analizadas	unidad	4,501
Muestras bacteriológicas con cumplimiento de normatividad	unidad	3,848

Fuente: Elaboración propia con base en información de OOAPAS [6]

En términos de infraestructura, el OOAPAS cuenta con 8 Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR), dentro de las cuales destacan la PTAR Atapaneo y la PTAR Itzicuaros, con una capacidad instalada conjunta de 1,410 lps, 95% del total. Asimismo, cuenta con 5 Plantas Potabilizadoras con una capacidad instalada de 1,565 lps.

Tabla 4.11. Plantas de tratamiento de aguas residuales y potabilizadoras del OOAPAS Morelia

PTAR	PERIODO DE OPERACIÓN	CAPACIDAD INSTALADA	CAUDAL TRATADO	PROCESO DE TRATAMIENTO
Cuto de la Esperanza	n/a, operando	7.0 lps	4.0 lps	Biológico Anaerobio (RAFA)
Villa Magna	n/a, operando	8.5 lps	0 lps	Tratamiento Primario Avanzado (Fisicoquímico)
Ignacio Zaragoza	2001 - 2018	7.0 lps	0 lps	Biológico Anaerobio (RAFA)
Lomas de la Maestranza	2014-2018	30.0 lps	0 lps	Tratamiento Primario Avanzado (Fisicoquímico)
Arko San Antonio	2011- 2018	18.0 lps	0 lps	Tratamiento Primario Avanzado (Fisicoquímico)
San Miguel del Monte	2011-Actual	3.0 lps	1.8 lps	Biológico Anaerobio (RAFA)
Atapaneo	2007- Actual	1,200 lps	1,100 lps	Biológico Aerobio (Lodos Activados)
Itzicuaros	2012-Actual	210 lps	190 lps	Biológico Aerobio (Lodos Activados)

POTABILIZADORA	SECTOR	GASTO MEDIO	GASTO PRODUCIDO	
Mintzita	6	853 lps	26.9 hm ³	
Vista Bella	5	609 lps	19.2 hm ³	
Loma Larga	5	10 lps	0.32 hm ³	
Manantial San Miguel	4	40 lps	1.3 hm ³	
El Salto y La Higuera	6	53 lps	1.1 hm ³	

Fuente: Elaboración propia con base en información de OOAPAS [6]

Cobertura de agua potable y alcantarillado

La Cobertura de Agua Potable y Alcantarillado en la cabecera municipal es del 99.90%, considerada como buena; así como la Cobertura de Alcantarillado, que alcanza el 99.81%; en tanto que la Eficiencia global que es muy baja con tan sólo 43.73%, en concordancia con la Eficiencia física que es también baja, con 48.73%. Donde la eficiencia global se define como la relación entre la Eficiencia física x Eficiencia comercial, la Eficiencia física como la relación entre el volumen consumido/Volumen suministrado x100 y la Eficiencia comercial como la relación entre el Importe de agua recaudado /Importe de agua facturado x100.

El Porcentaje de Cumplimiento de calidad bacteriológica de agua potable es del 85.49%; que muestra una ventana de oportunidad de mejora para cumplir cabalmente la normatividad respectiva.

Con coberturas tan buenas tanto de Agua Potable, como de Alcantarillado, es un gran reto el buscar completar la cobertura. La mejora de la Eficiencia Física puede dar oportunidad a mejora del Índice de Eficiencia Global. Es recomendable la búsqueda de aseguramiento de la cobertura total de desinfección como prioridad de salud.

Tabla 4.12. Indicadores del tablero de control, módulo de coberturas

#	INDICADOR – MODULO COBERTURA	RESULTADO
1	Cobertura de agua potable	99.90%
2	Cobertura de alcantarillado	99.81%
3	Cobertura de tratamiento	99.24%
4	Eficiencia global	43.73%
5	Capacidad instalada de tratamiento de aguas residuales (lps)	1472
6	% de Cumplimiento de calidad bacteriológica de agua potable	85.49%

Fuente: Elaboración propia con base en información de OOAPAS [5]

Eficiencia energética

La Incidencia de los costos de Energía Eléctrica en los Gastos Operativos Totales (es decir el porcentaje que representa el gasto por consumo de energía eléctrica del total de gastos operacionales) es del 12.12%; ligeramente mayor que el parámetro máximo establecido en 10%, y aunque esto se debe principalmente al cambio de tarifas de la CFE, hay otros factores que deben atenderse. El Factor de Carga (0.55) está por debajo del rango en los parámetros recomendables (70 - 90%).

Como gastos unitarios, el OOAPAS paga a \$2.11 el Kw-hr, y gasta \$1.25 por m³ producido. El Indicador energético es de 0.59 kWh/m³ producido, el Porcentaje de Consumo en Punta (promedio) es del 6.08%, por debajo del rango de semaforización del Tablero.

Tabla 4.13. Indicadores del tablero de control, módulo de eficiencia energética

#	INDICADOR – MODULO EFICIENCIA ENERGÉTICA	RESULTADO
1	Incidencia de la energía eléctrica	12.12%
2	Gasto unitario de la energía eléctrica (\$/kWh)	2.11
3	Gasto de EE por metro cúbico producido (\$/m ³)	1.25
4	Indicador energético (kWh/m ³ producido)	0.59
5	Porcentaje de Consumo en Punta (promedio)	6.08%
6	Factor de Carga	0.55

Fuente: Elaboración propia con base en información de OOAPAS [5]

Eficiencia física

El indicador de la Eficiencia Física es de 48.73%, por debajo del rango aceptable, de acuerdo con los parámetros establecidos, que son del 60% al 75%. La Cobertura de volumen macromedido (medidores en las fuentes de suministro) es de 95.60%, pero la de micromedición (medidores domiciliarios) es baja e incierta, por lo que la eficiencia física y los demás indicadores que se basan en la macro y micromedición tienen un alto nivel de incertidumbre.

La Continuidad en el servicio (43.85%) es muy baja, como evidencia de una gran cantidad de tandeos en el servicio, sólo el 27.99% de las tomas tienen servicio continuo, cuando el rango aceptable de tomas con servicio continuo indicado por los parámetros de semaforización es del 60% al 100%.

La Dotación a nivel de producción por habitante es de 288 litros/habitante/día que es un valor aceptable, mientras que el Consumo por habitante se estima en 140 litros/habitante/día. Dado que el Porcentaje de Agua no contabilizada (51.27%) es muy alto, esto pudiera verse reflejado en una "sobrestimación" de los volúmenes producidos -Dotación muy alta- y una "subestimación" de los volúmenes entregados -consumos bajos- por lo que estos indicadores tienen un alto nivel de incertidumbre, por ello es necesario la adquisición e instalación de macromedidores en todas las fuentes de abastecimiento.

El Tiempo promedio de servicio es de 10.53 horas diarias, que se considera bajo en relación con la dotación.

La Relación de agua residual tratada respecto a agua potable facturada es 88.46%, y aunque está dentro de los límites aceptables, representa un área de mejora.

De acuerdo con los cálculos internos del Tablero de Control, las Pérdidas físicas no perceptibles en la red y tomas (0.858%) y las Pérdidas físicas en tanques (0.15%), están dentro de los rangos aceptables de semaforización, siendo estos del 0% al 1% y del 0% al 5% respectivamente. Sin embargo, se tienen tanques con varios años en operación y un mínimo de mantenimiento; asimismo, la tubería es vieja y con presiones de trabajo altas. La Longitud actual estimada de la red es de 3,898.65 Km.

Tabla 4.14. Indicadores del tablero de control, módulo de eficiencia física

#	INDICADOR – MODULO EFICIENCIA FÍSICA	RESULTADO
1	Eficiencia física	48.73%
2	Continuidad en el servicio	43.85%
3	Porcentaje de tomas con servicio continuo	27.99%
4	Dotación a nivel de producción por habitante (l/Hab/día)	288
5	Consumo por habitante (l/hab/día)	140
6	Porcentaje de Agua no contabilizada	51.27%
7	Tiempo promedio de servicio (horas diarias)	10.53
8	Cobertura de volumen macromedido	95.60%
9	Relación de agua residual tratada respecto a agua potable facturada	88.46%
10	Pérdidas físicas no perceptibles en la red y tomas	0.86%
11	Pérdidas físicas en tanques	0.15%
12	Longitud de la red (km)	3,898.65

Fuente: Elaboración propia con base en información de OOAPAS [5]

Programa de acciones e inversiones

El Plan de Desarrollo Integral (PDI) del OOAPAS de Morelia está orientado a lograr una mejora de la calidad y nivel del servicio ofrecido a sus usuarios, como objetivo fundamental. Para ello, se definen tres *objetivos estratégicos*: *Reducir los Costos de Operación*, *Incrementar los Ingresos* y *Reducir las Pérdidas de Agua*. La consecución de esos objetivos implica la puesta en marcha de un conjunto de acciones (42 en total) que fueron organizadas en varios Paquetes de Acciones e Inversiones (PAI).

Tabla 4.15. Objetivos estratégicos y paquetes de acciones e inversiones OOAPAS

OBJETIVO ESTRATÉGICO / PAQUETE DE ACCIONES E INVERSIONES	
OBJETIVO 1	Reducir los Costos de Operación del OOAPAS
PAI - 1	Reducción de costos de energía
PAI - 2	Incremento de la productividad del personal de OOAPAS
OBJETIVO 2	Incrementar los Ingresos del OOAPAS
PAI - 3	Mejora de la gestión comercial
OBJETIVO 3	Reducir las Pérdidas de Agua
PAI - 4	Reducción de pérdidas físicas de agua
PAI - 5	Sostenibilidad a las acciones

Fuente: Elaboración propia con base en información de OOAPAS [5]

A continuación, se presenta el resumen de acciones que en relación con el presente estudio resultan ser más relevantes; esto es, reducción de costos de energía (PAI-1) y reducción de pérdidas físicas de agua (PAI-4).

Tabla 4.16. Acciones más relevantes identificadas en el PDI de OOAPAS

PAI / ACCIÓN	DESCRIPCIÓN	INVERSIÓN / COSTO OPERACIONAL	VARIABLE(S) DE AHORRO	% DE AHORRO
PAI – 1 : REDUCCIÓN DE COSTOS DE ENERGÍA				
Solicitud de cambio de tarifa eléctrica para reducir gasto por concepto de energía eléctrica.	Asesoría Cambio de tarifas Eléctrica.	\$1,250,000	Total, Energía Eléctrica.	0.5%
Reducción de la potencia reactiva (reducción del factor de potencia).	Instalación o sustitución de equipos.	\$2,250,000	Total Energía Eléctrica.	0.5%
Sustitución de equipos de bombeo de agua potable para reducir consumo de energía.	Compra e instalación de bombas AP.	\$13,500,000	Total Energía Eléctrica.	1.0%
Sustitución o construcción de tanques de almacenamiento de agua para modificar políticas de operación del equipo de bombeo.	Construcción de tanques.	\$45,000,000	Total Energía Eléctrica. Disminución de costo de personal	1.0% 0.5%
Solicitud de cambio de tarifa eléctrica para reducir gasto por concepto de energía eléctrica.	Asesoría Cambio de tarifas Eléctrica.	\$1,250,000	Total Energía Eléctrica.	0.5%
Reducción de la potencia reactiva (reducción del factor de potencia).	Instalación o sustitución de equipos.	\$2,250,000	Total Energía Eléctrica.	0.5%
Automatización de equipos de bombeo para modificar políticas de operación.	Automatización Bombas.	\$4,500,000	Total Energía Eléctrica. Disminución de costo de personal (%).	1.0% 1.0%
Elaboración de una auditoría energética.	Estudio Eficiencia Energética.	\$1,750,000		
Total Inversión PAI para Reducir Gastos de Energía Eléctrica		\$71,750,000		5.5%
PAI – 4 : REDUCCIÓN DE PÉRDIDAS FÍSICAS DE AGUA				
Localización y reparación de fugas en tanques	Costo Total fugas tanque	\$60,000	Mejora E.F. por tanques	0.6%
Localización y reparación de fugas en tuberías principales y secundarias	Costo localización y reparación fugas	\$4,988,760	Mejora E.F. en tuberías	3.0%
Instalación de micromedidores en las tomas	Instalación nuevos micromedidores	\$84,857,000	Mejora E.F. en tomas	7.0%
	Lectura de nuevos medidores	\$1,200,000		
Sistematización de lectura de micromedidores en tomas e incorporación de lecturas al sistema de facturación y cobranza	Sistema de lectura automático micro	\$760,000	Aumento de ingresos por tomas de lectura	5.0%
Optimización hidráulica: sectorización de la red de distribución, control de presión, optimización de la capacidad de almacenamiento.	Sectorización	\$49,887,600	Mejora E.F. por sectorización	1.0%
Catastro de infraestructura hidráulica y de redes	Catastro de redes	\$49,887,600	Mejora E.F. por catastro de redes	0.2%
Instalación de macromedidores en captaciones	Macromedición en captaciones	\$6,400,000	Mejora E.F. por macromedición en captaciones	0.5%
Instalación de macromedidores en sectores	Macromedición en sectores	\$24,943,800	Mejora E.F. por macromedición en sectores	0.2%
Sistematización de lectura de macromedidores en captaciones y sectores (p.ej. a través de telemetría)	Automatización lectura macromedidores	\$13,894,380	Mejora E.F. por lectura de macros	0.2%
Sustitución de tuberías con alto índice de fugas	Sustitución tuberías por fugas	\$99,775,200	Mejora E.F. por sustitución de tuberías	3.0%
Capacitación del personal en operación de equipos	Capacitación en operaciones	\$2,100,000	Mejora E.F. por mayor capacitación	0.6%
Sistema de Información Geográfica	GIS	\$12,471,900	Mejora E.F. por GIS	0.3%
Total Inversión PAI para Reducir Pérdidas Físicas de Agua		\$351,226,240		21.6%

Fuente: Elaboración propia con base en información de OOAPAS [5]

Es de importancia también incluir en este apartado la relación de inversiones adicionales que fueron identificadas durante este ejercicio de planificación.

Tabla 4.17. Inversiones adicionales del PDI OOAPAS

#	DESCRIPCIÓN DE LA INVERSIÓN	MONTO	PRIORIDAD
1	Sustitución de la línea de conducción de la Presa Cointzio a PP Vista Bella	300,000,000	1
2	Rehabilitación de Planta Potabilizadora Vista Bella: Tanques floculadores, sedimentadores, filtros y sistema de recuperación y secado de lodos	60,000,000	2
3	Rehabilitación y/o Sustitución de la línea de conducción de San Miguel del Monte a Planta San Miguel (100 lps)	75,000,000	3
4	Rehabilitaciones de líneas de alimentación principales de la ciudad	120,000,000	4
5	Diseño, construcción y puesta en marcha de Ampliación de PTAR Atapaneo, para 600 lps	350,000,000	5
6	Rehabilitación de la Telemetría y Control de fuentes de Abastecimiento	10,000,000	6
7	Rehabilitación del sistema de alimentación eléctrica en MT (Subestaciones y equipo de protección)	5,000,000	7
8	Acuaférico Poniente a Norte (5 km)	60,000,000	8
9	Rehabilitación y puesta en operación de tanques de distribución.	10,000,000	9
10	Rehabilitación de PTAR's operadas por OOAPAS	12,000,000	10
11	Diseño y construcción de PP c/línea de conducción en zona Poniente (Villas del Pedregal) para 100 lps	380,000,000	11
12	Construcción de una batería de pozos del acuífero Atapaneo para 200 lps	200,000,000	12
13	Rehabilitación de la medición y operación de 65 Distritos hidrométricos	5,200,000	13
14	Diseño y construcción de PTAR de Jesús del Monte	25,000,000	14
15	Equipamiento de sitios de medición y control y obra civil para la habilitación de distritos hidrométricos (40)	6,400,000	15
16	Implementación de un sistema de lectura inteligente en medición de usuarios de alto nivel de consumo	10,000,000	16
		1,628,600,000	

Fuente: Elaboración propia con base en información de OOAPAS [5]

Referencias

- [1] **CONAGUA, 2024.** Registro Público de Derechos del Agua. <https://app.conagua.gob.mx/consultarepda.aspx>
- [2] **CONAGUA, 2015.** Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento. Volumen 4: Datos Básicos para Proyectos de Agua Potable y Alcantarillado.
- [3] **CONAGUA, 2024.** Relación de títulos y volúmenes por fuente de abastecimiento otorgados al DR 020.
- [4] **INEGI, 2020.** Principales resultados por localidad (ITER) del Censo de Población y Vivienda 2020. Datos oportunos. INEGI. Censo de Población y Vivienda 2020. SNIEG. Información de Interés Nacional. Conjunto de indicadores de población y vivienda a nivel localidad de todo el país, provenientes del Censo de Población y Vivienda 2020
- [5] **OOAPAS, 2021.** Plan de Desarrollo Integral (PDI) del Organismo Operador de Morelia. Planeación y Asesoría en Gestión Hidráulica, S.A. de C.V. (PAGHid)
- [6] **OOAPAS, 2024.** Abastecimiento de agua para la Ciudad de Morelia 2022. Dirección de Producción OOAPAS.

5. Disponibilidad actual y futura del agua



► 5.1 Disponibilidad de aguas subterráneas

Consideraciones iniciales

A fin de poder establecer la disponibilidad de aguas subterráneas en la ZdE es necesario tener presente las siguientes consideraciones iniciales:

- La ZdE, conformada por 28 microcuencas, comprende a su vez 5 acuíferos de manera parcial (ninguno de manera total)
- El principal, el acuífero Morelia-Queréndaro comprende el 75% de la superficie de la ZdE y abarca 20 microcuencas, aunque tiene un 45% de su superficie por fuera de la ZdE.
- El 25% de la superficie de la ZdE (8 microcuencas) se reparte entre los acuíferos de Huetamo, Tacámbaro-Turicato, Lagunillas-Pátzcuaro y Zacapu.
- La información oficial publicada por la Conagua [13] acerca de la disponibilidad media anual (DMA) de agua subterránea a la fecha se encuentra únicamente a nivel de acuífero.
- Más del 80% de la superficie de la ZdE se encuentra sobre acuíferos en condiciones de sobreexplotación y, por tanto, en veda, con lo cual su volumen concesionado se mantendrá sin cambio.

Por lo tanto, dadas las condiciones y características de los recursos hídricos subterráneos dentro de la ZdE y la información que en relación con estos se tiene disponible, no es posible establecer un balance de agua subterránea a nivel de microcuenca. La Disponibilidad media anual de aguas subterráneas estará entonces determinada por el volumen concesionado en cada microcuenca, tanto para el abastecimiento de agua potable como el uso del agua en el riego agrícola.

Se puede afirmar que la sobreexplotación del acuífero se debe a diversos factores, el principal es la escasa vigilancia por parte de la autoridad del agua (Conagua) sobre las perforaciones ilegales y la falta de información real de las sobre-extracciones de los pozos con concesión.

Disponibilidad media anual de aguas subterráneas por microcuenca

Tomando en cuenta que la disponibilidad media anual (DMA) de aguas subterráneas se determina a partir de los volúmenes concesionados para los diferentes usos, la DMA puede entenderse entonces como la aportación de las aguas subterráneas al balance general de los recursos hídricos y calcularse en función de la siguiente expresión:

$$Ap ASUB = Con AP + Con AR$$

Donde:

Ap ASUB = Aportación total de aguas subterráneas

Con AP = Volumen de aguas subterráneas concesionado para abastecimiento de agua potable

Con AR = Volumen de aguas subterráneas concesionado para uso en riego agrícola

La **Tabla 5.1** a continuación muestra el resumen de los volúmenes concesionados por microcuenca.

Tabla 5.1. Aportación de aguas subterráneas al balance hídrico en la ZdE

MICROCUCENCA	Con AP	Con AR	Ap ASUB	ACUÍFERO
	[hm³/año]			
Atécuaro			-	Morelia - Queréndaro
Barranca del agua			-	Huetamo
Capula	0.26	0.56	0.82	Morelia - Queréndaro
El Fresnito	0.07		0.07	Morelia - Queréndaro
Lagunillas	0.24	2.88	3.12	Morelia - Queréndaro
Los Pirules	1.32	0.08	1.40	Morelia - Queréndaro
Paredones	-	-	-	Huetamo
R Chiquito	6.33	0.37	6.70	Morelia - Queréndaro
R Grande	30.90	4.19	35.09	Morelia - Queréndaro
San Andrés	-	0.01	0.01	Morelia - Queréndaro
San Marcos	3.72	3.88	7.59	Morelia - Queréndaro
Sta. Inés	0.03	0.05	0.08	Morelia - Queréndaro
Santas Marías	-	0.11	0.11	Tacámbaro - Turicato
Teremendo	0.19	-	0.19	Zacapu
Teremendo Jasso	0.01	-	0.01	Morelia - Queréndaro
Tirio	-	0.07	0.07	Morelia - Queréndaro
Tiristarán	0.05	-	0.05	Morelia - Queréndaro
Umécuaro	-	0.70	0.70	Morelia - Queréndaro
Tarimbaro_1	0.82	5.74	6.56	Morelia - Queréndaro
Tarimbaro_2	0.45	10.31	10.76	Morelia - Queréndaro
Charo_1	0.47	2.10	2.57	Morelia - Queréndaro
Charo_3	0.05	-	0.05	Huetamo
Charo_4	0.14	0.15	0.29	Huetamo
Charo_5	2.86	9.82	12.67	Morelia - Queréndaro
Charo_6	-	-	-	Huetamo
Álvaro Obregón_1	0.59	5.73	6.33	Morelia - Queréndaro
Álvaro Obregón_2	0.33	2.01	2.33	Morelia - Queréndaro
R. Canacucho	0.40	-	0.40	Lagunillas - Pátzcuaro
	49.23	48.76	97.97	

Fuente: Elaboración propia con base en información de Conagua [4]

Si consideramos los volúmenes por acuífero tenemos que Morelia-Queréndaro aporta el 98.93% (96.94 hm³/año), mientras que el resto de los acuíferos solamente contribuyen con el 1.07%.

► 5.2 Disponibilidad de aguas superficiales

De acuerdo con lo establecido en la NOM-011-CONAGUA-2015, y dada la información disponible, la disponibilidad de aguas superficiales se determina por la siguiente expresión:

$$VMA = Esc\ AAR + Esc\ NAT + Ret + Imp - Exp - Ext - Evp\ EMB - \Delta\ Alm$$

De manera simplificada también se puede expresar como:

$$VMA = Esc\ AAR + Esc\ CP + Ap\ ASUB - Dem\ T$$

Donde:

VMA = Volumen medio anual de escurrimiento hacia aguas abajo

Esc AAR = Volumen medio anual de escurrimiento aguas arriba

Esc CP = Escurrimiento en cuenca propia

Ap ASUB = Aportación de aguas subterráneas

Dem T = Demanda total

Esc NAT = Escurrimiento natural

Ret = Volumen medio anual de retornos

Imp = Volumen medio anual de importaciones

Exp = Volumen medio anual de exportaciones

Ext = Volumen medio anual de extracciones

Evp EMB = Volumen medio anual de evaporación en embalses

$\Delta\ Alm$ = Volumen medio anual de variación de almacenamiento

Escurrimiento aguas arriba (Esc AAR)

El escurrimiento aguas arriba, entendido como el volumen medio anual de agua que en forma natural proviene de una cuenca hidrológica ubicada aguas arriba de la cuenca o subcuenca en análisis [4], estará determinado por el drenaje superficial en la ZdE; es decir, depende de la conectividad hidrológica previamente establecida entre las diferentes microcuencas (ver **Figura 3.9**).

Escurrimiento en cuenca propia (Esc CP)

El escurrimiento en cuenca propia, microcuenca en nuestro caso, se determina a partir de la siguiente expresión:

$$Esc\ CP = Esc\ NAT + Ret\ AP + Ret\ AR + MAN - ETR$$

Donde:

Esc CP = Escurrimiento en cuenca propia

Esc NAT = Escurrimiento natural

Ret AP = Volumen medio anual de retorno del agua por uso en agua potable

Ret AR = Volumen medio anual de retorno del agua por uso en agua para riego agrícola

MAN = Volumen medio anual de manantiales

ETR = Evaporación en embalses

Escurrimiento natural (Esc NAT)

En consideración del método indirecto de precipitación-escurrimiento [4], el escurrimiento natural se determina a partir de la siguiente expresión:

$$Esc NAT_{MC} = PMA_{MC} \times Ce_{MC} \times A_M$$

Donde:

Esc NAT = Esgurrimiento natural en la microcuenca
 PMA_{MC} = Precipitación media anual por microcuenca
 Ce_{MC} = Coeficiente de escurrimiento
 A_{MC} = Área de la microcuenca

Precipitación Media Anual (PMA)

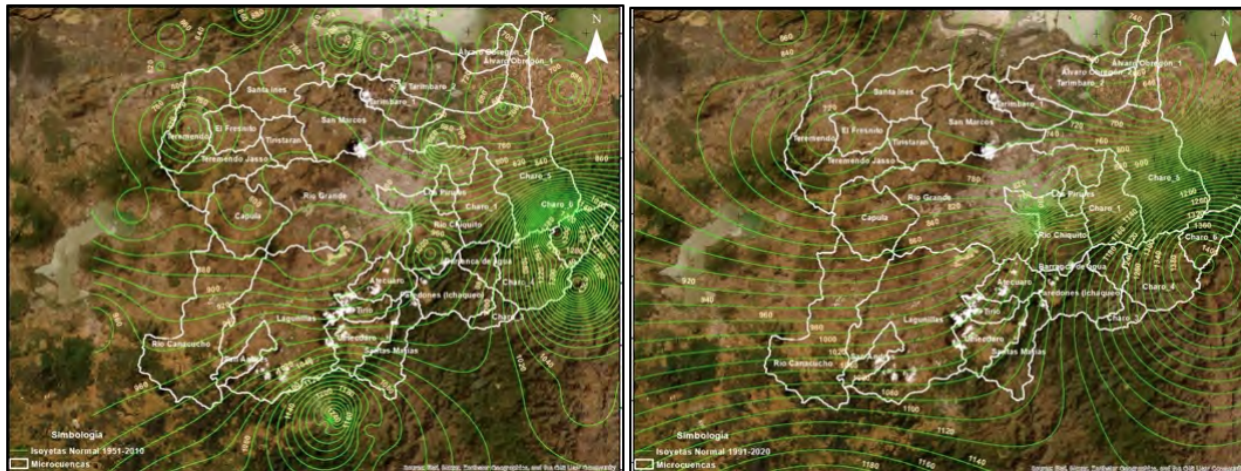
A fin de poder obtener la PMA por microcuenca

$$PMA_{MC} = \frac{1}{A_{MC}} \sum_{i=1}^N P_i A_i$$

Donde:

PMA = Precipitación media anual por microcuenca
 A_{MC} = Área de la microcuenca
 P_i = Isoyeta promedio de precipitación en el polígono i
 A_i = Área en el polígono i
 i = Polígono i formado entre dos isoyetas
 n = Número total de polígonos

Figura 5.1. Isoyetas de precipitación 1951-2010 (izquierda) vs 1991-2020 (derecha)



Fuente: Elaboración propia con base en información de Conagua [8] utilizando los algoritmos SIG y considerando la precipitación media anual por estación tanto del histórico 1951-2010²¹ como de la normal climatológica 1991-2020, se calcularon las isoyetas de precipitación correspondientes (ver **Figura 5.1**). El uso de la normal climatológica permitiría predecir de mejor forma las condiciones que es más probable que se produzcan en un futuro próximo; no obstante, la baja cantidad de estaciones utilizadas en su cálculo (sólo 11 estaciones) y sobre todo la ubicación de estas, genera una distribución de la precipitación cuya media resulta por encima de la media en el estado de Michoacán (879.4 mm) y de la región hidrológico-administrativa Lerma Santiago-Pacífico (810.3 mm) (ver **Tabla 5.2**). Al no tener estaciones disponibles dentro de la ZdE en todo el cuadrante Suroeste, la precipitación ahí se ve demasiado influenciada por una sola estación, que además se encuentra muy por debajo de la ZdE. En ese sentido, y dando prioridad al mayor número de estaciones en la ZdE y a la mayor cantidad de datos disponibles, la PMA a ser utilizada en el cálculo de la disponibilidad media anual en la ZdE es la calculada a partir de la serie histórica 1951-2010.

²¹ La normal climatológica 1990-2020, calculada a partir de series de datos más recientes, permitiría predecir de mejor forma las condiciones que es más probable que se produzcan en un futuro próximo; no obstante, la poca cantidad de estaciones utilizadas en su cálculo y sobre todo la ubicación de estas, produce una distorsión en las isoyetas medias anuales.

Tabla 5.2. Precipitación media anual 1991-2020 vs 1991-2010 [en mm]

MICROCUENCA	PMA	
	1991-2020	1991-2010
Atécuaro	680.93	708.43
Barranca del agua	712.67	712.20
Capula	1,018.80	915.23
El Fresno	1,178.78	965.97
Lagunillas	807.59	822.85
Los Pirules	1,029.38	891.94
Paredones	1,228.58	1,008.09
R Chiquito	1,316.97	1,154.71
R Grande	904.61	847.56
San Andrés	1,349.89	1,228.97
San Marcos	727.10	789.61
Sta. Inés	972.82	934.91
Santas Marías	899.20	831.89
Teremendo	1,146.29	960.20
Teremendo Jasso	970.96	923.56
Tirio	1,003.34	913.84
Tiristarán	817.87	824.56
Umécuaro	1,019.70	973.41
Tarimbaro_1	731.34	795.80
Tarimbaro_2	732.26	799.28
Charo_1	1,080.40	1,007.89
Charo_3	705.70	769.98
Charo_4	671.57	741.47
Charo_5	736.62	766.87
Charo_6	762.37	807.26
Álvaro Obregón_1	1,012.28	928.57
Álvaro Obregón_2	746.53	816.28
R. Canacucho	1,037.99	980.71
Zona de estudio	928.66	886.50
Michoacán	879.40	
Lerma-Santiago-Pacífico	810.30	

Fuente: Elaboración propia con base en información de Conagua [4]

Coeficiente de escurrimiento (Ce)

De acuerdo con la NOM-11-CONAGUA-2015, el coeficiente de escurrimiento se determina en función del tipo y uso de suelo, así como del volumen de precipitación anual en cada microcuenca.

$$Ce = \frac{K(PMA-250)}{2000} \quad K \leq 0.15$$

$$Ce = \frac{K(PMA-250)}{2000} + \frac{(K-0.15)}{1.5} \quad K > 0.15$$

Donde:

Ce = Coeficiente de escurrimiento

K = Parámetro que depende del tipo y uso de suelo

PMA = Precipitación media anual

La evapotranspiración está incluida en el coeficiente de escurrimiento (NOM-011-CONAGUA-2015).

El parámetro K que depende del tipo y uso de suelo se obtiene dependiendo del caso a través de la siguiente tabla:

Tabla 5.3. Valores del parámetro K en función del tipo y uso de suelo

TIPO DE SUELO		CARACTERÍSTICAS		
A		Suelos permeables, tales como arenas profundas y loess poco compactos		
B		Suelos medianamente permeables, tales como arenas de mediana profundidad: loess algo más compactos que los correspondientes a los suelos A; terrenos migajosos		
C		Suelos casi impermeables, tales como arenas o loess muy delgados sobre una capa impermeable, o bien arcillas		
USO DE SUELO		TIPO DE SUELO		
		A	B	C
Barbecho, áreas incultas y desnudas		0.26	0.28	0.30
Cultivos:	En Hilera	0.24	0.27	0.30
	Legumbres o rotación de pradera	0.24	0.27	0.30
	Granos pequeños	0.24	0.27	0.30
Pastizal (% del suelo cubierto o pastoreo):	Poco [> 75%]	0.14	0.20	0.28
	Regular [50% - 75%]	0.20	0.24	0.30
	Excesivo [< 50%]	0.24	0.28	0.30
Bosque: (Cobertura)	[> 75%]	0.07	0.16	0.24
	[50% - 75%]	0.12	0.22	0.26
	[25% - 50%]	0.17	0.26	0.28
	[< 25%]	0.22	0.28	0.30
Zonas urbanas		0.26	0.29	0.32
Caminos		0.27	0.30	0.33
Pradera permanente		0.18	0.24	0.30

Fuente: Elaboración propia con base en información de Conagua [4]

Dado que para cada una de las diferentes microcuencas que integran la ZdE existen diversos tipos y usos de suelo²², el valor k por microcuenca se obtiene de la resultante de dividirla en zonas homogéneas y obtener el promedio ponderado de todas ellas.

La tabla a continuación resume los valores de K y el Ce; así como los valores de escurrimiento natural para cada una de las microcuencas.

Tabla 5.4. Escurrimiento natural por microcuenca

MICROCUEENCA	ÁREA	PMA	K	Ce	Esc NAT
Atécuaro	43.47	708.43	0.241	0.141	5.61
Barranca del agua	28.42	712.20	0.222	0.127	3.49
Capula	98.02	915.23	0.247	0.135	10.89
El Fresno	45.77	965.97	0.263	0.147	5.30
Laquillas	303.91	822.85	0.251	0.153	43.52
Los Pirules	18.56	891.94	0.272	0.161	2.48
Paredones	74.01	1,008.09	0.225	0.129	9.20
R Chiquito	87.58	1,154.71	0.252	0.152	12.17
R Grande	333.82	847.56	0.264	0.152	41.88
San Andrés	31.18	1,228.97	0.248	0.155	4.70
San Marcos	132.19	789.61	0.246	0.131	13.81
Sta. Inés	66.88	934.91	0.253	0.138	7.39
Santas Marías	59.96	831.89	0.227	0.137	8.29
Teremendo	89.13	960.20	0.241	0.123	8.42
Teremendo Jasso	72.48	923.56	0.242	0.129	7.54

²² Los tipos y usos de suelo y sus áreas se obtuvieron para cada microcuenca a partir de la información geográfica del INEGI [7]

Tirio	23.56	913.84	0.242	0.143	3.13
Tiristarán	39.93	824.56	0.244	0.131	4.28
Umécuaro	57.34	973.41	0.258	0.166	9.34
Tarimbaro_1	56.36	795.80	0.257	0.138	5.99
Tarimbaro_2	111.98	799.28	0.258	0.136	11.26
Charo_1	83.71	1,007.89	0.245	0.142	10.58
Charo_3	20.00	769.98	0.220	0.130	2.62
Charo_4	96.16	741.47	0.221	0.148	16.38
Charo_5	226.34	766.87	0.248	0.140	26.84
Charo_6	47.49	807.26	0.221	0.156	9.09
Álvaro Obregón_1	43.90	928.57	0.268	0.140	4.36
Álvaro Obregón_2	27.40	816.28	0.266	0.139	2.70
R. Canacucho	201.61	980.71	0.247	0.147	27.44
	2521.13	886.50			318.70

Fuente: Elaboración propia con base en información de Conagua [4]

Retornos (Ret AP, Ret AR) y manantiales (MAN)

Dado que no se cuenta con información de aforos de los volúmenes que se reincorporan a la red de drenaje de cada microcuenca, los retornos pueden estimarse, entonces, como un porcentaje de la demanda para los diferentes usos (Agua Potable y Agua para Riego), en función de los valores recomendados en la NOM-11-CONAGUA-2015.

Tabla 5.5. Porcentajes recomendados de retornos con relación al rango de diferentes usos

USOS	% RANGO	% RETORNO
Agrícola	10-30	20
Público Urbano	70-80	75
Industrial	50-60	55
Doméstico	70-80	75
Pecuario	10-30	15
Acuicultura	95-100	100
Generación de energía eléctrica	95-100	100

Los retornos son los volúmenes que se reincorporan a la red de drenaje de la cuenca hidrológica como remanentes de los volúmenes aprovechados en los diversos usos del agua. El rango son los valores en que varían los volúmenes de retorno.

Fuente: Conagua [4]

Entonces:

$$Ret AP = 0.75 Dem AP$$

$$Ret AR = 0.20 Dem AR$$

Donde:

Ret AP = Volumen medio anual de retorno del agua por uso en agua potable

Ret AR = Volumen medio anual de retorno del agua por uso en agua para riego agrícola

Dem AP = Demanda de agua potable

Dem AR = Demanda de agua para riego

Por su parte, y considerando que el principal manantial en la ZdE corresponde a La Mintzita, que contribuye con poco más del 30% del abastecimiento total de agua potable para la ciudad de Morelia, el volumen medio anual aportado por los manantiales es de 34.69 hm³/año (1,100 lps).

Evaporación y Retención en Almacenamientos (ETR)

De acuerdo con el método de Coutagne es posible estimar la evapotranspiración²³ anual a partir de las siguientes expresiones:

$$ETR = ETR_p \times A_E$$

$$ETR_p = PMA - X P^2$$

$$X = \frac{1}{(0.8 + 0.14t)}$$

Donde:

ETR = Evapotranspiración real

ETR_p = Evapotranspiración potencial

A_E = Área del embalse

PMA = Precipitación media anual = 886.50 mm

T = Temperatura = 18.2 °C

La presa de Cointzio, embalse más importante en la ZdE, cuenta con un área expuesta de 4.9 km². Este almacenamiento suministra aproximadamente el 20% del total del agua para la ciudad de Morelia a través del OOAPAS y, en conjunto con las aguas residuales tratadas de la PTAR Atapane, alrededor del 80% del agua para riego utilizada en el DR020.

Si consideramos que la PMA es de 886.50 mm y la temperatura media anual es de 18.2°C, entonces, el volumen medio anual de evaporación resulta ser de 3.19 hm³/año.

Integración del escurrimiento en cuenca propia

Una vez establecidos sus diferentes componentes es posible integrar el escurrimiento en cuenca propia para cada una de las microcuencas. Recordemos que esto se hace a partir de la siguiente expresión:

$$Esc\ CP = Esc\ NAT + Ret\ AP + Ret\ AR + MAN - ETR$$

La tabla siguiente resume los cálculos y valores resultantes de cada una de las componentes del escurrimiento en cuenca propia.

Tabla 5.6. Escurrimiento en cuenca propia (Esc CP) por microcuenca

MICROCUENCA	Esc NAT	Ret AP	Ret AR	MAN	ETR	Esc CP
Atécuaro	5.61	0.04	-			5.65
Barranca del agua	3.49	0.01	-			3.50
Capula	10.89	0.54	0.11			11.54
El Fresno	5.30	0.04	-			5.35
Lagunillas	43.52	1.16	0.58		3.19	42.05
Los Pirules	2.48	0.63	0.02			3.13
Paredones	9.20	0.02	-			9.22
R Chiquito	12.17	9.41	0.07			21.65
R Grande	41.88	55.57	2.15	34.69		134.28
San Andrés	4.70	0.05	0.00			4.76
San Marcos	13.81	0.35	0.78			14.93
Sta. Inés	7.39	0.02	0.01			7.42
Santas Marías	8.29	0.02	0.02			8.32
Teremendo	8.42	0.11	-			8.53
Teremendo Jasso	7.54	0.05	-			7.59
Tirio	3.13	0.01	0.01			3.16
Tiristarán	4.28	0.06	-			4.34

²³ Se denomina evapotranspiración a la evaporación procedente de la superficie del agua, el suelo, la nieve, el hielo, la vegetación y de otras superficies, más la transpiración (OMM, Guía de Prácticas Hidrológicas, 1994)

Umécuaró	9.34	0.03	0.14			9.51
Tarímbaro_1	5.99	0.85	3.05			9.89
Tarímbaro_2	11.26	1.15	6.83			19.24
Charo_1	10.58	0.45	0.77			11.79
Charo_3	2.62	0.00	-			2.62
Charo_4	16.38	0.04	0.03			16.45
Charo_5	26.84	4.56	5.12			36.51
Charo_6	9.09	0.04	-			9.13
Álvaro Obregón_1	4.36	0.20	3.91			8.46
Álvaro Obregón_2	2.70	0.09	1.89			4.69
R. Canacucho	27.44	1.16	-			28.60
	318.70	76.66	25.49	34.69	3.19	452.31

Fuente: Elaboración propia con base en información de Conagua [4]

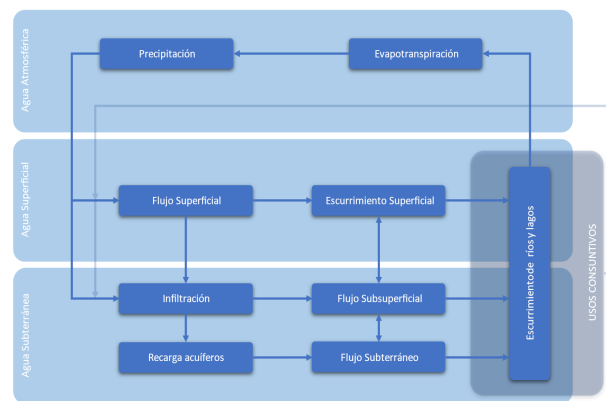
Disponibilidad de aguas superficiales

Tomando en consideración que el volumen medio anual (VMA) disponible de aguas superficiales por microcuenca se calcula en función no sólo del escurrimiento total (Esc AAR + Esc CP), sino que considera también el volumen aportado por las aguas subterráneas y los volúmenes asociados a las dos componentes de la demanda (Dem AP y Dem AR), los cálculos correspondientes se presentan más adelante, como parte de la integración del balance general para la ZdE.

► 5.3 Balance hídrico actual y futuro

El balance hídrico deriva del concepto de conservación de la materia, que términos hidrológicos puede entenderse como el equilibrio de los recursos hídricos que entran y salen de un sistema en un tiempo determinado.

Figura 5.2. Esquema simplificado de las diferentes componentes del balance hídrico.



Fuente: Elaboración propia

El cálculo del balance hídrico desagregado al nivel de microcuenca se realiza, entonces, a partir de la siguiente expresión, que previamente establecimos para el volumen medio anual de agua disponible:

$$VMA = Esc\ AAR + Esc\ CP + Ap\ ASUB - Dem\ T$$

Donde:

VMA = Volumen medio anual de esguerrimiento hacia aguas abajo

Esc AAR = Esguerrimiento aguas arriba

Esc CP = Esguerrimiento en cuenca propia

Ap ASUB = Aportación de aguas subterráneas

Dem T = Demanda total

Asimismo, se toman en consideración dos escenarios diferentes:

1. *Escenario actual.* Considera las condiciones del uso y tipo de suelo (2013) —que, a su vez, afecta al coeficiente de esguerrimiento (Ce)—, la precipitación media anual (PMA) y la población (2020).
2. *Escenario futuro tendencial.* Considera la proyección de: la población al 2050 —que afecta de manera directa la demanda de agua potable—, y la variación esperada del uso del suelo al 2050 —que modifica el coeficiente de esguerrimiento—.

Escenario actual

Tomando en cuenta que para este escenario se consideran las condiciones actuales de sus diferentes componentes, no es necesario realizar ningún ajuste sobre los valores ya obtenidos previamente. La **Tabla 5.10** resume los resultados del cálculo del balance hídrico bajo este escenario actual.

Escenario futuro tendencial

Este segundo escenario considera un futuro tendencial, en función de la proyección al 2050 de los componentes del balance hídrico. A saber, se realizan ajustes sobre la población, considerando las tasas de cambio de CONAPO, y su impacto sobre el cálculo de la demanda de agua potable; sobre la variación de superficies para los diferentes usos de suelo, que afectan el coeficiente de escurrimiento por microcuenca. La precipitación promedio anual (PMA) considerada en este caso, permanece sin cambio.

La **Tabla 5.11** al final de la sección, resumen los resultados del cálculo del balance hídrico bajo este escenario futuro tendencial.

Demanda de agua al 2050

Tomando la proyección de población al 2050 calculada previamente en función de la tasa de crecimiento esperado de la CONAPO, es posible actualizar las componentes de la demanda de agua al 2050. La tabla siguiente resume los resultados de estos ajustes. Como se puede observar, la demanda total de agua en la Zde tendrá un aumento esperado del orden de los 60 millones de m³ al año, que representa un 26% más con respecto al volumen actual.

Tabla 5.7. Demanda de agua al 2050 [en millones de m³ al año]

MICROCUECA	DEMANDA 2050				
	Pob RUR	Pob URB	Dem AP	Dem AR	Pob TOT
Atécuaro	1,936	-	0.07		0.07
Barranca de agua	390	-	0.01		0.01
Capula	5,399	8,132	1.05	0.56	1.61
El Fresnito	2,273	-	0.08		0.08
Lagunillas	15,341	19,200	2.57	2.88	5.45
Los Pirules	23	11,638	1.22	0.08	1.29
Paredones	956	-	0.03		0.03
Río Chiquito	4,028	172,230	18.13	0.37	18.50
Río Grande	9,233	1,036,005	108.54	9.53	118.07
San Andrés	2,693	-	0.10	0.01	0.11
San Marcos	13,270	2,018	0.70	3.88	4.57
Santa Inés	768	-	0.03	0.05	0.08
Santas Marías	705	-	0.03	0.11	0.14
Teremendo	4,664	-	0.17		0.17
Teremendo Jasso	2,716	-	0.10		0.10
Tirio	529	-	0.02	0.07	0.08
Tiristarán	2,951	-	0.11		0.11
Umécuaro	1,819	-	0.07	0.70	0.77
Tarimbaro1	4,486	18,711	2.12	16.97	19.08
Tarimbaro2	8,734	18,921	2.29	38.38	40.67
Charo1	6,788	7,199	1.00	4.15	5.15
Charo3	21	-	0.00		0.00
Charo4	1,848	-	0.07	0.15	0.21
Charo5	14,043	94,116	10.34	27.99	38.34
Charo6	1,567	-	0.06		0.06
Álvaro Obregón1	4,285	1,797	0.34	21.70	22.04

MICROCUCENCA	DEMANDA 2050				
	Pob RUR	Pob URB	Dem AP	Dem AR	Pob TOT
Álvaro Obregón ²	4,438	-	0.16	10.60	10.76
Río Canacucho	12,935	14,868	2.02		2.02
	128,839	1,404,835	151.43	138.18	289.59

Fuente: Elaboración propia con base en INEGI, 2020 [6] y Conagua, 2015 [1]

Uso del suelo al 2050

Tomando como base la información disponible por el INEGI para los usos de suelo, es posible obtener la variación absoluta, y relativa por año, que en términos de superficie tuvieron los usos de suelo dentro de la ZdE en el periodo 2016-2021. Con base en estas variaciones que se consideran probables de ocurrir en el futuro cercano se proyectó el uso del suelo al 2050 por microcuenca y, en consecuencia, establecer su parámetro K y su coeficiente de escurrimiento (Ce) correspondientes, tal cual se realizó previamente. Las tablas a continuación muestran las variaciones de los diferentes usos de suelo en la ZdE, así como el resumen de los nuevos valores K y Ce proyectados al 2050.

Como se puede observar, las principales variaciones esperadas en el uso de suelo al 2050 son el aumento en la superficie de pastizales poco menor a los 960 km² (equivalente a un crecimiento de unas 160 veces con respecto a su superficie actual), en contraste con las mayores reducciones en las áreas agrícola-pecuaria-forestal y de bosque de encino, del orden de los 830 km² (75% menor), en el caso del primero, y de los 105 km² (35% menor), en el segundo.

Tabla 5.8. Variaciones de uso de suelo al 2050 [en km²]

USO DE SUELO	ÁREA TOTAL		
	ACTUAL	2050	VARIACIÓN
Agrícola-Pecuaria-Forestal	1036.84	208.68	-828.16
Asentamientos Humanos	182.82	205.79	22.97
Bosque de Encino	444.41	340.01	-104.40
Bosque de Coníferas	405.96	418.41	12.45
Bosque Mesófilo de Montaña	19.89	19.89	0.00
Cuerpo de Agua	10.35	16.92	6.57
Desprovisto de Vegetación	0.68	21.32	20.63
Pastizal	6.06	964.04	957.98
Selva Baja Caducifolia	201.25	112.47	-88.78
Vegetación Inducida	212.87	212.87	0.00

Fuente: Elaboración propia con base en información de INEGI [7]

Tabla 5.9. Coeficiente de escurrimiento al 2050

MICROCUENCA	K	Ce
Atécuaro	0.232	0.132
Barranca del agua	0.222	0.127
Capula	0.251	0.139
El Fresnito	0.147	0.038
Lagunillas	0.253	0.155
Los Pirules	0.272	0.161
Paredones	0.223	0.128
R Chiquito	0.252	0.152
R Grande	0.266	0.154
San Andrés	0.248	0.155
San Marcos	0.219	0.105
Sta. Inés	0.192	0.081
Santas Marías	0.225	0.135
Teremendo	0.233	0.115
Teremendo Jasso	0.214	0.102
Tirio	0.244	0.145
Tiristarán	0.203	0.093
Umécuaro	0.250	0.158
Tarimbaro_1	0.224	0.108
Tarimbaro_2	0.250	0.128
Charo_1	0.229	0.126
Charo_3	0.220	0.130
Charo_4	0.222	0.148
Charo_5	0.251	0.142
Charo_6	0.223	0.158
Álvaro Obregón_1	0.268	0.140
Álvaro Obregón_2	0.262	0.135
R. Canacucho	0.251	0.152

Fuente: Elaboración propia con base en información de Conagua [4]

Tabla 5.10. Balance hídrico por microcuenca – escenario actual

		SUELO			POBLACIÓN 2020	PRECIPITACIÓN	DEMANDA			ESCURRIMIENTOS								APORTACIÓN. A SUBTERRÁNEA			DEMANDA A. SUPERFICIAL			BALANCE					
No.	MICROCUECENA	ÁREA [km²]	K	Ce	Pob TOT	PMA [mm]	Dem AP (1)	Dem AR (2)	Dem T	Esc AAR	Esc NAT	Ret AP	Ret AR	MAN	ETR	Esc CP	Esc T	Con AP (3)	Con AR (4)	Ap ASUB	(1) - (3)	(2) - (4)	DST	ASUB	VMA	Cuitzeo	F Zde		
							[hm³/año]	[hm³/año]																				[hm³/año]	[hm³/año]
1	Atécuaro	43.47	0.241	0.141	1,339	915.23	0.05		0.05		5.61	0.04	-			5.65	5.65	-	-	-	0.05	-	0.05	-	5.60				
2	Barranca del agua	28.42	0.222	0.127	286	965.97	0.01		0.01		3.49	0.01	-			3.50	3.50	-	-	-	0.01	-	0.01	-	3.49				
3	Capula	98.02	0.247	0.135	9,358	822.85	0.72	0.56	1.28		10.89	0.54	0.11			11.54	11.54	0.26	0.56	0.82	0.46	-	0.46	-	11.08				
4	El Fresnito	45.77	0.263	0.147	1,572	789.61	0.06		0.06		5.30	0.04	-			5.35	5.35	0.07	-	0.07	(0.02)	-	-	0.02	5.35				
5	Lagunillas	303.91	0.251	0.153	24,274	934.91	1.54	2.88	4.42	50.35	43.52	1.16	0.58		3.19	42.05	92.40	0.24	2.88	3.12	1.30	-	1.30	-	91.10				
6	Los Pirules	18.56	0.272	0.161	8,065	831.89	0.84	0.08	0.92		2.48	0.63	0.02			3.13	3.13	1.32	0.08	1.40	(0.48)	-	-	0.48	3.13				
7	Paredones	74.01	0.225	0.129	831	960.20	0.03		0.03		9.20	0.02	-			9.22	9.22	-	-	-	0.03	-	0.03	-	9.19				
8	Río Chiquito	87.58	0.252	0.152	121,903	913.84	12.54	0.37	12.91		12.17	9.41	0.07			21.65	21.65	6.33	0.37	6.70	6.21	-	6.21	-	15.43				
9	Río Grande	333.82	0.264	0.152	715,506	824.56	74.09	10.73	84.82	130.66	41.88	55.57	2.15	34.69		134.28	264.94	30.90	4.19	35.09	43.19	6.54	49.73	-	215.21				
10	San Andrés	31.18	0.248	0.155	1,969	973.41	0.07	0.01	0.08		4.70	0.05	0.00			4.76	4.76	-	0.01	0.01	0.07	-	0.07	-	4.69				
11	San Marcos	132.19	0.246	0.131	10,356	795.80	0.47	3.88	4.35		13.81	0.35	0.78			14.93	14.93	3.72	3.88	7.59	(3.25)	-	-	3.25	14.93				
12	Sta. Inés	66.88	0.253	0.138	759	799.28	0.03	0.05	0.08		7.39	0.02	0.01			7.42	7.42	0.03	0.05	0.08	(0.00)	-	-	0.003	7.42	7.42			
13	Santas Marías	59.96	0.227	0.137	578	1,007.89	0.02	0.11	0.13		8.29	0.02	0.02			8.32	8.32	-	0.11	0.11	0.02	-	0.02	-	8.30		8.30		
14	Teremendo	89.13	0.241	0.123	4,086	766.87	0.15		0.15	5.35	8.42	0.11	-			8.53	13.88	0.19	-	0.19	(0.04)	-	-	0.04	13.88		13.88		
15	Teremendo Jasso	72.48	0.242	0.129	1,949	807.26	0.07		0.07	4.31	7.54	0.05	-			7.59	11.90	0.01	-	0.01	0.06	-	0.06	-	11.84		11.84		
16	Tirio	23.56	0.242	0.143	366	928.57	0.01	0.07	0.08	9.47	3.13	0.01	0.01			3.16	12.62	-	0.07	0.07	0.01	-	0.01	-	12.61				
17	Tiristarán	39.93	0.244	0.131	2,041	816.28	0.07		0.07		4.28	0.06	-			4.34	4.34	0.05	-	0.05	0.03	-	0.03	-	4.31				
18	Umécuaro	57.34	0.258	0.166	1,269	980.71	0.05	0.70	0.75		9.34	0.03	0.14			9.51	9.51	-	0.70	0.70	0.05	-	0.05	-	9.47				
19	Tarimbaro_1	56.36	0.257	0.138	13,805	769.98	1.13	15.27	16.40	14.93	5.99	0.85	3.05			9.89	24.83	0.82	5.74	6.56	0.31	9.53	9.84	-	14.99				
20	Tarimbaro_2	111.98	0.258	0.136	18,574	741.47	1.54	34.14	35.67	14.99	11.26	1.15	6.83			19.24	34.23	0.45	10.31	10.76	1.09	23.83	24.91	-	9.32				
21	Charo_1	83.71	0.245	0.142	10,251	891.94	0.60	3.85	4.45		10.58	0.45	0.77			11.79	11.79	0.47	2.10	2.57	0.12	1.75	1.88	-	9.92				
22	Charo_3	20.00	0.220	0.130	16	1,008.09	0.00		0.00	9.19	2.62	0.00	-			2.62	11.81	0.05	-	0.05	(0.05)		-	0.05	11.81		11.81		
23	Charo_4	96.16	0.221	0.148	1,438	1,154.71	0.05	0.15	0.20	3.49	16.38	0.04	0.03			16.45	19.94	0.14	0.15	0.29	(0.09)	-	-	0.09	19.94		19.94		
24	Charo_5	226.34	0.248	0.140	65,532	847.56	6.08	25.58	31.65	215.21	26.84	4.56	5.12			36.51	251.72	2.86	9.82	12.67	3.22	15.76	18.98	-	232.74				
25	Charo_6	47.49	0.221	0.156	1,289	1,228.97	0.05	-	0.05		9.09	0.04	-			9.13	9.13	-	-	-	0.05	-	0.05	-	9.08		9.08		
26	Álvaro Obregón_1	43.90	0.268	0.140	4,673	708.43	0.26	19.54	19.80	232.74	4.36	0.20	3.91			8.46	241.21	0.59	5.73	6.33	(0.33)	13.81	13.81	0.33	227.40				
27	Álvaro Obregón_2	27.40	0.266	0.139	3,408	712.20	0.12	9.44	9.57	236.72	2.70	0.09	1.89			4.69	241.40	0.33	2.01	2.33	(0.20)	7.43	7.43	0.20	233.97	233.97			
28	Río Canacucho	201.61	0.247	0.147	21,333	923.56	1.55		1.55		27.44	1.16	-			28.60	28.60	0.40	-	0.40	1.15	-	1.15	-	27.45				
		2521.13			1,046,826	886.50	102.21	127.39	229.61		318.68	76.66	25.48	34.69	3.19	452.32		49.25	48.74	97.99	78.65	136.08	4.46		241.39	74.85			
																							BALANCE				320.70		

Ap SUB = Aportación total de Agua Subterránea
 ASUB =Remanente de aguas subterráneas después de demanda
 Con AP = Volumen concesionado para Agua Potable
 Con AR = Volumen concesionado para Agua para Riego
 Ce = Coeficiente de escurrimiento
 Dem AP =Demanda de Agua Potable
 Dem AR =Demanda de Agua para Riego
 Dem T = Demanda Total
 DST =Componente de la demanda a ser cubierta con aguas superficiales

Esc AAR = Escurrimiento Aguas Arriba
 Esc CP =Escurrimiento en Cuenca Propia
 Esc NAT = Escurrimiento Natural
 Esc T = Escurrimiento Total
 ETR = Evapotranspiración de Embalses
 F Zde =Volumen que drena fuera de la Zde
 K = Coeficiente que depende del uso y tipo de suelo
 MAN = Manantiales
 PMA =Precipitación Media Anual

Pob RUR = Población Rural
 Pob URB = Población Urbana
 Pob TOT = Población Total
 Ret AP = Retorno de Agua Potable
 Ret AR = Retorno de Agua para Riego
 VMA = Volumen Medio Anual (Disponibilidad)

Esc CP	452.32
Ap ASUB	97.99
OFERTA	550.30
DEMANDA	229.61
BALANCE	320.70

Tabla 5.11. Balance hídrico por microcuenca – escenario futuro tendencial con uso del suelo al 2050

No.	MICROCUECA	SUELO			POBLACIÓN 2050	PRECIPITACIÓN	DEMANDA			ESCURRIMIENTOS								APORTACIÓN A SUBTERRÁNEA			DEMANDA A. SUPERFICIAL			BALANCE			
		ÁREA [km²]	K	Ce			Dem AP (1)	Dem AR (2)	Dem T	Esc AAR	Esc NAT	Ret AP	Ret AR	MAN	ETR	Esc CP	Esc T	Con AP (3)	Con AR (4)	Ap ASUB	(1) - (3)	(2) - (4)	DST	ASUB	VMA	Cuitzeo	F Zde
					Pob TOT	PMA [mm]	[hm³/año]			[hm³/año]								[hm³/año]			[hm³/año]			[hm³/año]			
1	Atécuaro	43.47	0.232	0.132	1,936	915.23	0.07		0.07		5.25	0.05	-			5.31	5.31	-	-	-	0.07	-	0.07	-	5.24		
2	Barranca del agua	28.42	0.222	0.127	390	965.97	0.01		0.01		3.49	0.01	-			3.50	3.50	-	-	-	0.01	-	0.01	-	3.49		
3	Capula	98.02	0.251	0.139	13,531	822.85	1.05	0.56	1.61		11.20	0.78	0.11			12.10	12.10	0.26	0.56	0.82	0.78	-	0.78	-	11.31		
4	El Fresnito	45.77	0.147	0.038	2,273	789.61	0.08		0.08		1.36	0.06	-			1.43	1.43	0.07	-	0.07	0.01	-	0.01	-	1.42		
5	Lagunillas	303.91	0.253	0.155	34,541	934.91	2.57	2.88	5.45	50.29	44.17	1.92	0.58		3.19	43.47	93.76	0.24	2.88	3.12	2.32	-	2.32	-	91.44		
6	Los Pirules	18.56	0.272	0.161	11,661	831.89	1.22	0.08	1.29		2.48	0.91	0.02			3.41	3.41	1.32	0.08	1.40	(0.10)	-	-	0.10	3.41		
7	Paredones	74.01	0.223	0.128	956	960.20	0.03		0.03		9.08	0.03	-			9.10	9.10	-	-	-	0.03	-	0.03	-	9.07		
8	Río Chiquito	87.58	0.252	0.152	176,258	913.84	18.13	0.37	18.50		12.15	13.60	0.07			25.83	25.83	6.33	0.37	6.70	11.81	-	11.81	-	14.02		
9	Río Grande	333.82	0.266	0.154	1,045,238	824.56	108.54	10.73	119.27	128.84	42.30	81.40	2.15	34.69		160.54	289.38	30.90	4.19	35.09	77.64	6.54	84.18	-	205.20		
10	San Andrés	31.18	0.248	0.155	2,693	973.41	0.10	0.01	0.11		4.70	0.07	0.00			4.78	4.78	-	0.01	0.01	0.10	-	0.10	-	4.68		
11	San Marcos	132.19	0.219	0.105	15,288	795.80	0.70	3.88	4.57		11.09	0.52	0.78			12.39	12.39	3.72	3.88	7.59	(3.02)	-	-	3.02	12.39		
12	Sta. Inés	66.88	0.192	0.081	768	799.28	0.03	0.05	0.08		4.31	0.02	0.01			4.34	4.34	0.03	0.05	0.08	(0.00)	-	-	0.00	4.34	4.34	
13	Santas Marías	59.96	0.225	0.135	705	1,007.89	0.03	0.11	0.14		8.16	0.02	0.02			8.20	8.20	-	0.11	0.11	0.03	-	0.03	-	8.18		8.18
14	Teremendo	89.13	0.233	0.115	4,664	766.87	0.17		0.17	1.42	7.88	0.13	-			8.01	9.43	0.19	-	0.19	(0.02)	-	-	0.02	9.43		9.43
15	Teremendo Jasso	72.48	0.214	0.102	2,716	807.26	0.10		0.10	3.06	5.96	0.07	-			6.04	9.10	0.01	-	0.01	0.09	-	0.09	-	9.01		9.01
16	Tirio	23.56	0.244	0.145	529	928.57	0.02	0.07	0.08	9.02	3.17	0.01	0.01			3.20	12.22	-	0.07	0.07	0.02	-	0.02	-	12.20		
17	Tiristarán	39.93	0.203	0.093	2,951	816.28	0.11		0.11		3.03	0.08	-			3.12	3.12	0.05	-	0.05	0.06	-	0.06	-	3.06		
18	Umécuaro	57.34	0.250	0.158	1,819	980.71	0.07	0.70	0.77		8.89	0.05	0.14			9.08	9.08	-	0.70	0.70	0.07	-	0.07	-	9.02		
19	Tarimbaro_1	56.36	0.224	0.108	23,197	769.98	2.12	15.27	17.39	12.39	4.69	1.59	3.05			9.33	21.71	0.82	5.74	6.56	1.30	9.53	10.83	-	10.89		
20	Tarimbaro_2	111.98	0.250	0.128	27,655	741.47	2.29	34.14	36.43	10.89	10.65	1.72	6.83			19.20	30.08	0.45	10.31	10.76	1.84	23.83	25.67	-	4.41		
21	Charo_1	83.71	0.229	0.126	13,986	891.94	1.00	3.85	4.85		9.42	0.75	0.77			10.94	10.94	0.47	2.10	2.57	0.53	1.75	2.28	-	8.66		
22	Charo_3	20.00	0.220	0.130	21	1,008.09	0.00		0.00	9.07	2.62	0.00	-			2.62	11.69	0.05	-	0.05	(0.05)		-	0.05	11.69		11.69
23	Charo_4	96.16	0.222	0.148	1,848	1,154.71	0.07	0.15	0.21	3.49	16.44	0.05	0.03			16.52	20.01	0.14	0.15	0.29	(0.08)	-	-	0.08	20.01		20.01
24	Charo_5	226.34	0.251	0.142	108,159	847.56	10.34	25.58	35.92	205.20	27.31	7.76	5.12			40.18	245.38	2.86	9.82	12.67	7.48	15.76	23.25	-	222.13		
25	Charo_6	47.49	0.223	0.158	1,567	1,228.97	0.06	-	0.06		9.20	0.04	-			9.24	9.24	-	-	-	0.06	-	0.06	-	9.19		9.19
26	Álvaro Obregón_1	43.90	0.268	0.140	6,082	708.43	0.34	19.54	19.88	222.13	4.36	0.26	3.91			8.52	230.66	0.59	5.73	6.33	(0.25)	13.81	13.81	0.25	216.85		
27	Álvaro Obregón_2	27.40	0.262	0.135	4,438	712.20	0.16	9.44	9.60	221.26	2.63	0.12	1.89			4.64	225.91	0.33	2.01	2.33	(0.17)	7.43	7.43	0.17	218.47	218.47	
28	Río Canacucho	201.61	0.251	0.152	27,803	923.56	2.02		2.02		28.28	1.52	-			29.80	29.80	0.40	-	0.40	1.62	-	1.62	-	28.17		
		2521.13			1,533,671	886.50	151.43	127.39	272.82		304.29	113.57	25.48	34.69		474.84		49.25	48.74	97.99		180.83	3.69		222.82	67.50	
		BALANCE																									294.01

Ap SUB = Aportación total de Agua Subterránea
 ASUB = Remanente de aguas subterráneas después de demanda
 Con AP = Volumen concesionado para Agua Potable
 Con AR = Volumen concesionado para Agua para Riego
 Ce = Coeficiente de escurrimiento
 Dem AP = Demanda de Agua Potable
 Dem AR = Demanda de Agua para Riego
 Dem T = Demanda Total
 DST = Componente de la demanda a ser cubierta con aguas superficiales

Esc AAR = Escurrimiento Aguas Arriba
 Esc CP = Escurrimiento en Cuenca Propia
 Esc NAT = Escurrimiento Natural
 Esc T = Escurrimiento Total
 ETR = Evapotranspiración de Embalses
 F Zde = Volumen que drena fuera de la Zde
 K = Coeficiente que depende del uso y tipo de suelo
 MAN = Manantiales
 PMA = Precipitación Media Anual

Pob RUR = Población Rural
 Pob URB = Población Urbana
 Pob TOT = Población Total
 Ret AP = Retorno de Agua Potable
 Ret AR = Retorno de Agua para Riego
 VMA = Volumen Medio Anual (Disponibilidad)

Esc CP	474.84
Ap ASUB	97.99
OFERTA	572.82
DEMANDA	278.82
BALANCE	294.01

► 5.4 Balance hídrico bajo cambio climático

A fin de poder evaluar el efecto de los impactos del cambio climático antropogénico sobre los recursos hídricos en la ZdE, es necesario tomar en consideración los escenarios de cambio climático regionales que fueron procesados por el Instituto de Ciencias de la Atmósfera y Cambio Climático (ICAYCC) de la UNAM²⁴ con una alta resolución, considerando el efecto del relieve topográfico y una climatología de referencia (1961-2000)²⁵ para los escenarios RCP²⁶ 4.5 y RCP 8.5 de forzamiento radiactivo, con horizontes a futuro cercano (2015-2039), futuro medio (2045-2069) y a futuro lejano (2075-2099).

Para fines del cálculo del balance hídrico se utilizan específicamente los escenarios que fueron procesados a partir del modelo climático desarrollado por el Centre National de Recherches Meteorologiques (CNRM), en su versión 5 (CM5), para el futuro medio (2045-2069); esto es:

1. *Escenario RCP 4.5 (2045-2069)*. Considera la proyección de la población al 2050; la variación esperada del uso del suelo al 2050; y la precipitación media anual ajustada por cambio climático RCP 4.5.
2. *Escenario RCP 8.5 (2045-2069)*. Considera la proyección de la población al 2050; la variación esperada del uso del suelo al 2050; y la precipitación media anual ajustada por cambio climático RCP 8.5.

Precipitación media anual ajustada por cambio climático

El ajuste de la precipitación media anual (PMA) bajo condiciones de cambio climático se realiza en consideración de los porcentajes de cambio (una de las salidas de los escenarios procesados por el ICAYCC) promedio por microcuenca y a partir de la siguiente expresión:

$$PMA_{CC} = PMA_{MC} \times P_{cambio_{MC}}$$

$$P_{cambio_{MC}} = \frac{1}{A_{MC}} \sum_{i=1}^n P_{cambio_i} A_i$$

Donde:

PMA_{CC} = Precipitación media anual por microcuenca bajo cambio climático

PMA_{MC} = Precipitación media anual por microcuenca en condiciones normales

A_{MC} = Área de la microcuenca

$P_{cambio_{MC}}$ = porcentaje de cambio de precipitación por microcuenca

P_{cambio_i} = Isoyeta promedio de porcentaje de cambio de precipitación en el polígono i

A_i = Área en el polígono i

i = Polígono i formado entre dos isoyetas

n = Número total de polígonos

La tabla siguiente resume los resultados de los cálculos de la precipitación ajustada por cambio climático para los escenarios considerados RCP 4.5 y RCP 8.5, horizonte futuro medio (2045-2069).

²⁴ El Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático coordinó en el año 2012, el desarrollo de escenarios climáticos regionales con base en 15 Modelos Generales de Circulación (MGC) propuestos por el Proyecto de Inter-comparación de Modelos Acoplados, fase 5 (CMIP5, por sus siglas en inglés), para generar el reporte de la Quinta Comunicación Nacional de México a la Convención Marco de Naciones Unidas para el Cambio Climático, los cuales fueron referidos al período climático 1961-2000 y homogeneizados a la resolución espacial de 0.5° x 0.5°. De estos 15 MGC, el ICAYCC posteriormente seleccionó y procesó 4 de ellos a alta resolución, para generar archivos de datos georreferenciados de promedios mensuales de temperatura máxima, mínima y promedio en °C, así como de precipitación promedio mensual en mm y en porcentaje de cambio.

²⁵ La climatología de referencia (1961-2000) utilizada para los cuatro MGC, se procesó a partir de los datos de más de 5 mil estaciones de la base climatológica diaria del Servicio Meteorológico Nacional, actualizada en julio de 2012 y consultada en junio de 2014 (<http://smn.cna.gob.mx>) a las que se les aplicó un control de calidad.

²⁶ Trayectorias Representativas de Concentraciones (RCP, por sus siglas en inglés).

Tabla 5.12. Precipitación media anual por microcuenca bajo cambio climático

MICROCUECA	PMA	% PROMEDIO DE CAMBIO		PMA BAJO CC	
	ACTUAL	RCP 4.5	RCP 8.5	RCP 4.5	RCP 8.5
Atécuaro	915.23	-5.3%	-10.7%	866.97	817.48
Barranca del agua	965.97	-8.2%	-15.5%	886.63	816.50
Capula	822.85	-5.3%	-12.6%	779.12	719.34
El Fresno	789.61	-5.4%	-16.1%	746.60	662.78
Lagunillas	934.91	-5.1%	-9.0%	887.68	850.53
Los Pirules	831.89	-8.1%	-18.8%	764.30	675.88
Paredones	960.20	-7.4%	-13.8%	889.33	827.37
R Chiquito	913.84	-7.2%	-14.6%	848.45	780.26
R Grande	824.56	-9.0%	-18.3%	750.41	673.68
San Andrés	973.41	-3.5%	-4.1%	939.20	933.76
San Marcos	795.80	-7.5%	-17.6%	736.44	655.77
Sta. Inés	799.28	-5.3%	-16.3%	757.14	668.86
Santas Marías	1,007.89	-6.4%	-7.0%	943.74	937.28
Teremendo	766.87	-5.6%	-16.4%	723.62	641.18
Teremendo Jasso	807.26	-5.0%	-13.2%	766.83	700.80
Tirio	928.57	-5.6%	-11.1%	876.29	825.48
Tiristarán	816.28	-5.6%	-16.0%	770.37	685.43
Umécuaro	980.71	-5.1%	-8.0%	930.87	902.66
Tarimbaro_1	769.98	-10.7%	-24.0%	687.30	585.12
Tarimbaro_2	741.47	-10.5%	-26.8%	663.29	542.71
Charo_1	891.94	-6.8%	-15.5%	831.04	753.61
Charo_3	1,008.09	-9.5%	-17.8%	912.05	829.03
Charo_4	1,154.71	-6.8%	-20.6%	1,075.91	916.73
Charo_5	847.56	-7.1%	-19.5%	787.01	682.05
Charo_6	1,228.97	-4.1%	-14.9%	1,178.93	1,045.81
Álvaro Obregón_1	708.43	-8.8%	-29.8%	645.95	497.21
Álvaro Obregón_2	712.20	-11.3%	-29.8%	632.05	500.29
R. Canacucho	923.56	-3.6%	-7.2%	890.18	857.29
	886.50	-6.77	-15.89%	827.41	749.46

Fuente: Elaboración propia con base en información del ICAyCC, 2024 [5]

Los resultados del cálculo del balance hídrico para los dos escenarios considerados bajo cambio climático se presentan en las **Tabla 5.13** (para el caso del RCP 4.5) y la **Tabla 5.14** (para el caso RCP 8.5).

Tabla 5.13. Balance hídrico por microcuenca – escenario bajo cambio climático RCP 4.5

		SUELO			POBLACIÓN 2050	PRECIPITACIÓN RCP 4.5	DEMANDA			ESCURRIMIENTOS								APORTACIÓN. A SUBTERRÁNEA			DEMANDA A. SUPERFICIAL			BALANCE			
No.	MICROCUENCA	ÁREA [km²]	K	Ce	Pob TOT	PMA [mm]	Dem AP (1)	Dem AR (2)	Dem T	Esc AAR	Esc NAT	Ret AP	Ret AR	MAN	ETR	Esc CP	Esc T	Con AP (3)	Con AR (4)	Ap ASUB	(1) - (3)	(2) - (4)	DST	ASUB	VMA	Cuitzeo	F Zde
							[hm³/año]	[hm³/año]																			
1	Atécuaro	43.47	0.232	0.126	1,936	866.97	0.07		0.07		4.77	0.05	-			4.82	4.82	-	-	-	0.07	-	0.07	-	4.75		
2	Barranca del agua	28.42	0.222	0.118	390	886.63	0.01		0.01		2.99	0.01	-			3.00	3.00	-	-	-	0.01	-	0.01	-	2.98		
3	Capula	98.02	0.251	0.133	13,531	779.12	1.05	0.56	1.61		10.19	0.78	0.11			11.08	11.08	0.26	0.56	0.82	0.78	-	0.78	-	10.30		
4	El Fresnito	45.77	0.147	0.035	2,273	746.60	0.08		0.08		1.18	0.06	-			1.24	1.24	0.07	-	0.07	0.01	-	0.01	-	1.24		
5	Lagunillas	303.91	0.253	0.149	34,541	887.68	2.57	2.88	5.45	46.64	40.32	1.92	0.58		3.05	39.77	86.41	0.24	2.88	3.12	2.32	-	2.32	-	84.09		
6	Los Pirules	18.56	0.272	0.151	11,661	764.30	1.22	0.08	1.29		2.15	0.91	0.02			3.08	3.08	1.32	0.08	1.40	(0.10)	-	-	0.10	3.08		
7	Paredones	74.01	0.223	0.120	956	889.33	0.03		0.03		7.89	0.03	-			7.91	7.91	-	-	-	0.03	-	0.03	-	7.88		
8	Río Chiquito	87.58	0.252	0.144	176,258	848.45	18.13	0.37	18.50		10.67	13.60	0.07			24.35	24.35	6.33	0.37	6.70	11.81	-	11.81	-	12.54		
9	Río Grande	333.82	0.266	0.144	1,045,238	750.41	108.54	10.73	119.27	117.54	36.03	81.40	2.15	34.69		154.26	271.80	30.90	4.19	35.09	77.64	6.54	84.18	-	187.62		
10	San Andrés	31.18	0.248	0.151	2,693	939.20	0.10	0.01	0.11		4.42	0.07	0.00			4.49	4.49	-	0.01	0.01	0.10	-	0.10	-	4.39		
11	San Marcos	132.19	0.219	0.099	15,288	736.44	0.70	3.88	4.57		9.63	0.52	0.78			10.93	10.93	3.72	3.88	7.59	(3.02)	-	-	3.02	10.93		
12	Sta. Inés	66.88	0.192	0.077	768	757.14	0.03	0.05	0.08		3.88	0.02	0.01			3.91	3.91	0.03	0.05	0.08	(0.00)	-	-	0.003	3.91	3.91	
13	Santas Marías	59.96	0.225	0.128	705	943.74	0.03	0.11	0.14		7.24	0.02	0.02			7.28	7.28	-	0.11	0.11	0.03	-	0.03	-	7.25		7.25
14	Teremendo	89.13	0.233	0.110	4,664	723.62	0.17		0.17	1.24	7.11	0.13	-			7.24	8.48	0.19	-	0.19	(0.02)	-	-	0.02	8.48		8.48
15	Teremendo Jasso	72.48	0.214	0.098	2,716	766.83	0.10		0.10	2.74	5.43	0.07	-			5.50	8.24	0.01	-	0.01	0.09	-	0.09	-	8.15		8.15
16	Tirío	23.56	0.244	0.139	529	876.29	0.02	0.07	0.08	8.23	2.86	0.01	0.01			2.89	11.12	-	0.07	0.07	0.02	-	0.02	-	11.10		
17	Tiristarán	39.93	0.203	0.088	2,951	770.37	0.11		0.11		2.72	0.08	-			2.80	2.80	0.05	-	0.05	0.06	-	0.06	-	2.74		
18	Umécuaro	57.34	0.250	0.152	1,819	930.87	0.07	0.70	0.77		8.11	0.05	0.14			8.30	8.30	-	0.70	0.70	0.07	-	0.07	-	8.23		
19	Tarimbaro_1	56.36	0.224	0.099	23,197	687.30	2.12	15.27	17.39	10.93	3.82	1.59	3.05			8.47	19.39	0.82	5.74	6.56	1.30	9.53	10.83	-	8.57		
20	Tarimbaro_2	111.98	0.250	0.118	27,655	663.29	2.29	34.14	36.43	8.57	8.80	1.72	6.83			17.35	25.91	0.45	10.31	10.76	1.84	23.83	25.67	-	0.24		
21	Charo_1	83.71	0.229	0.119	13,986	831.04	1.00	3.85	4.85		8.29	0.75	0.77			9.81	9.81	0.47	2.10	2.57	0.53	1.75	2.28	-	7.53		
22	Charo_3	20.00	0.220	0.119	21	912.05	0.00		0.00	7.88	2.18	0.00	-			2.18	10.06	0.05	-	0.05	(0.05)		-	0.05	10.06		10.06
23	Charo_4	96.16	0.222	0.139	1,848	1,075.91	0.07	0.15	0.21	2.98	14.41	0.05	0.03			14.49	17.48	0.14	0.15	0.29	(0.08)	-	-	0.08	17.48		17.48
24	Charo_5	226.34	0.251	0.135	108,159	787.01	10.34	25.58	35.92	187.62	24.00	7.76	5.12			36.87	224.50	2.86	9.82	12.67	7.48	15.76	23.25	-	201.25		
25	Charo_6	47.49	0.223	0.152	1,567	1,178.93	0.06	-	0.06		8.51	0.04	-			8.56	8.56	-	-	-	0.06	-	0.06	-	8.50		8.50
26	Álvaro Obregón_1	43.90	0.268	0.132	6,082	645.95	0.34	19.54	19.88	201.25	3.74	0.26	3.91			7.90	209.15	0.59	5.73	6.33	(0.25)	13.81	13.81	0.25	195.35		
27	Álvaro Obregón_2	27.40	0.262	0.124	4,438	632.05	0.16	9.44	9.60	195.59	2.15	0.12	1.89			4.16	199.75	0.33	2.01	2.33	(0.17)	7.43	7.43	0.17	192.32	192.32	
28	Río Canacucho	201.61	0.251	0.148	27,803	890.18	2.02		2.02		26.50	1.52	-			28.02	28.02	0.40	-	0.40	1.62	-	1.62	-	26.40		
		2521.13			1,533,671	827.42	151.43	127.39	272.82		269.98	113.57	25.48	34.69		440.67		49.25	48.74	97.99		180.83		3.69	196.23	59.91	
																							BALANCE			259.84	

Ap SUB = Aportación total de Agua Subterránea
ASUB =Remanente de aguas subterráneas después de demanda
Con AP = Volumen concesionado para Agua Potable
Con AR = Volumen concesionado para Agua para Riego
Ce = Coeficiente de escurrimiento
Dem AP =Demanda de Agua Potable
Dem AR =Demanda de Agua para Riego
Dem T = Demanda Total
DST =Componente de la demanda a ser cubierta con aguas superficiales

Esc AAR = Escorrimiento Aguas Arriba
Esc CP = Escorrimiento en Cuenca Propia
Esc NAT = Escorrimiento Natural
Esc T = Escorrimiento Total
ETR = Evapotranspiración de Embalses
F ZdE = Volumen que drena fuera de la ZdE
K = Coeficiente que depende del uso y tipo de suelo
MAN = Manantiales
PMA = Precipitación Media Anual

Pob RUR = Población Rural
 Pob URB = Población Urbana
 Pob TOT = Población Total
 Ret AP = Retorno de Agua Potable
 Ret AR = Retorno de Agua para Riego
 VMA = Volumen Medio Anual (Disponibilidad)

Esc CP	440.67
Ap ASUB	97.99
OFERTA	538.65
DEMANDA	278.82
BALANCE	259.84

Tabla 5.14. Balance hídrico por microcuenca – escenario bajo cambio climático RCP 8.5

		SUELO			POBLACIÓN 2050	PRECIPITACIÓN RCP 8.5	DEMANDA			ESCURRIMIENTOS								APORTACIÓN. A SUBTERRÁNEA			DEMANDA A. SUPERFICIAL			BALANCE			
No.	MICROCUECA	ÁREA [km²]	K	Ce	Pob TOT	PMA [mm]	Dem AP (1)	Dem AR (2)	Dem T	Esc AAR	Esc NAT	Ret AP	Ret AR	MAN	ETR	Esc CP	Esc T	Con AP (3)	Con AR (4)	Ap ASUB	(1) - (3)	(2) - (4)	DST	ASUB	VMA	Cuitzeo	F Zde
							[hm³/año]			[hm³/año]								[hm³/año]			[hm³/año]			[hm³/año]			
1	Atécuaro	43.47	0.232	0.121	1,936	817.48	0.07		0.07		4.29	0.05	-			4.34	4.34	-	-	-	0.07	-	0.07	-	4.27		
2	Barranca del agua	28.42	0.222	0.111	390	816.50	0.01		0.01		2.57	0.01	-			2.58	2.58	-	-	-	0.01	-	0.01	-	2.57		
3	Capula	98.02	0.251	0.126	13,531	719.34	1.05	0.56	1.61		8.88	0.78	0.11			9.77	9.77	0.26	0.56	0.82	0.78	-	0.78	-	8.99		
4	El Fresnito	45.77	0.147	0.028	2,273	662.78	0.08		0.08		0.86	0.06	-			0.92	0.92	0.07	-	0.07	0.01	-	0.01	-	0.92		
5	Lagunillas	303.91	0.253	0.145	34,541	850.53	2.57	2.88	5.45	43.71	37.42	1.92	0.58		2.85	37.07	80.78	0.24	2.88	3.12	2.32	-	2.32	-	78.46		
6	Los Pirules	18.56	0.272	0.139	11,661	675.88	1.22	0.08	1.29		1.75	0.91	0.02			2.68	2.68	1.32	0.08	1.40	(0.10)	-	-	0.10	2.68		
7	Paredones	74.01	0.223	0.113	956	827.37	0.03		0.03		6.91	0.03	-			6.94	6.94	-	-	-	0.03	-	0.03	-	6.91		
8	Río Chiquito	87.58	0.252	0.135	176,258	780.26	18.13	0.37	18.50		9.23	13.60	0.07			22.90	22.90	6.33	0.37	6.70	11.81	-	11.81	-	11.10		
9	Río Grande	333.82	0.266	0.134	1,045,238	673.68	108.54	10.73	119.27	107.42	30.05	81.40	2.15	34.69		148.29	255.71	30.90	4.19	35.09	77.64	6.54	84.18	-	171.53		
10	San Andrés	31.18	0.248	0.150	2,693	933.76	0.10	0.01	0.11		4.37	0.07	0.00			4.45	4.45	-	0.01	0.01	0.10	-	0.10	-	4.35		
11	San Marcos	132.19	0.219	0.090	15,288	655.77	0.70	3.88	4.57		7.81	0.52	0.78			9.11	9.11	3.72	3.88	7.59	(3.02)	-	-	3.02	9.11		
12	Sta. Inés	66.88	0.192	0.068	768	668.86	0.03	0.05	0.08		3.05	0.02	0.01			3.08	3.08	0.03	0.05	0.08	(0.00)	-	-	0.003	3.08	3.08	
13	Santas Marías	59.96	0.225	0.127	705	937.28	0.03	0.11	0.14		7.15	0.02	0.02			7.19	7.19	-	0.11	0.11	0.03	-	0.03	-	7.16		7.16
14	Teremendo	89.13	0.233	0.101	4,664	641.18	0.17		0.17	0.92	5.76	0.13	-			5.88	6.80	0.19	-	0.19	(0.02)	-	-	0.02	6.80		6.80
15	Teremendo Jasso	72.48	0.214	0.091	2,716	700.80	0.10		0.10	2.21	4.60	0.07	-			4.67	6.88	0.01	-	0.01	0.09	-	0.09	-	6.79		6.79
16	Tirío	23.56	0.244	0.132	529	825.48	0.02	0.07	0.08	7.80	2.58	0.01	0.01			2.60	10.41	-	0.07	0.07	0.02	-	0.02	-	10.39		
17	Tiristarán	39.93	0.203	0.080	2,951	685.43	0.11		0.11		2.18	0.08	-			2.26	2.26	0.05	-	0.05	0.06	-	0.06	-	2.21		
18	Umécuaro	57.34	0.250	0.148	1,819	902.66	0.07	0.70	0.77		7.68	0.05	0.14			7.87	7.87	-	0.70	0.70	0.07	-	0.07	-	7.80		
19	Tarimbaro_1	56.36	0.224	0.087	23,197	585.12	2.12	15.27	17.39	9.11	2.88	1.59	3.05			7.52	16.63	0.82	5.74	6.56	1.30	9.53	10.83	-	5.80		
20	Tarimbaro_2	111.98	0.250	0.103	27,655	542.71	2.29	34.14	36.43	5.80	6.28	1.72	6.83			14.83	20.63	0.45	10.31	10.76	1.84	23.83	25.67	-	(5.04)		
21	Charo_1	83.71	0.229	0.110	13,986	753.61	1.00	3.85	4.85		6.96	0.75	0.77			8.48	8.48	0.47	2.10	2.57	0.53	1.75	2.28	-	6.20		
22	Charo_3	20.00	0.220	0.110	21	829.03	0.00		0.00	6.91	1.83	0.00	-			1.83	8.74	0.05	-	0.05	(0.05)		-	0.05	8.74		8.74
23	Charo_4	96.16	0.222	0.122	1,848	916.73	0.07	0.15	0.21	2.57	10.73	0.05	0.03			10.81	13.37	0.14	0.15	0.29	(0.08)	-	-	0.08	13.37		13.37
24	Charo_5	226.34	0.251	0.122	108,159	682.05	10.34	25.58	35.92	171.53	18.77	7.76	5.12			31.64	203.17	2.86	9.82	12.67	7.48	15.76	23.25	-	179.92		
25	Charo_6	47.49	0.223	0.137	1,567	1,045.81	0.06	-	0.06		6.82	0.04	-			6.86	6.86	-	-	-	0.06	-	0.06	-	6.80		6.80
26	Álvaro Obregón_1	43.90	0.268	0.112	6,082	497.21	0.34	19.54	19.88	179.92	2.44	0.26	3.91			6.61	186.53	0.59	5.73	6.33	(0.25)	13.81	13.81	0.25	172.72		
27	Álvaro Obregón_2	27.40	0.262	0.107	4,438	500.29	0.16	9.44	9.60	167.68	1.47	0.12	1.89			3.48	171.16	0.33	2.01	2.33	(0.17)	7.43	7.43	0.17	163.73	163.73	
28	Río Canacucho	201.61	0.251	0.144	27,803	857.29	2.02		2.02		24.81	1.52	-			26.33	26.33	0.40	-	0.40	1.62	-	1.62	-	24.71		
		2521.13			1,533,671	749.46	151.43	127.39	272.82									49.25	48.74	97.99		180.83	3.69		166.81	49.66	
BALANCE																									220.16		

Ap SUB = Aportación total de Agua Subterránea
 ASUB = Remanente de aguas subterráneas después de demanda
 Con AP = Volumen concesionado para Agua Potable
 Con AR = Volumen concesionado para Agua para Riego
 Ce = Coeficiente de escurrimiento
 Dem AP = Demanda de Agua Potable
 Dem AR = Demanda de Agua para Riego
 Dem T = Demanda Total
 DST = Componente de la demanda a ser cubierta con aguas superficiales

Esc AAR = Escurrimiento Aguas Arriba
 Esc CP = Escurrimiento en Cuenca Propia
 Esc NAT = Escurrimiento Natural
 Esc T = Escurrimiento Total
 ETR = Evapotranspiración de Embalses
 F Zde = Volumen que drena fuera de la Zde
 K = Coeficiente que depende del uso y tipo de suelo
 MAN = Manantiales
 PMA = Precipitación Media Anual

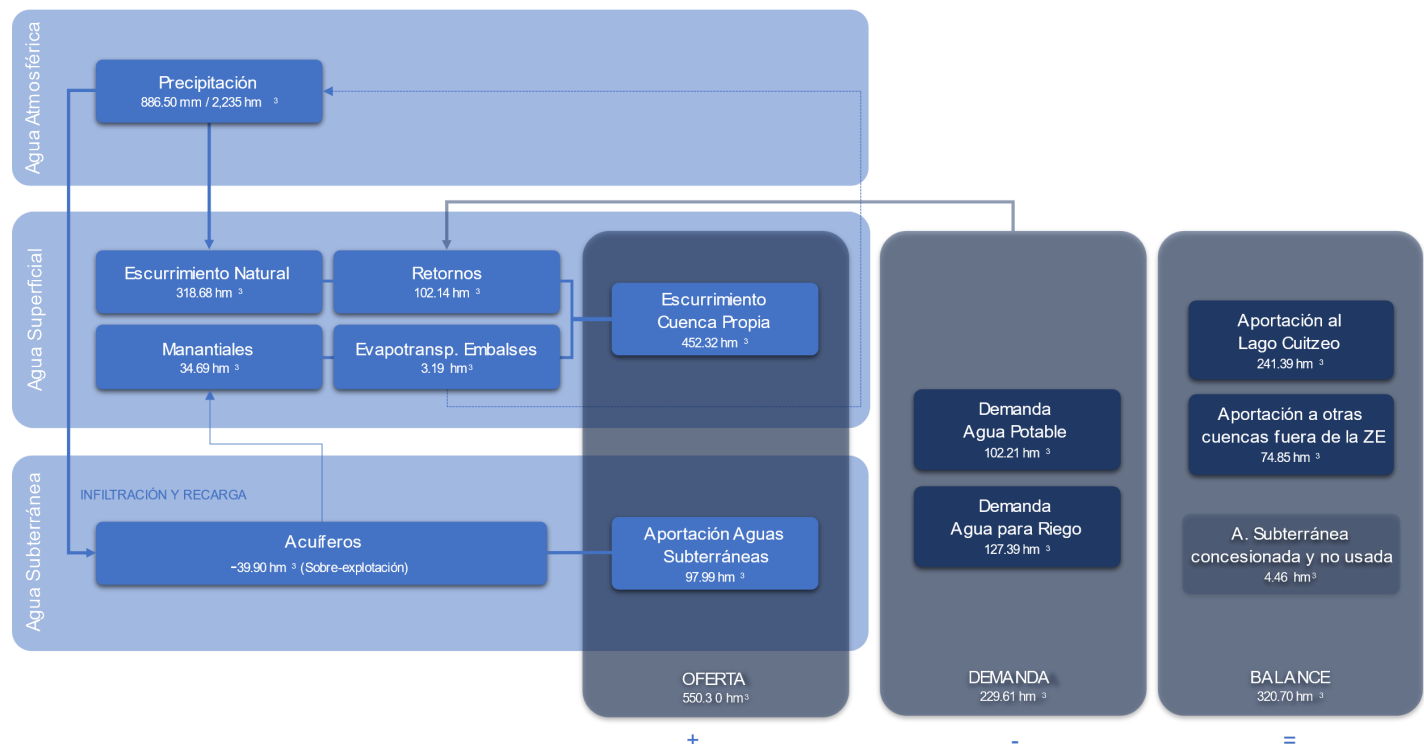
Pob RUR = Población Rural
 Pob URB = Población Urbana
 Pob TOT = Población Total
 Ret AP = Retorno de Agua Potable
 Ret AR = Retorno de Agua para Riego
 VMA = Volumen Medio Anual (Disponibilidad)

Esc CP	400.99
Ap ASUB	97.99
OFERTA	498.97
DEMANDA	278.82
BALANCE	220.16

► 5.5 Resultado del balance hídrico

El balance hídrico en condiciones actuales resulta en un volumen medio anual de 320.70 millones de m³ al año. La **Figura 5.3** a continuación nos muestra de manera esquemática las diferentes componentes que integran dicho balance y sus volúmenes correspondientes.

Figura 5.3. Balance hídrico de la ZdE en condiciones actuales



Fuente: Elaboración propia

Existe, entonces, un volumen de agua potencialmente aprovechable, que hoy escurre hacia el Lago de Cuitzeo (241.29 hm³/año) y hacia afuera de la ZdE (74.85 hm³/año). Su uso depende del desarrollo de la infraestructura necesaria; aunque también implicaría un menor escurrimiento hacia el Lago de Cuitzeo, que ya de por sí presenta niveles muy bajos de almacenamiento. En otras palabras, el volumen potencialmente aprovechable puede ser usado para consumo humano en la ZdE reduciendo proporcionalmente el agua para fines ambientales.

Por otro lado, y tomando en cuenta las fuentes actuales de abastecimiento para uso en el consumo humano, solamente el 20% del agua proviene de recursos superficiales (Presa Cointzio) y la mayor parte (80%) de los subterráneos (pozos y manantiales), mismos que hoy día presentan ya una sobreexplotación (-39.90 hm³/año).

Si a esto agregamos que existen grandes áreas de oportunidad para mejorar la eficiencia física del sistema de abastecimiento de agua potable (y recuperar las pérdidas estimadas del orden de 50% por el Plan de Desarrollo Integral (PDI) del Organismo Operador de Morelia en 2021), podemos concluir que la seguridad hídrica de Morelia al 2050 implica un uso más equilibrado de los recursos hídricos superficiales y subterráneos, y no el identificar o generar fuentes alternativas de abastecimiento.

Asimismo, si consideramos los 3 escenarios futuros, las condiciones antes descritas se mantienen; no obstante, el volumen potencialmente aprovechable se reduce hasta 220.16 hm³ anuales en el escenario RCP 8.5 bajo cambio climático. La **Tabla 5.15** a continuación resume las principales componentes del balance hídrico para cada escenario, mientras que la **Tabla 5.16** lo hace a nivel de microcuenca.

Tabla 5.15. Resumen del balance hídrico en la ZdE para los diferentes escenarios considerados

ESCENARIO		OFERTA			DEMANDA			BALANCE			
		Esc CP	Ap ASUB	Total	Dem AP	Dem AR	Total	Cuitzeo	F ZdE	ASUB	Total
CONDICIONES NORMALES	Actual	452.32	97.99	550.30	102.21	127.39	229.61	241.39	74.85	4.46	320.70
	Tendencial 2050	474.84	97.99	572.82	151.43	127.39	278.82	222.82	67.50	3.69	294.01
CAMBIO CLIMÁTICO	RCP 4.5	440.67	97.99	538.65	151.43	127.39	278.82	196.23	59.91	3.69	259.84
	RCP 8.5	400.99	97.99	498.97	151.43	127.39	278.82	166.81	49.66	3.69	220.16

Fuente: Elaboración propia

Análisis de sensibilidad

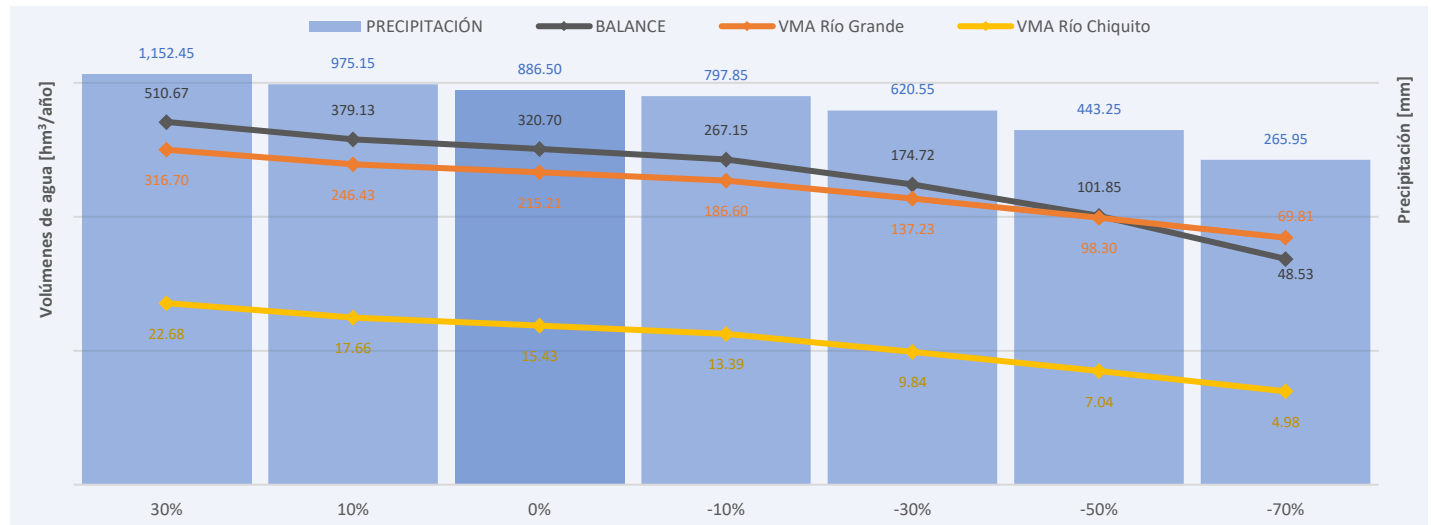
Los resultados obtenidos para los diferentes escenarios planteados, se complementa a partir de un análisis de sensibilidad realizado en consideración de cambios en la precipitación y en la población total en la ZdE.

Como se puede observar en las dos figuras siguientes, el balance hídrico resulta mucho sensible a cambios en la precipitación con respecto a las variaciones en el número de habitantes. Con un 30% más de precipitación (es decir 975 mm) el volumen de agua potencialmente aprovechable aumenta casi 60%; esto es, unos 190 hm³/año. Este escenario es perfectamente posible, incluso por encima de esos niveles, si consideramos que tan solo en el periodo 2000-2020 se presentaron 3 años con una precipitación media anual por encima de los 1100 mm. Situación por supuesto favorable con respecto a la disponibilidad de recursos hídricos; no así en relación con mayores riesgos asociados a la gestión y el control de las inundaciones.

En los casos de las variaciones negativas en la cantidad de lluvia, consistentemente se reduce el escurrimiento y por tanto la oferta o disponibilidad de los recursos hídricos. El balance mantiene una tasa de reducción más o menos estable hasta niveles cercanos al 20% de disminución de la precipitación. A partir de ahí se presenta una reducción gradual más acelerada del volumen potencialmente aprovechable (balance) que, aunque continuaría siendo positivo, incluso con precipitaciones por debajo de los 250 mm (nunca ocurridas en la historia), representaría mayores afectaciones ambientales, dados los volúmenes más reducidos escurriendo al Lago de Cuitzeo. Con una precipitación de 670 mm (la menor registrada en el periodo 2000-2020) el balance se reduce un 38%, hasta los 200 hm³/año, de los cuales el 75% escurren al Lago de Cuitzeo.

Alrededor de los 700 mm, empiezan a presentarse déficits específicos a nivel de microcuenca, sobre todo en la zona Noreste en Tarímbaro_2 y Tarímbaro_1. En relación con el balance general, estas insuficiencias que se presentan a nivel individual se logran compensar en Álvaro Obregón (que es hacia donde fluyen Tarímbaro_1 y Tarímbaro_2), gracias a los volúmenes que vienen desde río Grande; no obstante, en términos reales se requeriría forzosamente de nueva infraestructura que facilite el trasvase de agua para poder subsanarlas (i.e. acueductos). Por debajo de los 425 mm de precipitación, el balance general empieza a ser menor incluso que el de la microcuenca de río Grande derivado de esos déficits. (ver **Figura 5.4**)

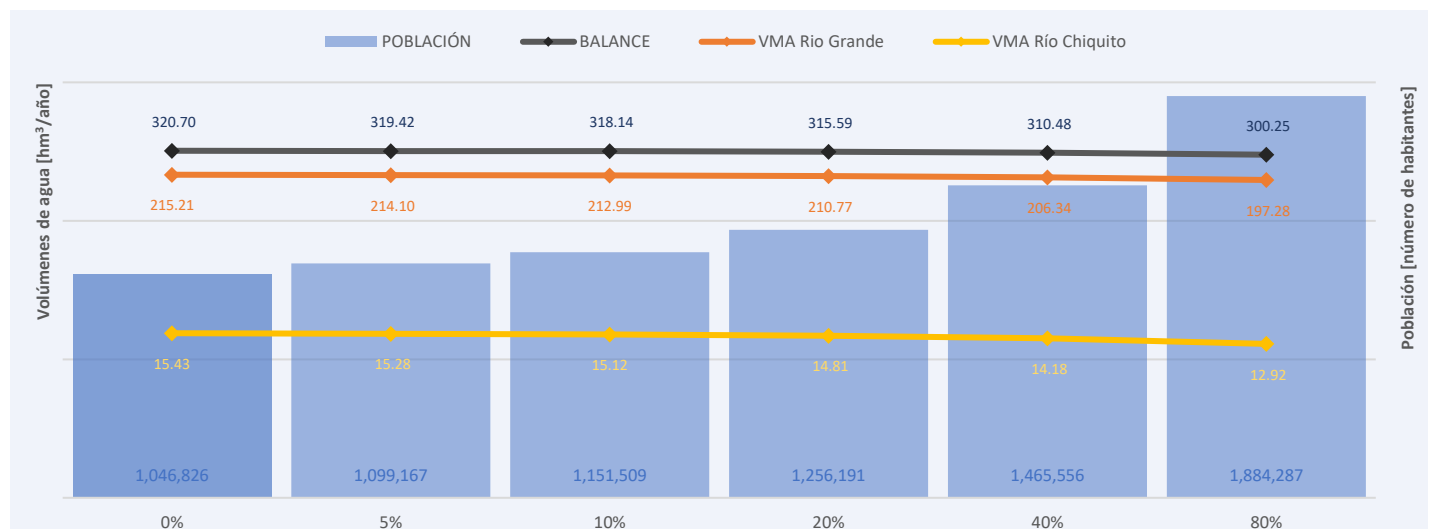
Figura 5.4. Análisis de sensibilidad del balance hídrico vs la precipitación



Fuente: Elaboración propia

En relación con la población, el balance general del sistema resulta ser mucho menos sensible a variaciones en el número de habitantes dentro de la ZdE. De manera directa, a mayor población aumenta la demanda, que a su vez impacta en mayor uso de recursos hídricos, pero también en un mayor volumen de retornos. Esta estabilidad en el balance supone la existencia y utilización de la infraestructura necesaria para aprovechar los retornos adicionales generados, particularmente aquellos asociados con la captación, tratamiento y reúso de aguas residuales.

Figura 5.5. Análisis de sensibilidad del balance hídrico vs la población



Fuente: Elaboración propia

Tabla 5.16. Resumen del balance hídrico por microcuenca para todos los escenarios

No.	MICROCUECNA					BALANCE ACTUAL				BALANCE 2050				BALANCE 2050 – RCP 4.5				BALANCE 2050 – RCP 8.5			
						DMA	ASUB	Cuitzeo	F ZdE	DMA	ASUB	Cuitzeo	F ZdE	DMA	ASUB	Cuitzeo	F ZdE	DMA	ASUB	Cuitzeo	F ZdE
1	Umécuaro					9.47				9.02				8.23				7.80			
2		Tirio				12.61				12.20				11.10				10.39			
3		San Andrés				4.69				4.68				4.39				4.35			
4		Río Canacucho				27.45				28.17				26.40				24.71			
5		Atécuaro				5.60				5.24				4.75				4.27			
6			Lagunillas			91.10				91.44				84.09				78.46			
7			Capula			11.08				11.31				10.30				8.99			
8			Los Pirules			3.13	0.48			3.41	0.10			3.08	0.10			2.68	0.10		
9			Charo_1			9.92				8.66				7.53				6.20			
10			Río Chiquito			15.43				14.02				12.54				11.10			
11				Río Grande		215.21				205.20				187.62				171.53			
12					Charo_5	232.74				222.13				201.25				179.92			
13					Álvaro Obregón_1	227.40	0.33			216.85	0.25			195.35	0.25			172.72	0.25		
14				San Marcos		14.93	3.25			12.39	3.02			10.93	3.02			9.11	3.02		
15					Tarimbaro_1	14.99				10.89				8.57				5.80			
16					Tarimbaro_2	9.32				4.41				0.24				(5.04)			
17					Álvaro Obregón_2	233.97	0.20			218.47	0.17			192.32	0.17			163.73	0.17		
18					Sta. Inés	7.42	0.003	241.39		4.34	0.003	222.82		3.91	0.003	196.23		3.08	0.003	166.81	
19					El Fresnito	5.35	0.02			1.42				1.24				0.92			
20					Teremendo	13.88	0.04			9.43	0.02			8.48	0.02			6.80	0.02		
21					Tiristarán	4.31				3.06				2.74				2.21			
22					Teremendo Jasso	11.84				9.01				8.15				6.79			
23					Santas Marías	8.30				8.18				7.25				7.16			
24					Paredones	9.19				9.07				7.88				6.91			
25					Charo_3	11.81	0.05			11.69	0.05			10.06	0.05			8.74	0.05		
26					Barranca del agua	3.49				3.49				2.98				2.57			
27					Charo_4	19.94	0.09			20.01	0.08			17.48	0.08			13.37	0.08		
28					Charo_6	9.08			74.85	9.19			67.50	8.50			59.91	6.80			49.66
						320.70				294.01				259.84				220.16			

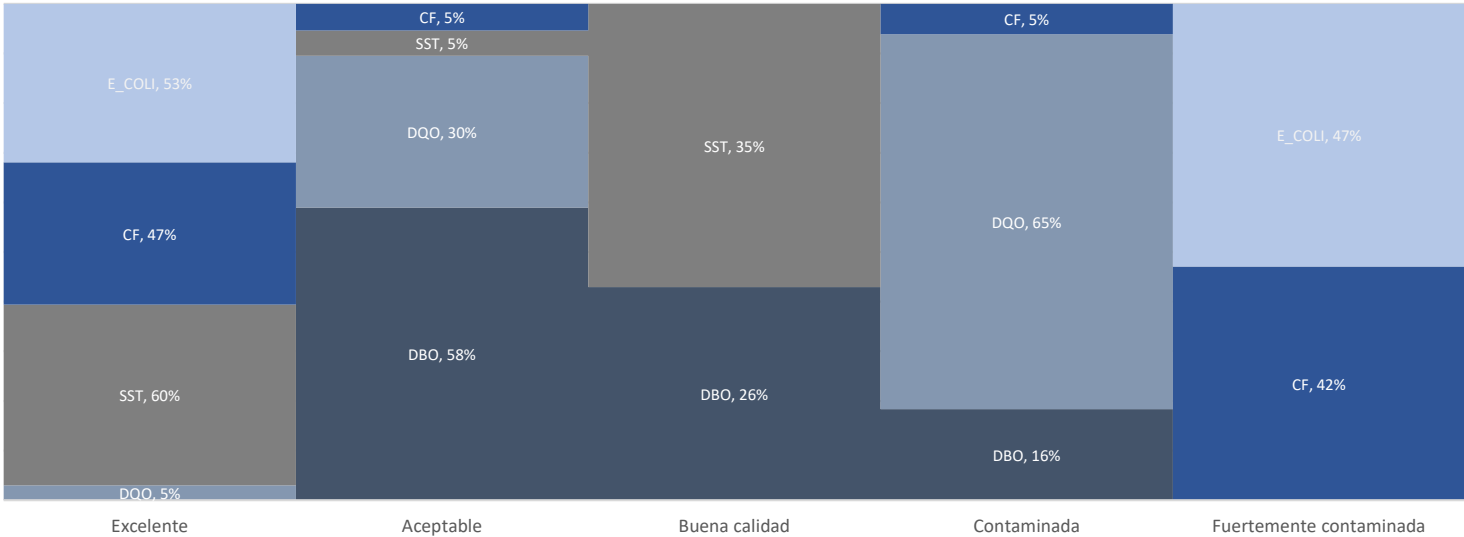
► 5.6 Calidad del agua

De acuerdo con los datos de la Conagua [3], al 2022 la red de monitoreo de calidad del agua dentro de la ZdE estaba integrada por 26 sitios en total (ver **Figura 5.7**).

En el caso de la componente de aguas superficiales (20 sitios), se monitorearon 8 parámetros indicadores: Demanda Bioquímica de Oxígeno a cinco días (DBO5), Demanda Química de Oxígeno (DQO), Sólidos Suspendedos Totales (SST), Coliformes fecales (CF), Escherichia coli (E_COLI), Enterococos fecales (ENTEROC_FEC), porcentaje de saturación de Oxígeno Disuelto (OD%), y Toxicidad aguda (TOX).

A partir de los valores promedio en el periodo 2012-2022 para 5 de estos indicadores (DBO, DQO, SST, CF y E_COLI), se obtuvieron calificaciones de “excelente” para los siguientes parámetros: SST (60% de los sitios); E_COLI (53% de los sitios); CF (47% de los sitios) y DQO (5% de los sitios). El indicador de DBO obtuvo calificaciones de “aceptable” y de “buena calidad” en 16 de los sitios evaluados, 3 más arrojaron resultados no positivos, y en uno de ellos no se obtuvo dato. El indicador para el que se recibieron valoraciones negativas en el mayor número de sitios es el DQO, con el 65% de los sitios con calificación de “contaminada”. Finalmente, los indicadores E_COLI y CF comparten casi equitativamente las peores calificaciones (“fuertemente contaminada”) en 47 y 42% de los sitios, respectivamente (ver **Figura 5.6**).

Figura 5.6. Indicadores de calidad del agua registrados en la red de monitoreo en la ZdE (2012-2022)



Fuente: Elaboración propia con base en información del SINA, Conagua, 2024 [3]

Por su parte, para la componente de aguas subterráneas (6 sitios), se realizó el monitoreo de 14 parámetros indicadores fisicoquímicos y microbiológicos con el objeto de calificar el cumplimiento o incumplimiento de la calidad del agua destinada para uso potable, de consumo o en riego agrícola; a saber: Fluoruros (Fluo), Coliformes fecales (CF), Nitrógeno de Nitratos (N_NO3), Arsénico Total (As_Tot), Cadmio Total (Cd_Tot), Cromo Total (Cr_Tot), Mercurio Total (Hg_Tot), Plomo Total (Pb_Tot), Alcalinidad (Alc_Tot), Conductividad eléctrica (Cond_elec), Dureza Total (Dur_Tot), Sólidos Disueltos Totales (SDT), Hierro Total (Fe_Tot) y Manganeseo Total (Mn_Tot).

Cinco (5) de los seis (6) sitios que componen la red de monitoreo de aguas subterráneas obtuvieron calificaciones excelentes de calidad para el uso potable o de consumo humano; el único sitio que no presente esos niveles es el sitio de Cerrito Itzicuario

(DLMIC1727), que registró concentraciones de manganeso y hierro por encima de los límites permisibles en la Norma, no obstante, sin efectos en la salud, más allá de que puede dar color al agua.

En relación con el uso para riego agrícola, el agua analizada en los 6 sitios tiene calificaciones de buenas a excelentes en función de su conductividad eléctrica y de los sólidos disueltos totales, respectivamente. Nuevamente el caso de Cerrito Itzicuaru (DLMIC1727) presenta valores en estos dos indicadores que reducen la calidad del agua, no obstante, aun así, sigue siendo permisible.

La **Tabla 5.17** a continuación resume los resultados del análisis de calidad del agua para los diferentes sitios de la red, asignando adicionalmente el color correspondiente de acuerdo con el semáforo de calidad el agua para potable y de consumo utilizado por la Conagua. El color verde, cuando hay cumplimiento de los 8 indicadores; amarillo cuando se incumple uno o más de los siguientes parámetros: E_COLI, CF, SST y OD%; y rojo cuando existe incumplimiento en uno o más de los siguientes parámetros: DBO5, DQO, TOX y ENTEROC_FEC.

Tabla 5.17. Parámetros de calidad del agua en la Zde²⁷

SUPERFICIALES										
CLAVE SITIO	CUERPO DE AGUA	DBO		DQO		SST		COLI_FEC		CONTAMINANTES (SEMAFORO)
		Valor	Cumple	Valor	Cumple	Valor	Cumple	Valor	Cumple	
LÉNTICOS										
DLMIC1711	Presa Cointzio	11	Si	46.5	No	23	Si	240	Si	DQO
DLMIC1712	Presa Cointzio	10	Si	43.5	No	11.2	Si	93	Si	DQO
DLMIC1713	Presa Cointzio	10	Si	35	Si	<10	Si	43	Si	OD%F
DLMIC1714	Presa Cointzio	9	Si	42	No	13.5	Si	43	Si	DQO, OD%F
DLMIC1716	La Mintzita	5	Si	36	Si	<10	Si	25	Si	
DLMIC1718	Morelia-Queréndaro	6	Si	45	No	<10	Si	23	Si	DQO
DLMIC1781	Presa Umécuaro	6	Si	40	Si	<10	Si	4	Si	
DLMIC1782	Presa Umécuaro	6	Si	40	Si	<10	Si	9	Si	
OCBAL0064RNL	s/d	s/d	-	<10	Si	<10	Si	s/d	Si	
LOTICOS										
DLMIC1715	Río Grande de Morelia	8	Si	39.3	Si	10	Si	40	Si	
DLMIC1717	La Mintzita	6	Si	24	Si	<10	Si	43	Si	
DLMIC1719	Río Grande de Morelia	29	Si	146	No	40	Si	24,000	No	DQO,CF,E_COLI,
DLMIC1720	Río Grande de Morelia	10	Si	47	No	21	Si	2,400	No	DQO,CF,E_COLI,
DLMIC1721	Río Grande de Morelia	29	Si	140	No	48.5	Si	11,000	No	DQO,CF,E_COLI,
DLMIC1723	Río Grande de Morelia	26	Si	101.5	No	40	Si	24,000	No	DQO,COLIF_FEC,E_COLI,OD%L,
DLMIC1729	Río Grande de Morelia	62	Si	146.5	No	72.5	Si	24,000	No	DBO,DQO,CF,E_COLI,OD%L,TOX_L,
DLMIC1730	Río Grande de Morelia	60	Si	135	No	80	Si	24,000	No	DBO,DQO,CF,E_COLI,OD%L,TOX_L,
DLMIC1731	Río Grande de Morelia	37.8	Si	118	No	70	Si	24,000	No	DBO,DQO,CF,E_COLI,OD%L,TOX_L,
DLMIC1733	Río Grande de Morelia	19	Si	59	No	30	Si	24,000	No	DQO,CF,E_COLI,OD%L,TOX_L,
DLMIC1784	Presa Cointzio	12	Si	45.5	No	39	Si	11,000	No	DQO,CF,E_COLI,

²⁷ Donde:

DBO = Demanda bioquímica de oxígeno [mg/L]

DQO = Demanda química de oxígeno [mg/L]

SST = Sólidos suspendidos totales [mg/L]

SDT = Sólidos disueltos totales [mg/L]

COLI_FEC ó CF = Coliformes fecales [NMP/100 mL] (NMP = Número más probable)

OD%F = Porcentaje de oxígeno disuelto al fondo [% de saturación]

OD%L = Porcentaje de oxígeno disuelto [% de saturación]

E_COLI = Escherichia coli [NMP/100 mL]

TOX_L = Toxicidad aguda

COND_ELEC = Conductividad eléctrica [µS/cm]

DUR_TOT = Dureza total [mg CaCO3/L]

MN_TOT = Manganeso [mg/L]

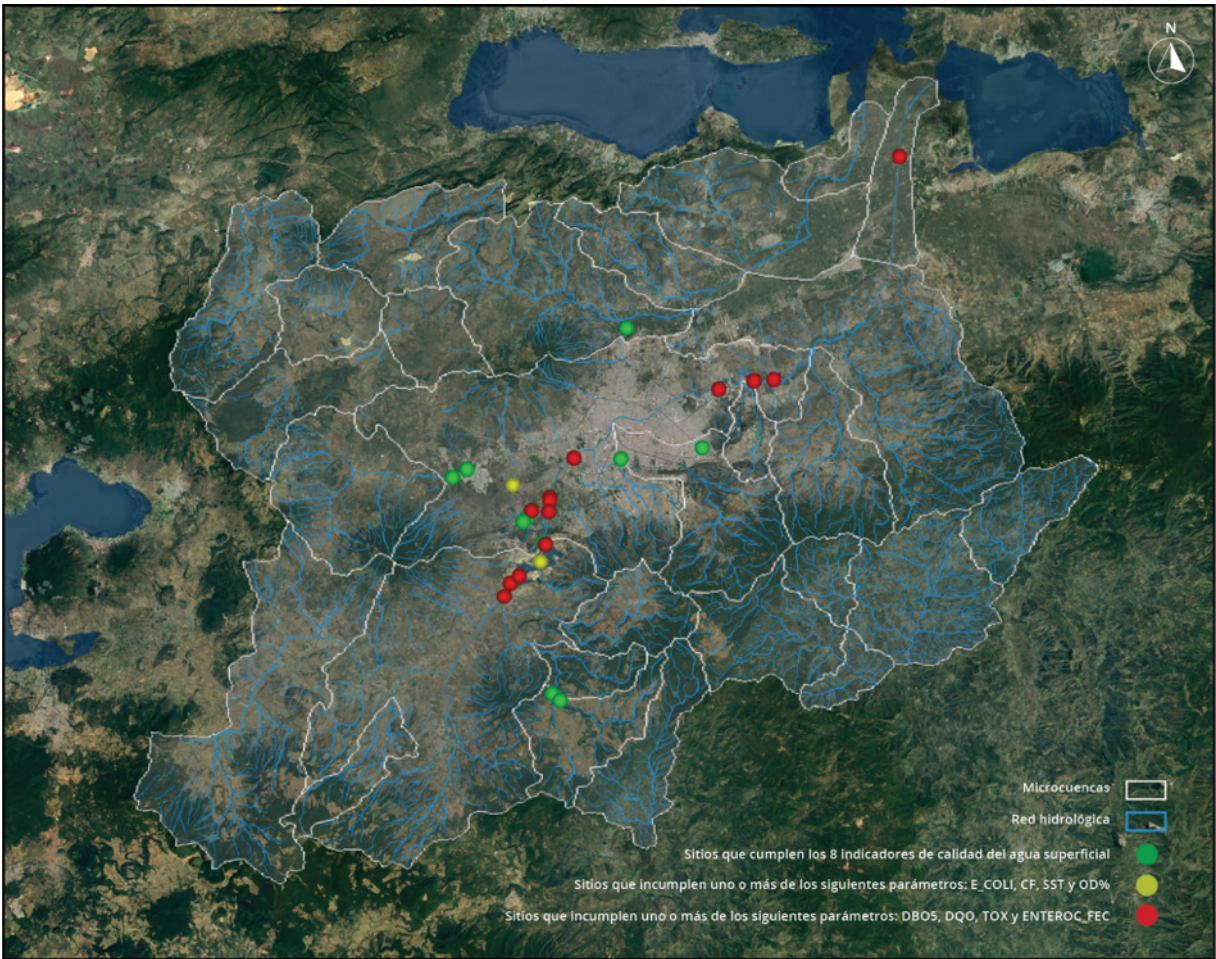
FE_TOT = Hierro [mg/L]

SUBTERRÁNEOS										
CLAVE SITIO	ACUÍFERO	COND_ELEC		DUR_TOT		SDT		COLI_FEC		CONTAMINANTES (SEMAFORO)
		Valor	Cumple	Valor	Cumple	Valor	Cumple	Valor	Cumple	
DLMIC1725	Morelia-Queréndaro	579	Si	145.5	Si	382.72	Si	<1.1	Si	
DLMIC1726	Morelia-Queréndaro	260	Si	54	Si	197	Si	<1.1	Si	
DLMIC1727	Morelia-Queréndaro	781.5	Si	105.5	Si	504.5	Si	<1.1	Si	MN_TOT, FE_TOT
DLMIC1728	Morelia-Queréndaro	367	Si	130	Si	308	Si	<1.1	Si	
DLMIC5347	Morelia-Queréndaro	636.5	Si	243	Si	437	Si	<1.1	Si	
DLMIC6152	Morelia-Queréndaro	516	Si	111.8	Si	322	Si	<1.1	Si	

Fuente: Elaboración propia con base en información del SINA, Conagua, 2024 [3]

Los sitios que incumplen con alguno de los indicadores de calidad del agua (70%) se encuentran principalmente ubicados a lo largo del cauce del río Grande de Morelia. La Mintzita, una de las principales fuentes de abastecimiento de la Ciudad de Morelia presentó valores dentro de la Norma en el periodo considerado de 2012 a 2022. La calidad de los pozos es de excelente calidad, tanto que el agua extraída se inyecta directamente a las redes de distribución para consumo humano.

Figura 5.7. Semaforización de los sitios de la red de monitoreo de calidad del agua en la ZdE



Fuente: Elaboración propia con base en información del SINA, Conagua, 2024 [3]

Referencias

- [1] **CONAGUA, 2015.** Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento. Volumen 4: Datos Básicos para Proyectos de Agua Potable y Alcantarillado.
- [2] **CONAGUA, 2024.** Registro Público de Derechos del Agua.
- [3] **CONAGUA, 2024.** Sistema Nacional de Información del Agua – Indicadores de calidad del agua 2012-2022.
- [4] **DOF, 2015.** NORMA Oficial Mexicana NOM-011-CONAGUA-2015, Conservación del recurso agua-Que establece las especificaciones y el método para determinar la disponibilidad media anual de las aguas nacionales.
- [5] **ICAyCC, 2024.** Repositorio Institucional – Escenarios de Cambio Climático.
https://atlasclimatico.unam.mx/Act_Esc_CC/datos/ESCENARIOS_A_ALTA_RESOLUCION/CNRMCM5/
- [6] **INEGI, 2020.** Principales resultados por localidad (ITER) del Censo de Población y Vivienda 2020. Datos oportunos. INEGI. Censo de Población y Vivienda 2020. SNIEG. Información de Interés Nacional. Conjunto de indicadores de población y vivienda a nivel localidad de todo el país, provenientes del Censo de Población y Vivienda 2020
- [7] **INEGI, 2024.** INEGI, 2024. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Uso del suelo y vegetación, escala 1:250 000, serie VI (Conjunto nacional): <https://www.inegi.org.mx/temas/usosuelo/#Descargas>
- [8] **SMN-CONAGUA, 2024.** Información estadística climatológica.
<https://smn.conagua.gob.mx/es/climatologia/informacion-climatologica/informacion-estadistica-climatologica>

6. Análisis prospectivo



► 6.1 Intercambio intersectorial y reúso de agua en la zona de estudio

Consideraciones iniciales sobre el estado de los recursos hídricos

A partir de los resultados del balance hídrico bajo condiciones actuales, y con base en los volúmenes concesionados y/o entregados, el estado de los recursos hídricos en la zona de estudio es el siguiente (ver **Figura 6.1**):

- **Aguas superficiales:** la disponibilidad media anual en la zona de estudio es de 320.70 hm³/año, de los cuales 241.39 hm³/año desembocan en la laguna de Cuitzeo y 74.85 hm³/año hacia fuera de la zona de estudio, a través de las microcuencas Teremendo, Teremendo Jasso, Charo 6, Charo 4, Charo 3 y Santas Marías.
- **Aguas subterráneas:** el acuífero de Morelia-Queréndaro presenta una condición de sobreexplotación (así como de veda) con un déficit de 39.9 hm³/año, según el Acuerdo por el que se actualiza la disponibilidad media anual de agua subterránea de los 653 acuíferos de los Estados Unidos Mexicanos en 2022. Poco más de la mitad de este acuífero (54.3%) se encuentra dentro de la zona de estudio, abarca un 75% de ésta y es su fuente principal de aguas subterráneas con el 99% del volumen total concesionado. Los otros cuatro acuíferos abarcan el 25% restante, aunque solamente contribuyen con el 1% del volumen concesionado. Tres de ellos tienen una disponibilidad media anual positiva (Zacapu, Huetamo y Tacámbaro-Turicato) y el otro presenta condiciones de sobreexplotación (Lagunillas Pátzcuaro)²⁸.
- **Aguas residuales tratadas:** los volúmenes tratados y las capacidades instaladas de saneamiento para las principales dos plantas de tratamiento de aguas residuales son los siguientes: Atapaneo con 1100 y 1200 lps, e Itzicuaros con 190 y 210 lps, respectivamente. Esto representa, un volumen anual de 40.68 hm³ tratados e infraestructura de tratamiento por el que se actualiza la disponibilidad media anual de agua subterránea para 44.47 hm³.

Tomando en cuenta las cifras anteriores y considerando que bajo todos los escenarios el balance hídrico resulta positivo en términos de la disponibilidad del agua, es decir, que existe un volumen potencialmente aprovechable en todos los casos, la necesidad de identificar y desarrollar fuentes complementarias de abastecimiento no resulta prioritario en el mediano plazo (al 2050). Por el contrario, la estrategia consiste, entonces, en establecer alternativas que contribuyan a un uso más equilibrado y eficiente desde un punto de vista integral para todos los recursos hídricos en la ZdE.

Los posibles esquemas de transferencia intersectorial y el reúso del agua, en conjunto con la recarga artificial de acuíferos y la reducción de las pérdidas en el sistema de abastecimiento podrán aportar en este sentido.

Viabilidad y potencial de intercambio intersectorial y reúso de agua

En términos legales, la transferencia intersectorial del agua se sustenta en la Ley de Aguas Nacionales [4]. El título IV correspondiente a Derechos de Explotación, Uso o Aprovechamiento de Aguas incluye en su capítulo V sobre Transmisión de Derechos el Art. 33 que a la letra establece: “Los títulos de concesión para la explotación, uso o aprovechamiento de aguas

²⁸ El balance de agua se calculó en consideración de una demanda de agua para uso público urbano -estimada a partir de una dotación dada- y para uso en riego agrícola -en función del volumen actualmente concesionado para dicho uso, toda vez que este sería el máximo volumen a abastecer dada del área de riego existente-. La satisfacción de dicha demanda se realiza entonces a partir del volumen actualmente concesionado de aguas subterráneas, en primer lugar, y la diferencia se cubre con base en el volumen total de escurrimiento disponible. Dada esta dinámica, y considerando el nivel de microcuenca, se encontró que para algunos casos el volumen de aguas subterráneas concesionado para uso público urbano resulta ser mayor que el volumen necesario para satisfacer la demanda. Esto representa un volumen excedente que en total asciende a más de 4.46 hm³/año.

nacionales, legalmente vigentes y asentados en el Registro Público de Derechos de Agua, así como los Permisos de Descarga, podrán transmitirse en forma definitiva total o parcial, con base en las disposiciones del presente capítulo y aquellas adicionales que prevea la Ley y sus reglamentos.” Asimismo, en el Art. 7 (fracción VII) se declara de utilidad pública: “El mejoramiento de la calidad de las aguas residuales, la prevención y control de su contaminación, la recirculación y el reúso de dichas aguas, así como la construcción y operación de obras de prevención, control y mitigación de la contaminación del agua, incluyendo plantas de tratamiento de aguas residuales.”

El potencial para el intercambio y/o reúso del agua en la ZdE tiene su origen en las capacidades y volúmenes de las PTAR Itzicuaros y Atapaneo, en conjunto con la capacidad todavía disponible del manantial La Mintzita (4.67 hm³/año).

En el caso de la PTAR Itzicuaros se trata un caudal diario de unos 190 lps, equivalentes a casi 6 hm³ anuales de agua tratada, de los cuales solamente el 44% es aprovechado por el OOAPAS para abastecer a la papelera Kimberly Clark Morelia. Entonces, si consideramos que su capacidad instalada le permitiría tratar un volumen de hasta 6.62 hm³ anuales, su potencial para el intercambio o reúso es de 3.97 hm³ anuales.

Por su parte, la PTAR Atapaneo tiene una capacidad de hasta 1,200 lps; no obstante, hoy día solamente se genera un gasto diario medio de 1,100 lps, es decir un volumen de 34.69 hm³ anuales. Ahora bien, dados los volúmenes de aguas residuales municipales no conectados a los colectores Marginal y Emisor del río Grande, se estima una necesidad de crecimiento de la PTAR para otros 600 lps, equivalentes a unos 18.92 hm³ anuales. El volumen actual tratado por esta PTAR equivale al 86% de las aguas residuales de la ciudad de Morelia, de tal forma que en cuatro de los 12 meses del año su capacidad se ve superada y los volúmenes excedentes de aguas negras son desviados al cauce del río Grande donde terminan mezclándose con el agua residual ya tratada [2].

Un anteproyecto para la ampliación de la PTAR Atapaneo incluía diversos elementos para llevar su capacidad total hasta 56.76 hm³/año (1,800 lps). La tabla a continuación resume dichos elementos y sus costos de inversión asociados:

Tabla 6.1. Ampliación de la PTAR Atapaneo – conceptos y costos [en mdp]

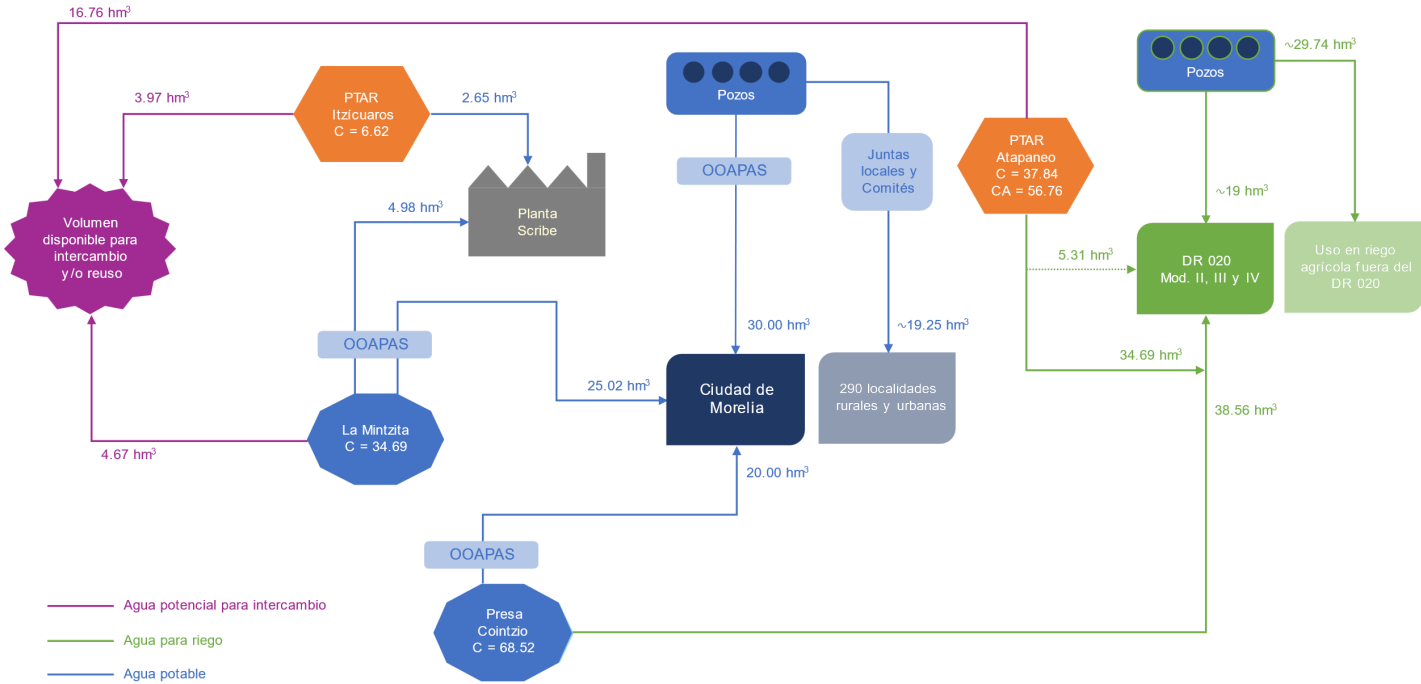
#	CONCEPTO	COSTO EN MILES DE PESOS
	TERMINACIÓN DE COLECTORES	
1	Terminación de Colectores del Arroyo de Santa Marías y su conexión al Colector marginal derecho	\$200.00
2	Terminación de Colectores del Canal Torreón Nuevo y/o de Enmedio y su conexión al Emisor de Aguas Colectadas	\$150.00
	Subtotal Terminación de Colectores	\$350.00
	AMPLIACIÓN DE LA PTAR ATAPANEO	
3	Pretratamiento y desarenado	\$51.00
4	Tratamiento secundario, a través de un Reactor Biológico y otro de Lodos Activados	\$190.00
5	Ampliación de la desinfección de agua tratada	\$17.00
6	Digestión, manejo y deshidratado de lodos	\$128.00
7	Otros costos	\$218.00
	Subtotal Ampliación PTAR Atapaneo	\$604.00
		\$954.00

Fuente: Elaboración propia con base en información de OOAPAS [5]

Tomando en cuenta que el título de concesión de aguas nacionales de la CONAGUA otorga a los usuarios en los módulos II, III y IV del DR 020, volúmenes anuales por unos 78.65 hm³/año (de los cuales el 49% se entregan a través del canal principal (río Grande), y el 51% restante aguas debajo de la ciudad de Morelia, posterior a la descarga de la PTAR Atapaneo), la operación de la PTAR ampliada deberá cumplir con esta situación y con las condiciones particulares de descarga asignadas a la ciudad, con referentes de topes máximos de descarga del orden de 75 mg/m³ de DBO y SST, condición sobradamente cumplida en estos casi 20 años de operación de la PTAR.

En ese sentido, y de conformidad con el estado actual de los recursos hídricos en la zona de estudio, la **Figura 6.1** muestra los volúmenes potenciales para el intercambio intersectorial y el reúso en función de las diversas fuentes disponibles y sus capacidades, actuales y factibles, así como de los volúmenes concesionados para los usuarios; en tanto que la Tabla 6.2 resume las capacidades de cada fuente y los volúmenes concesionados y/o aprovechados en relación con los usuarios más relevantes en esquemas de intercambio intersectorial y reúso de agua.

Figura 6.1. Aprovechamiento de los recursos hídricos en la ZdE y potencial de intercambio intersectorial y reúso del agua²⁹



Fuente: Elaboración propia con base en información Conagua, OOAPAS y DR 020 [1][6][3].

Tabla 6.2. Volúmenes potenciales para intercambio intersectorial y/o reúso del agua en la ZdE [en hm³/año]³⁰

²⁹ Donde:
C = Capacidad instalada actual
CA = Capacidad instalada ampliada
³⁰ Donde:
CAP INST = Capacidad Instalada.
VCON = Volumen concesionado o entregado.
VINT = Volumen potencial para intercambio y/o reúso de agua.

FUENTE ABASTECIMIENTO	CAP INST	VCON	CONCESIONARIO	VINT
Presa Cointzio	68.52	20.00	OOAPAS Morelia	9.87
		38.65	DR 020	
Manantial La Mintzita	34.69	25.02	OOAPAS Morelia	4.67
		4.98	OOAPAS Morelia - Scribe	
Acuífero Morelia-Queréndaro	-39.9	30.00	OOAPAS Morelia	-
		19.25	Juntas Locales y Comités	
		~19.00	DR 020	
		~29.74	Otros usuarios de agua para riego	
PTAR Itzícuaros	6.62	2.65	OOAPAS Morelia - Scribe	3.97
PTAR Atapaneo	37.84	34.69	DR 020	-
	56.76	40.00	DR 020	16.76

Fuente: Elaboración propia con base en información CONAGUA, OOAPAS y DR 020 [1][6][3].

► 6.2 Alternativas para el intercambio intersectorial de agua

Alternativa I: MINTZITA-ITZÍCUIAROS-OOAPAS Morelia

CONSIDERA LOS RECURSOS DISPONIBLES DEL MANANTIAL DE LA MINTZITA Y LA PTAR ITZÍCUIAROS PARA INTERCAMBIARSE POR UN VOLUMEN EQUIVALENTE DE AGUA SUBTERRÁNEA, ACTUALMENTE CONCESIONADA AL OOAPAS MORELIA, EN BENEFICIO DEL ACUÍFERO MORELIA-QUERÉNDARO.

Alcance y volúmenes asociados

En primer lugar, se plantea aprovechar toda la capacidad de la PTAR Itzícuaros en la provisión de agua para la Grupo Papelero SCRIBE SA de CV de tal forma que se le entreguen 126 lps adicionales a los 84 lps que actualmente recibe de la PTAR Itzícuaros; es decir, un volumen total de 6.62 hm³ anuales. El aprovechamiento de la capacidad total de la PTAR Itzícuaros liberaría, entonces, un volumen de 3.97 hm³ anuales (126 lps) que hasta el día de hoy se extraen del manantial La Mintzita para satisfacer las necesidades de la papelería. Esto sumado al volumen todavía disponible del manantial La Mintzita (4.67 hm³/año), representa un volumen total de 8.64 hm³/año a ser intercambiado por el agua subterránea que actualmente se encuentra concesionada y usada por el OAAPAS de Morelia.

Esta alternativa implicaría, adicionalmente, mejorar la capacidad de tratamiento de la PTAR Itzícuaros para llevar el tratamiento de los 3.97 hm³/año a nivel terciario (osmosis inversa) y reducir la conductividad del agua, correspondientemente con la necesidad de la papelería Scribe. La planta tiene una capacidad de 210 lps, pero solamente se captan y tratan 190 lps, de ese volumen tratado y de acuerdo con el contrato establecido Ayuntamiento de Morelia-OOAPAS-Scribe se entregan únicamente 84lps. (el resto se vierte al cauce del río grande). El volumen de 8.6 hm³/año que dejaría de extraerse del acuífero Morelia-Queréndaro (concesionado al OOAPAS Morelia), serviría para crear una reserva de agua para consumo humano conforme a la Ley de Aguas Nacionales. A corto plazo, el impacto sería un beneficio para reducir el déficit actual del acuífero y, hacia mediano y largo plazos, como una fuente potencial para la ciudad de Morelia, en caso de así requerirse para fines del abastecimiento de agua potable. La tabla a continuación resume los volúmenes concesionados antes y después de la implementación del intercambio intersectorial:

Tabla 6.3. Volúmenes asociados con el intercambio intersectorial del agua – alternativa I [en hm³/año]³¹

FUENTE ABASTECIMIENTO	SIN INTERCAMBIO		CON INTERCAMBIO		CONCESIONARIO
	CAP INST ₁	VCON ₁	CAP INST ₂	VCON ₂	
Manantial La Mintzita	34.69	25.02	34.69	33.66 ↑	OOAPAS Morelia
		4.98		1.01 ↓	OOAPAS Morelia - Scribe
Acuífero Morelia-Queréndaro	-39.90	30.00	-39.90	21.35 ↓	OOAPAS Morelia
		0	(-31.26)	8.64 ↑	Reserva de agua (recarga del acuífero)
PTAR Itzícuaros	6.62	2.65	6.62	6.62 ↑	OOAPAS Morelia - Scribe
		3.97		0 ↓	Descarga al río Grande

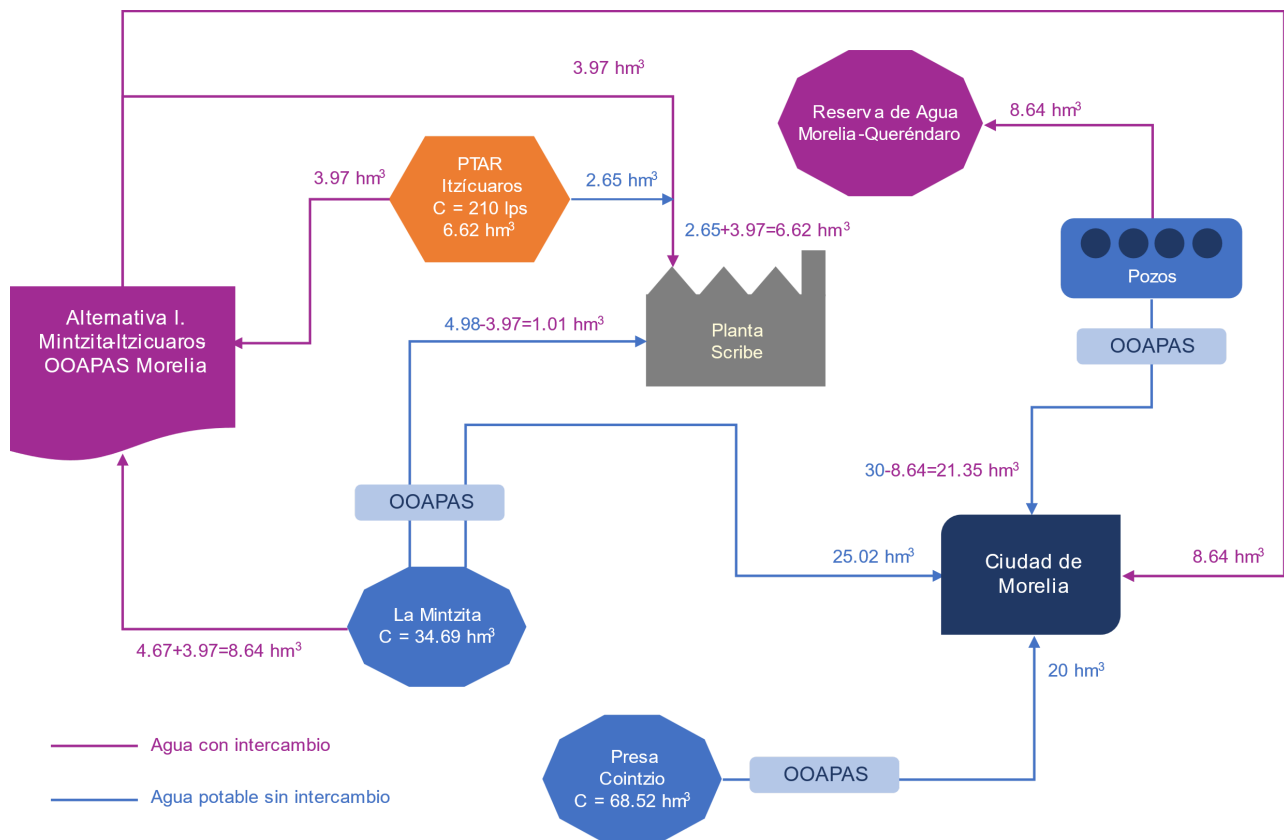
³¹ Donde:

VCON = Volumen concesionado o entregado.

CAP INST = Capacidad instalada

Fuente: Elaboración propia con base en información de la CONAGUA y el OOAPAS [1][6].

Figura 6.2. Intercambio intersectorial del agua – alternativa I: Mintzita-Itzicuaros-OOAPAS



Fuente: Elaboración propia con base en información de la CONAGUA y el OOAPAS [1][6].

Costos y beneficios estimados

Los costos de inversión estimados para la implementación de esta alternativa se estiman en un total de \$95 mdp, en tanto que los asociados con operación y mantenimiento se consideran en \$11 mdp. Este monto es similar a las economías que se obtendrían por ahorro de energía eléctrica, dado que el número de pozos a operar (o el número de horas por pozo) se reduciría en función del menor volumen a extraer.

Costos de inversión:

Ampliación de la PTAR Itzícuaros: unidad de proceso de filtración (ósmosis inversa) para un gasto de 126 lps.	\$90.0 mpd
Realización de estudios técnicos y legales.	\$5.0 mdp
Subtotal de inversión	\$95.0 mdp

Costos de operación:

Costos operativos vinculados con el tratamiento de un gasto adicional de 126 lps.	\$11.0 mdp/año
Subtotal de inversión	\$11.0 mdp/año

Beneficios:

Beneficio medio-ambiental (reserva de agua).	8.64 hm ³ /año
Población beneficiada (por el uso de la reserva de agua) [286 l/h/d].	83 mil habitantes ³²
Ahorros de energía eléctrica por menor volumen de aguas subterráneas a extraer.	\$11.0 mdp/año

Arreglos para su implementación

En relación con los aspectos legales involucrados y/o necesarios para fines de la implementación de esta alternativa, se requiere:

- Modificación del título de concesión del OOAPAS Morelia a fin de reflejar los volúmenes adicionales del manantial La Mintzita (3.9 hm³/año) y la PTAR Itzícuaros (3.9 hm³/año), así como la disminución en las extracciones al acuífero Morelia-Queréndaro (8.64 hm³/año).
- Modificación del contrato de suministro de agua entre el Municipio de Morelia, el OOAPAS Morelia y Bio Papel Scribe, S.A. de C.V., y en particular su Anexo referente a Calidades, Volúmenes y Puntos de Entrega.
- Decreto mediante el cual se crea una reserva de agua en Morelia, a partir del volumen ahorrado (8.6 hm³/año) por el aprovechamiento de los volúmenes disponibles en La Mintzita y la PTAR Itzícuaros. Esto representa la realización del estudio técnico justificativo y la posterior emisión del decreto de reserva cuyos tiempos de elaboración hasta la publicación son de al menos dos años, dados los tiempos administrativos establecidos en la legislación mexicana. En dicho decreto se puede establecer la fecha de uso posterior de la reserva de agua para consumo humano.

Alternativa II: ATAPANEO-DR020-ACUÍFERO MORELIA-QUERÉNDARO

CONSIDERA LA AMPLIACIÓN DE LA CAPACIDAD INSTALADA DE LA **PTAR ATAPANEO** PARA GENERAR UN VOLUMEN ADICIONAL DE AGUA RESIDUAL TRATADA QUE PERMITA MODIFICAR LA CONCESIÓN DEL **DR 020**, INCREMENTANDO EL VOLUMEN DE AGUAS RESIDUALES TRATADAS Y DISMINUYENDO EL VOLUMEN DE AGUAS SUBTERRÁNEAS (DEL ACUÍFERO MORELIA-QUERÉNDARO).

Alcance y volúmenes asociados

Si se considera que el caudal actual que alimenta el DR020 a través del cauce del río Grande es una mezcla entre los volúmenes que provienen de la presa Cointzio, el agua tratada por la PTAR Atapaneo y las aguas negras que no han sido tratadas, la calidad del agua resultante limita su aprovechamiento para el riego de cultivos de mayor rentabilidad como lo son las hortalizas o frutillas. A la fecha se cultivan principalmente forrajes.

La ampliación de la PTAR Atapaneo antes planteada, permitiría, por un lado, subsanar la falta de capacidad actual de la PTAR (evitando adicionalmente sanciones por descargas sin tratamiento que incumplen la normatividad), y por otro, representaría un volumen adicional factible de ser utilizado en un esquema de intercambio intersectorial con el DR 020 para su aprovechamiento en cultivos de alta rentabilidad. Esto implicaría no sólo el tratamiento terciario de un caudal de 600 lps, sino el tener que entregarlo forzosamente a orilla de parcela para evitar su descarga y mezcla con agua de menor calidad en el cauce del río Grande.

Adicionalmente, los 100 lps complementarios que contarían con un tratamiento secundario serían descargados directamente al río Grande, sumándose a los 1,100 lps que actualmente ya se descargan, y poder dar cumplimiento a la concesión actual de aguas nacionales hacia los usuarios del DR 020 (40 hm³/año en su componente de aguas residuales tratadas).

El planteamiento es, entonces, utilizar el volumen excedente (6 hm³/año) que resulta después de cubrir la concesión actual del DR 020, a cambio de la liberación de un volumen equivalente de aguas subterráneas. Este intercambio de agua residual tratada por agua subterránea tendría un beneficio medioambiental a corto plazo no sólo en el tratamiento y aprovechamiento

³² Población potencialmente beneficiada, solamente en el caso de que se aproveche la reserva para el consumo humano.

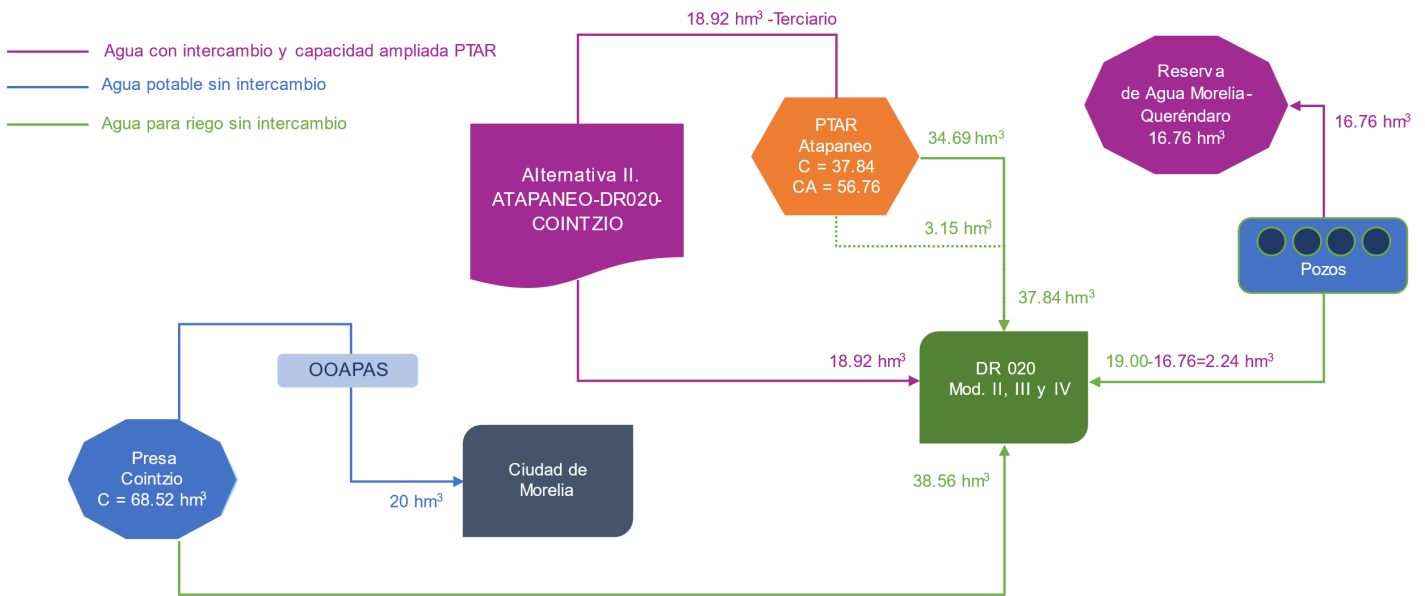
de la totalidad de las aguas residuales en la PTAR Atapaneo, sino también reduciendo la sobreexplotación del acuífero Morelia-Queréndaro. La tabla a continuación resume los volúmenes concesionados antes y después de la implementación del intercambio intersectorial:

Tabla 6.4. Volúmenes asociados con el intercambio intersectorial del agua – alternativa I [en hm³/año]³³

FUENTE ABASTECIMIENTO	SIN INTERCAMBIO		CON INTERCAMBIO		CONCESIONARIO
	CAP INST ₁	VCON ₁	CAP INST ₂	VCON ₂	
Acuífero Morelia-Queréndaro	-39.90	~19.00	-39.90	2.24 ↓	DR 020
		0	(-23.14)	16.76 ↑	Reserva de agua (recarga del acuífero)
PTAR Atapaneo	37.84	34.69	56.76	37.84 ↑	DR 020 (tratamiento secundario)
				18.92 ↑	DR 020 (tratamiento terciario)

Fuente: Elaboración propia con base en información CONAGUA, OOAPAS y DR 020 [1][6][3].

Figura 6.3. Intercambio intersectorial del agua – alternativa II: Atapaneo-DR020-Morelia-Queréndaro³⁴



Fuente: Elaboración propia con base en información de la CONAGUA, el OOAPAS y el DR 020 [1][6][3].

Costos y beneficios estimados

Los costos de inversión estimados para la implementación de esta alternativa se estiman en un monto total de \$1,190.5 mdp, de los cuales el 80% se refiere a los trabajos de ampliación de la capacidad de la PTAR Atapaneo (incluyendo la terminación de

³³ Donde:
VCON = Volumen concesionado o entregado / VINT = Volumen potencial para intercambio y/o reúso de agua.
³⁴ Donde:
C = Capacidad instalada actual
CA = Capacidad instalada ampliada

colectores y su conexión a la red), y el 20% restante para la construcción de líneas de conducción y la entrega de agua a orillas de la parcela.

Costos de inversión:

Ampliación PTAR Atapaneo.	\$954.00 mdp
Construcción de tanques de almacenamiento, líneas de conducción y entrega de agua a orilla de parcela ³⁵ .	\$236.5 mdp
Subtotal de inversión	\$1,190.5 mdp

Costos de operación:

Costos operativos asociados con el tratamiento (secundario) de un 100 lps.	\$8.8 mdp/año
Costos operativos de dos módulos terciarios de 300 lps c/u.	\$65.0 mdp/año
Subtotal de inversión	\$73.8 mdp/año

Beneficios:

Beneficio medio-ambiental (reserva de agua).	16.76 hm ³ /año
Superficie beneficiada con agua de mayor calidad para uso en riego tecnificado (cultivos alta rentabilidad).	3,153 ha ³⁶
Cantidad de usuarios beneficiados en los módulos II, III y IV del DR 020.	900 usuarios ³⁷

Arreglos para su implementación

En relación con los aspectos legales involucrados y/o necesarios para fines de la implementación de esta alternativa, se requiere:

- Modificación del título de concesión del DR020 a fin de ajustar los volúmenes otorgados de agua subterránea a 2.24 hm³/año y de la PTAR Atapaneo a 56.76 hm³/año, de los cuales el 33% corresponde a un volumen con tratamiento terciario que puede aprovecharse con riego tecnificado para la producción de cultivos de alta rentabilidad.
- Actualización del permiso de descarga de aguas residuales (OOAPAS), resultado del ajuste de la descarga de ART.
- Decreto mediante el cual se crea una reserva de agua en Morelia, a partir del volumen de aguas subterráneas ahorrado (16.76 hm³/año) por el intercambio con la PTAR Atapaneo. Esto representa la realización del estudio técnico justificativo y posterior emisión del decreto de reserva cuyos tiempos de elaboración hasta la publicación son de al menos dos años, según los tiempos administrativos establecidos en la legislación mexicana. En dicho decreto se puede establecer la fecha de uso posterior de la reserva de agua para consumo humano.

³⁵ Recientemente el Gobierno del estado de Michoacán licitó el entubamiento de las aguas residuales tratadas de la PTAR Atapaneo, en una línea de conducción de 17.3 km con un costo estimado de 163 mdp. [Bases de licitación CEAC/FAFEF/OBRA/LP-001/2023. Línea de conducción de aguas tratadas en la PTAR de Morelia a la zona de riego de los módulos II, III y IV, Distrito de riego 020 Morelia-Queréndaro. En varias localidades y municipios, en el estado de Michoacán.] / <https://www.youtube.com/watch?v=vVledH7rioc>.

³⁶ Considerando un aprovechamiento de 6,000 m³/ha.

³⁷ Considerando una parcela promedio de 3.5 ha.

Alternativa II-A: ATAPANEO-DR020-COINTZIO

CONSIDERA LA AMPLIACIÓN DE LA CAPACIDAD INSTALADA DE LA PTAR ATAPANEO PARA GENERAR UN VOLUMEN ADICIONAL DE ART QUE PERMITA MODIFICAR LA CONCESIÓN DEL DR 020, INCREMENTANDO EL VOLUMEN DE AGUAS RESIDUALES TRATADAS Y DISMINUYENDO EL VOLUMEN DE AGUAS SUPERFICIALES (DE LA PRESA COINTZIO), EN BENEFICIO DE LA CIUDAD DE MORELIA Y DEL ACUÍFERO MORELIA-QUERÉNDARO.

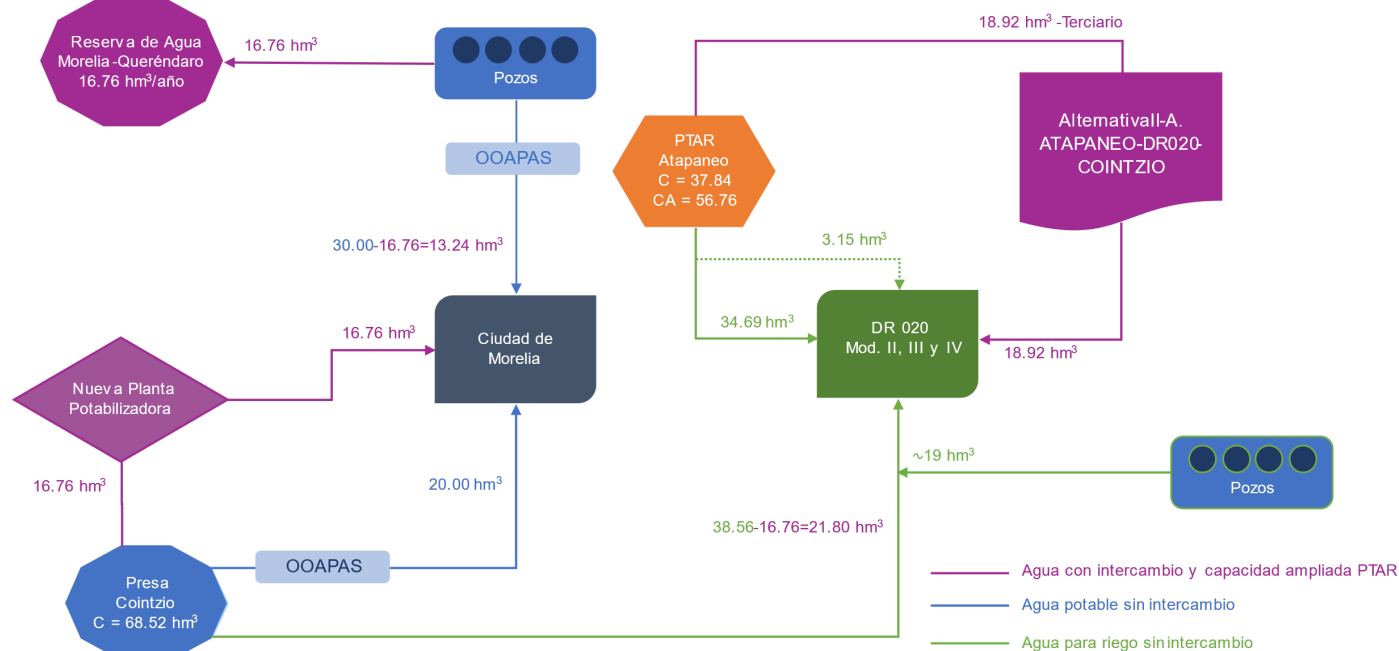
Alcance y volúmenes asociados

Esta alternativa también considera la ampliación de la PTAR Atapaneo a fin de aprovechar su volumen excedente en un esquema de intercambio intersectorial con el DR 020; esto es, incrementar el uso de ART a cambio de la liberación de aguas superficiales de la presa Cointzio. Este intercambio de agua residual tratada por agua superficial entre el uso agrícola y el uso público urbano tendría un beneficio medioambiental a corto plazo, no sólo en el tratamiento y aprovechamiento de la totalidad de las aguas residuales tratadas en la PTAR Atapaneo, sino también reduciendo la presión sobre los recursos hídricos de la presa Cointzio.

El volumen liberado en la presa Cointzio ($16.76 \text{ hm}^3/\text{año}$) podría ser aprovechado para el consumo humano a cambio de la liberación de un volumen equivalente de recursos de aguas subterráneas. Esto implicaría la construcción de una planta potabilizadora con capacidad de 530 lps en la zona poniente de la ciudad, en conjunto con una línea de conducción de la presa Cointzio a la planta (unos 8 km de longitud y un diámetro del orden de 15"), para el abastecimiento complementario de la ciudad de Morelia (ver **Figura 6.4**).

La **Tabla 6.5** a continuación resume los volúmenes concesionados antes y después de la implementación del intercambio intersectorial:

Figura 6.4. Intercambio intersectorial del agua – alternativa II-A: Atapaneo-DR020-Cointzio³⁸



³⁸ Donde:

C = Capacidad instalada actual

CA = Capacidad instalada ampliada

Fuente: Elaboración propia con base en información de la Conagua, el OOAPAS y el DR 020 [1][10][3].

Tabla 6.5. Volúmenes asociados con el intercambio intersectorial del agua – alternativa I [en $\text{hm}^3/\text{año}$]³⁹

FUENTE ABASTECIMIENTO	SIN INTERCAMBIO		CON INTERCAMBIO		CONCESIONARIO
	CAP INST ₁	VCON ₁	CAP INST ₂	VCON ₂	
Presa Cointzio	68.52	20.00	68.52	36.76 ↑	OOAPAS Morelia
		38.56		21.80 ↓	DR 020
Acuífero Morelia-Queréndaro	-39.90	30.00	-39.90	13.24 ↓	OOAPAS Morelia
		~19.00		~19.00 ↓	DR 020
		0.00		16.76 ↑	Reserva de agua
PTAR Atapaneo	37.84	34.69	56.76	37.84 ↑	DR 020 (tratamiento secundario)
				18.92 ↑	DR 020 (tratamiento terciario)

Fuente: Elaboración propia con base en información de la CONAGUA, el OOAPAS y el DR 020 [1][6][3].

Costos y beneficios estimados

Los costos de inversión estimados para la implementación de esta alternativa se estiman en un monto total de \$1,486.50 mdp, de los cuales el 64% se destinaría a los trabajos de ampliación de la capacidad de la PTAR Atapaneo, y el 36% restante para la implementación de los intercambios con el DR020 en la producción de cultivos de alto rendimiento (16%) y en el abastecimiento de la ciudad de Morelia a través de una nueva potabilizadora (20%).

Costos de inversión:

Ampliación PTAR Atapaneo.	\$954.0 mdp
Construcción de tanques de almacenamiento, líneas de conducción y entrega de agua a orilla de parcela ⁴⁰ .	\$236.5 mdp
Construcción de nueva planta potabilizadora de 530 lps.	\$220.0 mdp
Construcción de línea de conducción de la presa Cointzio a la nueva potabilizadora (8 km, 15" diámetro).	\$80.0 mdp
Subtotal de inversión	\$1,490.5 mdp

Costos de operación:

Costos operativos asociados con el tratamiento (secundario) de un 100 lps.	\$8.8 mdp/año
Costos operativos de dos módulos terciarios de 300 lps c/u.	\$65.0 mdp/año
Costos operativos de la planta potabilizadora 530 lps.	\$17.0 mdp/año
Subtotal de inversión	\$90.8 mdp/año

Beneficios:

Beneficio medio-ambiental (reserva de agua).	16.76 $\text{hm}^3/\text{año}$
Superficie beneficiada con agua de mayor calidad para uso en riego tecnificado (cultivos alta rentabilidad).	3,153 ha ⁴¹

³⁹ Donde:

VCON = Volumen concesionado o entregado.

VINT = Volumen potencial para intercambio y/o reúso de agua.

⁴⁰ Recientemente el Gobierno del estado de Michoacán licitó el entubamiento de las aguas residuales tratadas de la PTAR Atapaneo en una línea de conducción de 17.3 km con un costo estimado de 163 mdp. [Bases de licitación CEAC/FAFEF/OBRA/LP-001/2023. Línea de conducción de aguas tratadas en la PTAR de Morelia a la zona de riego de los módulos II, III y IV, Distrito de riego 020 Morelia-Queréndaro. En varias localidades y municipios, en el estado de Michoacán.] / <https://www.youtube.com/watch?v=vVledH7rioc>.

⁴¹ Considerando un aprovechamiento de 6,000 m^3/ha .

Cantidad de usuarios beneficiados en los módulos II, III y IV del DR 020.
Población beneficiada (nueva potabilizadora) [286 l/h/d].

900 usuarios⁴²
160 mil habitantes

Arreglos para su implementación

En relación con los aspectos legales involucrados y/o necesarios para fines de la implementación de esta alternativa, se requiere:

- Modificación del título de concesión del DR020 a fin de ajustar los volúmenes otorgados de la presa Cointzio a 21.80 hm³/año y de la PTAR Atapaneo a 56.76 hm³/año, de los cuales el 33% corresponde a un volumen con tratamiento terciario que puede aprovecharse con riego tecnificado para la producción de cultivos de alta rentabilidad.
- Actualización del permiso de descarga de aguas residuales por el OOAPAS, producto del ajuste de volumen de la descarga tratada.
- Decreto mediante el cual se crea una reserva de agua en Morelia, a partir del volumen de aguas subterráneas ahorrado (16.76 hm³/año) por el intercambio con la PTAR Atapaneo y el volumen a generar con la nueva potabilizadora. Esto representa la realización del estudio técnico justificativo y la posterior emisión del decreto de reserva, cuyos tiempos de elaboración hasta la publicación son de al menos dos años, dados los tiempos administrativos establecidos en la legislación mexicana. En dicho decreto se puede establecer la fecha de uso posterior de la reserva de agua para consumo humano.
- El aprovechamiento del volumen con tratamiento terciario implica acciones de mejora y tecnificación del riego en los módulos II, III y IV del DR 020. Esto permitirá no sólo utilizar el agua en cultivos de mayor rentabilidad, sino que mejorará la eficiencia del riego y elevará la productividad del agua. De acuerdo con la información recibida por parte de la Jefatura del DR 020 [3], la productividad varía de 1.54 kg/m³ en el módulo II (con 4.29 hm³ anuales concesionados), hasta 3.74 kg/m³ en el módulo III (con 47.65 hm³ anuales concesionados).

Resumen de costos y beneficios de las alternativas de intercambio

Tomando en consideración las tres alternativas antes descritas, la tabla a continuación resume los costos y beneficios para cada caso:

Tabla 6.6. Costos y beneficios estimados del intercambio intersectorial del agua en la ZdE

#	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	ALTERNATIVA I Mintzita-Itzicuaros-OOAPAS	ALTERNATIVA II Atapaneo-DR020-Acuífero	ALTERNATIVA II-A Atapaneo-DR020-Cointzio
1	Costos de inversión	mdp	\$95.00	\$1,186.50	\$1,486.50
2	Costos de operación	mdp/año	\$11.00	\$73.80	\$90.80
3	Beneficios:				
	Beneficio medio ambiental (reserva de agua)	hm ³ /año	8.64	16.76	16.76
	Población beneficiada (agua potable)	habitantes	83 mil ⁴³	160 mil	160 mil
	Ahorros operacionales	mdp/año	\$11.00	-	-
	Superficie de riego beneficiada	hectáreas		3,153	3,153
	Usuarios de riego beneficiados	número		900	900

Fuente: Elaboración propia.

⁴² Considerando una parcela promedio de 3.5 ha.

⁴³ Población potencialmente beneficiada solamente en caso de que la reserva de agua sea utilizada para fines de consumo humano.

► 6.3 Alternativas para el reúso del agua

Alternativa I: Reúso Directo de agua tratada en uso comercial o industrial

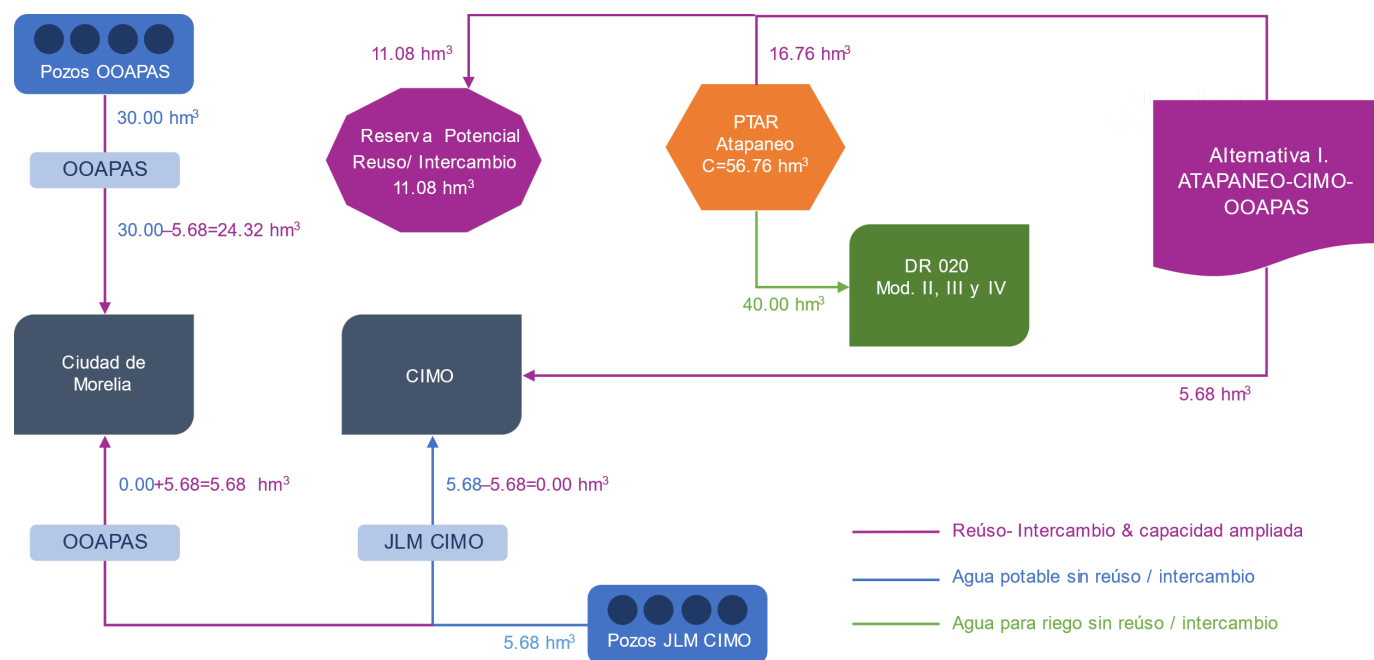
Alcance y volúmenes asociados

Un par de km aguas arriba de la PTAR de Atapaneo, en la margen derecha del río Grande, está la zona industrial, sin viviendas, actualmente servida a partir de tres pozos profundos, operados por la Junta Local Municipal de la Ciudad Industrial Morelia (CIMO).

Pudiera considerarse el suplir el actual servicio de “agua potable” para estos usuarios NO habitacionales, con agua tratada de nivel terciario desde la PTAR de Atapaneo a través de una línea de conducción “morada” con un posible gasto del orden 180 lps ($5.68 \text{ hm}^3/\text{año}$) y que la ciudad (OOAPAS de Morelia), recupere para el uso público urbano los volúmenes actualmente asignados a los pozos de la CIMO. Adicionalmente, sería posible el riego del Parque Ecológico.

A partir de un módulo de ultrafiltración de la Ampliación de la PTAR Atapaneo, puede construirse un cárcamo de bombeo con gastos variables desde 60 a 180 lps y a través de una línea de conducción “morada” llevarse a la CIMO e interconectarse con la actual red de servicio de Agua.

Figura 6.5. Reúso del agua – alternativa I: Atapaneo-CIMO-OOAPAS Morelia



Fuente: Elaboración propia con base en información del OOAPAS.

Costos y beneficios estimados

Los costos de inversión estimados para la implementación de esta alternativa se estiman en un monto total de \$1,053.0 mdp, de los cuales el 90% se destinaría a los trabajos de ampliación de la capacidad de la PTAR Atapaneo, y el 10% restante para la implementación de los intercambios con la CIMO y el OOAPAS-Morelia.

Costos de inversión:

Ampliación PTAR Atapaneo.	\$954.0 mdp
Cárcamo de bombeo, subestación y equipamiento.	\$45.0 mdp
línea de conducción morada, de hasta 15" de diámetro, con una longitud de 5.4 km.	\$54.0 mdp
Subtotal de inversión	\$1,053.0 mdp

Costos de operación:

Costos operativos de un módulo terciario de hasta 180 lps.	\$19.5 mdp/año
Costos operativos de regulación, línea de bombeo y distribución de hasta 180 lps.	\$6.0 mdp/año
Subtotal de inversión	\$25.5 mdp/año

Beneficios:

Beneficio medio-ambiental (reserva de agua).	5.68 hm ³ /año
Usuarios no habitaciones beneficiados con ART (180 lps).	100% usuarios CIMO

Arreglos para su implementación

En relación con los aspectos legales involucrados y/o necesarios para fines de la implementación de esta alternativa, se requiere:

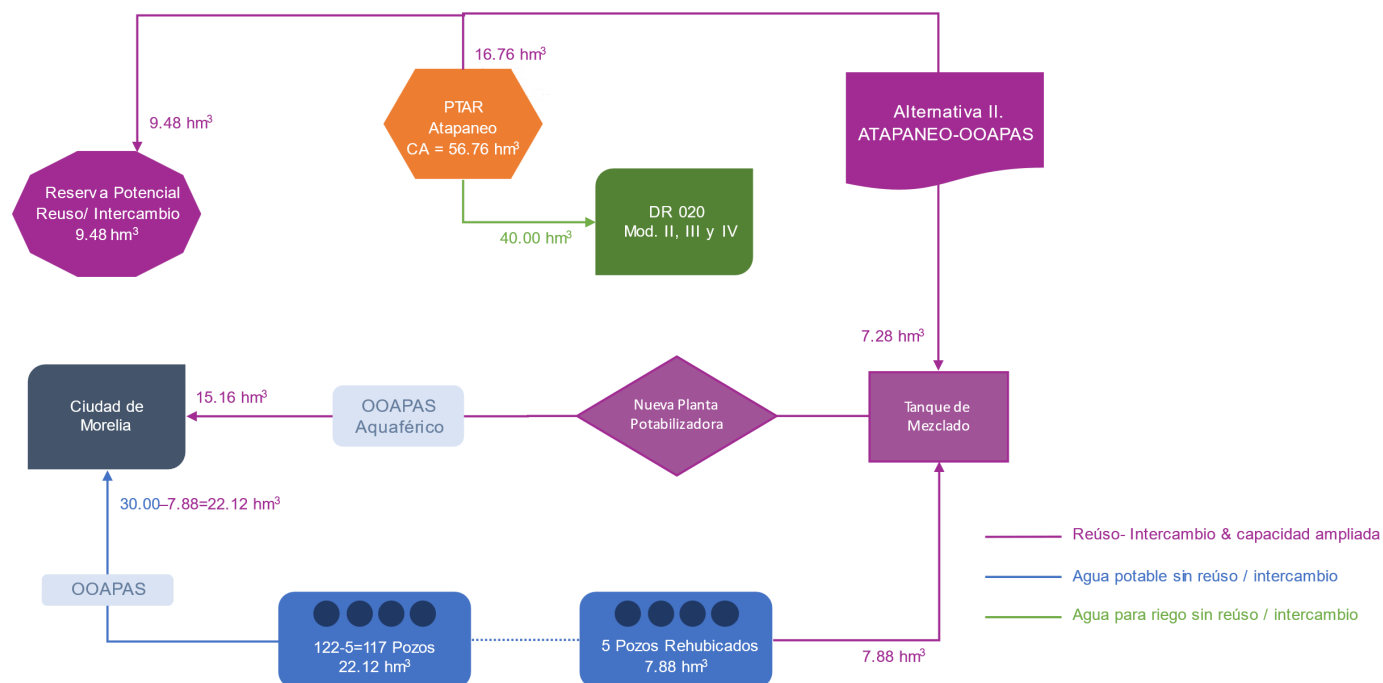
- Acuerdo administrativo – operativo entre la Junta Local Municipal de Agua de Ciudad Industrial Morelia (JLM CIMO) y el OOAPAS de Morelia, para que la primera ceda los derechos de aprovechamiento de los pozos que tiene titulados y el segundo le entregue agua en bloque a través de una línea "morada" de Agua Residual Tratada;
- Decreto mediante el cual se crea una reserva de agua en Morelia, a partir del volumen de aguas subterráneas ahorrado (5.68 hm³/año) por el intercambio con la PTAR Atapaneo. Esto representa la realización del estudio técnico justificativo y la posterior emisión del decreto de reserva cuyos tiempos de elaboración hasta la publicación son de al menos dos años, dados los tiempos administrativos establecidos en la legislación mexicana. En dicho decreto se puede establecer la fecha de uso posterior de la reserva de agua para consumo humano.

Alternativa II: Reúso Indirecto de Agua Residual Tratada

Alcance y volúmenes asociados

En este escenario, se podría disponer para reúso indirecto un caudal de ART de nivel Terciario del orden de 231 lps, equivalentes a 7.28 hm³ anuales, para sumarse gradualmente con volúmenes de extracción de los pozos profundos del llamado "Acuífero Atapaneo" localizado aguas abajo de la derivadora Atapaneo del DR 020 Morelia-Queréndaro. El anteproyecto de pozos profundos del Acuífero Atapaneo, prevé la perforación de hasta 10 pozos con capacidades potenciales de 50 lps c/u para un gasto anual de 500 lps equivalentes a 15.77 hm³ de agua potable de extracción profunda, de los cuales se tomaría el agua producida de hasta cinco de esos pozos profundos, para mezclarse con agua tratada "ultrafiltrada" (ver **Figura 6.6**).

Figura 6.6. Reúso del agua – alternativa II: Atapaneo-OOAPAS Morelia



Fuente: Elaboración propia con base en información del OOAPAS.

Este proceso de reúso implica la descarga del agua residual tratada en un reservorio a cielo abierto, para lo cual se construiría una "laguna de aireación", de profundidad mayor o igual a 4.00 m y con una superficie entre 15,800 m² y 23,700 m², de tal forma que tuviese una capacidad del orden de entre 60,000 y 100,000 m³. Este cuerpo de agua, además, podría ser aprovechado para el desarrollo de un parque urbano cerca de la PTAR de Atapaneo, en ese reservorio, se mezclarían las aguas tratadas ultrafiltradas, con agua de primer uso y de ahí enviarse a una planta potabilizadora con filtración y desinfección. Dada la superficie de los terrenos en los que se encuentra asentada la PTAR Atapaneo, la infraestructura antes descrita es factible de construirse en esos mismos terrenos propiedad del OOAPAS (ver **Figura 6.7**).

El agua potabilizada se conduciría a través de una línea de conducción de poco más de 10.0 km de longitud, a lo largo del Borde derecho del Cauce del río Grande, hasta el Libramiento de la ciudad para su interconexión con el Aquaférico.

Figura 6.7. Ampliación de la PTAR Atapaneo con potabilizadora de agua mezclada



Fuente: Elaboración propia con base en información de Anteproyecto de Ampliación de la PTAR Atapaneo, OOAPAS de Morelia 2015 [5].

Costos y beneficios estimados

Los costos de inversión estimados para la implementación de esta alternativa se estiman en un monto total de \$1,598.0 mdp.

Costos de inversión:

Ampliación de la PTAR Atapaneo.	\$954.0 mdp
Unidad de proceso de ultrafiltración (Osmosis Inversa) para un gasto de 231 lps.	\$160.0 mdp
Perforación y equipamiento de cinco pozos profundos (de 500 a 700 m de profundidad) [15 mdp/pozo].	\$75.0 mdp
Línea de conducción entre pozos a estanque de regulación (6 km) [10 mdp/km].	\$60.0 mdp
Línea de conducción de agua tratada terciaria a estanque de almacenamiento (0.5 km) [10 mdp/km].	\$5.0 mdp
Construcción de estanque de bordería de arcilla, con recubrimiento de geomembrana (2 ha de superficie).	\$40.0 mdp
Construcción de Planta Potabilizadora para 500 lps, con ultrafiltración y desinfección.	\$200.0 mdp
Línea de Conducción de Agua Potable a interconexión con Acuaférico (10.4 km) [10.0 mdp/km].	\$104.0 mdp
Subtotal de inversión	\$1,598.0 mdp

Costos de operación:

Operación y mantenimiento de Módulo de Ultrafiltración de ART (231 lps).	\$41.5 mdp/año
Operación y mantenimiento de hasta cinco pozos profundos.	\$7.4 mdp/año
Operación y Mantenimiento de Planta Potabilizadora para gasto de hasta 460 lps.	\$82.8 mdp/año
Conducción de un gasto de hasta 460 lps por 10.0 km.	\$14.8 mdp/año
Subtotal de inversión	\$146.5 mdp/año

Beneficios:

Reducción de la presión al Medio Ambiente, ART Potabilizada.	7.28 hm3/año
Crecimiento de la oferta de Agua Potabilizada a la ciudad.	14.56 hm3/año
Población beneficiada (286 l/h/d).	139 mil habitantes

Arreglos para su implementación

En relación con los aspectos legales involucrados y/o necesarios para fines de la implementación de esta alternativa, se requiere:

- Cumplimiento por el OOAPAS de Morelia de las disposiciones de la NOM.

► 6.4 Programa Metropolitano de Recarga mediante soluciones basadas en la naturaleza

La infraestructura verde para infiltrar agua al acuífero

Las inversiones en soluciones basadas en la naturaleza son por lo general más eficientes y tienden a ser menos costosas que las que ofrece la infraestructura gris. Además, brinda beneficios adicionales, como mejora en la calidad del aire, aumento en la absorción de carbono, la reducción del riesgo de inundaciones, el control de la erosión, generación de espacios que fomentan la biodiversidad y el esparcimiento, entre otros. La infraestructura verde aprovecha los procesos naturales de los suelos y la vegetación para retardar el flujo del agua, permitiendo la infiltración de las aguas pluviales y contribuyendo a evitar inundaciones a lo largo de los cauces y en zonas urbanas, al rebasar la capacidad de los sistemas de alcantarillado.

Existen muchas recomendaciones acerca de la infiltración de acuíferos mediante soluciones basadas en la naturaleza ya que son de bajo costo para enfrentar la escasez hídrica y son consideradas como medidas adecuadas de adaptación al cambio climático. Existen varias técnicas de infiltración de acuíferos, algunas ancestrales utilizadas por pueblos originarios de Latinoamérica (Bolivia, Perú y Chile), como las 'zanjas o drenes de infiltración' –conocidas también como amunas (sistema prehispánico de infraestructura hídrica para retener el agua), excavaciones de entre tres y cinco metros de longitud que se realizan en laderas de cerros o lechos de ríos, donde 'el agua se apoza y permea, evitando que escurra hacia el mar.

Además, una solución basada en la naturaleza para zonas de laderas son las reforestaciones, las cuales tienen el mismo objetivo, retener para infiltrar. De manera complementaria, otras soluciones son la construcción de barreras de piedra o geo-costales rellenos de material de la zona en los cauces y curvas de nivel en zonas degradadas, acomodo de material vegetal, la revegetación con especies locales, el cercado de áreas reforestadas y revegetadas para reducir impacto de pastoreo, el mantenimiento y rehabilitación de vegetación riparia a los cauces y la remoción de especies invasoras. Técnicamente estas acciones se enmarcan en la Gestión Recarga de Acuíferos (MAR por sus siglas en inglés), la cual consiste en la introducción artificial de agua de recarga adicional en el sistema de aguas subterráneas a través de mecanismos de infiltración.

Este recurso puede aliviar problemas de la sobreexplotación y los problemas causados por los bajos niveles de extracción de agua subterránea. Otros beneficios incluyen el almacenamiento de agua para uso futuro (en México legalmente establecido en la Ley de Aguas Nacionales como reserva de agua para consumo humano o conservación del medio ambiente). La gestión de la recarga de acuíferos también mejora la calidad del agua a través de procesos naturales (filtración, adsorción y biodegradación) y es tratamiento natural del acuífero.

La gestión de recarga de acuíferos es una medida de adaptación para reducir la vulnerabilidad al cambio climático y la variabilidad hidrológica, sin embargo, no aplica a todas las zonas y acuíferos.

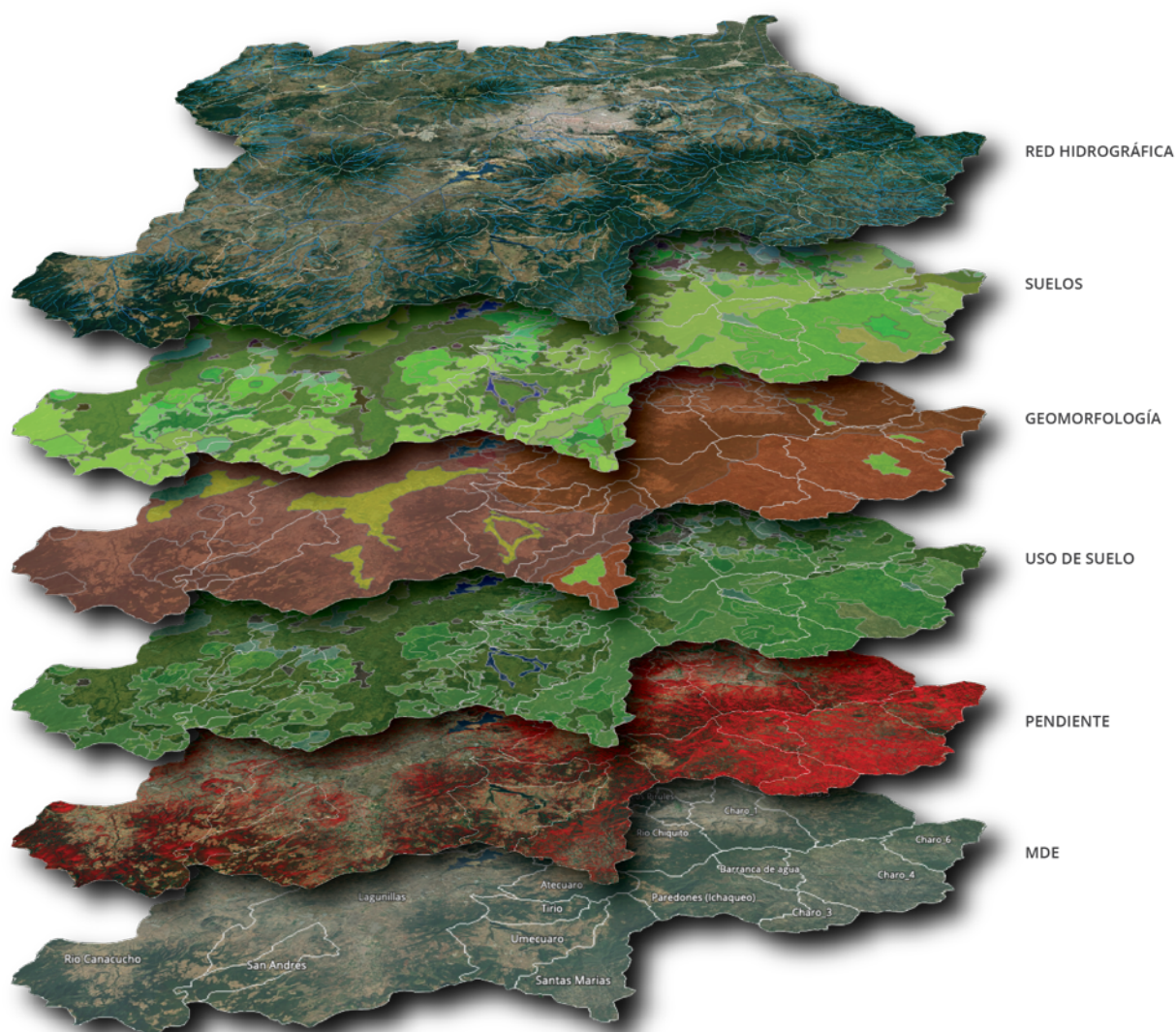
Desde el punto de vista económico, y particularmente relacionado con el acuífero de la zona de estudio, la implementación de esta alternativa representa una inversión baja respecto de los beneficios potenciales que tiene (algunos tangibles y otros difíciles de medir) y en términos de agua se observan en el largo plazo.

Potencial y viabilidad de la recarga de acuíferos en la zona de estudio

La forma de aumentar la oferta es infiltrar agua pluvial en las zonas de recarga, evitando con ello la pérdida por evaporación y escurrimiento sin aprovechamiento. Es decir, que se encuentra en el balance de agua superficial como pérdidas o agua de retorno que no se usa. La identificación de zonas de recarga en el área de estudio se realizó por medio de un análisis

geoespacial multicriterio en el que se ponderan y superponen seis capas de información: pendiente, uso de suelo, drenado, geomorfología, suelos y red hidrográfica (ver **Figura 6.9**).

Figura 6.9. Capas utilizadas en el análisis



Fuente: Elaboración propia con base en información INEGI

Las capas de información se obtuvieron a partir de los catálogos del INEGI⁴⁴ y sus atributos se reclasificaron del uno al tres con el fin de homogenizarlas; siendo el uno, los de menor potencial de recarga, dos los de potencial medio y tres los de mayor potencial. Asimismo, se asignó una ponderación a cada una de las capas (**Tabla 6.7**).

⁴⁴ Las capas de uso del suelo, geomorfología, suelos y red hidrológica son vectoriales por lo que se tuvieron que convertir a ráster. Las capas de pendiente y drenado se obtuvieron a partir del modelo de elevación digital del INEGI, por lo que desde un inicio eran ráster.

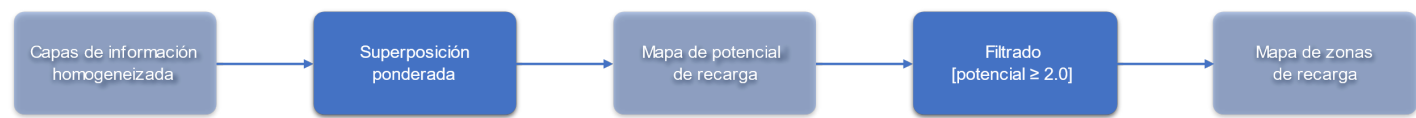
Tabla 6.7. Criterios utilizados para el análisis de identificación de zonas de recarga

TEMA	ATRIBUTO	RANGO	PONDERACIÓN
Pendiente (%)	> 15	1	15%
	5 - 15	2	
	0 - 5	3	
Uso de suelo	Zonas urbanas, sin vegetación	1	20%
	Zonas agrícolas, vegetación secundaria	2	
	Agua, bosques, selvas	3	
Geomorfología	Sierra escarpada	1	15%
	Lomeríos, mesetas, cañones, valles, sierra baja	2	
	Bajadas, llanuras, cuerpos de agua	3	
Suelos	Luvisol, planosol, solonchack, solonetz	1	20%
	Cambisol, castañosem, renzina, xerosol lúvico	2	
	Yermosol, xerosol háplico y cálcico, fluvisol, regosol	3	
Red hidrográfica	Arroyos (orden -1 a 0)	1	15%
	Ríos secundarios (orden 3 a 5)	2	
	Ríos principales (orden 6 a 8)	3	

Fuente: Elaboración propia

Se utilizó la herramienta de superposición ponderada para generar un nuevo ráster que indica el potencial de recarga en el área de estudio. Se determinó que las zonas de recarga en las que el proyecto se enfocaría serían aquellas con un potencial mayor o igual a 2.0. La figura a continuación muestra el diagrama del proceso completo seguido:

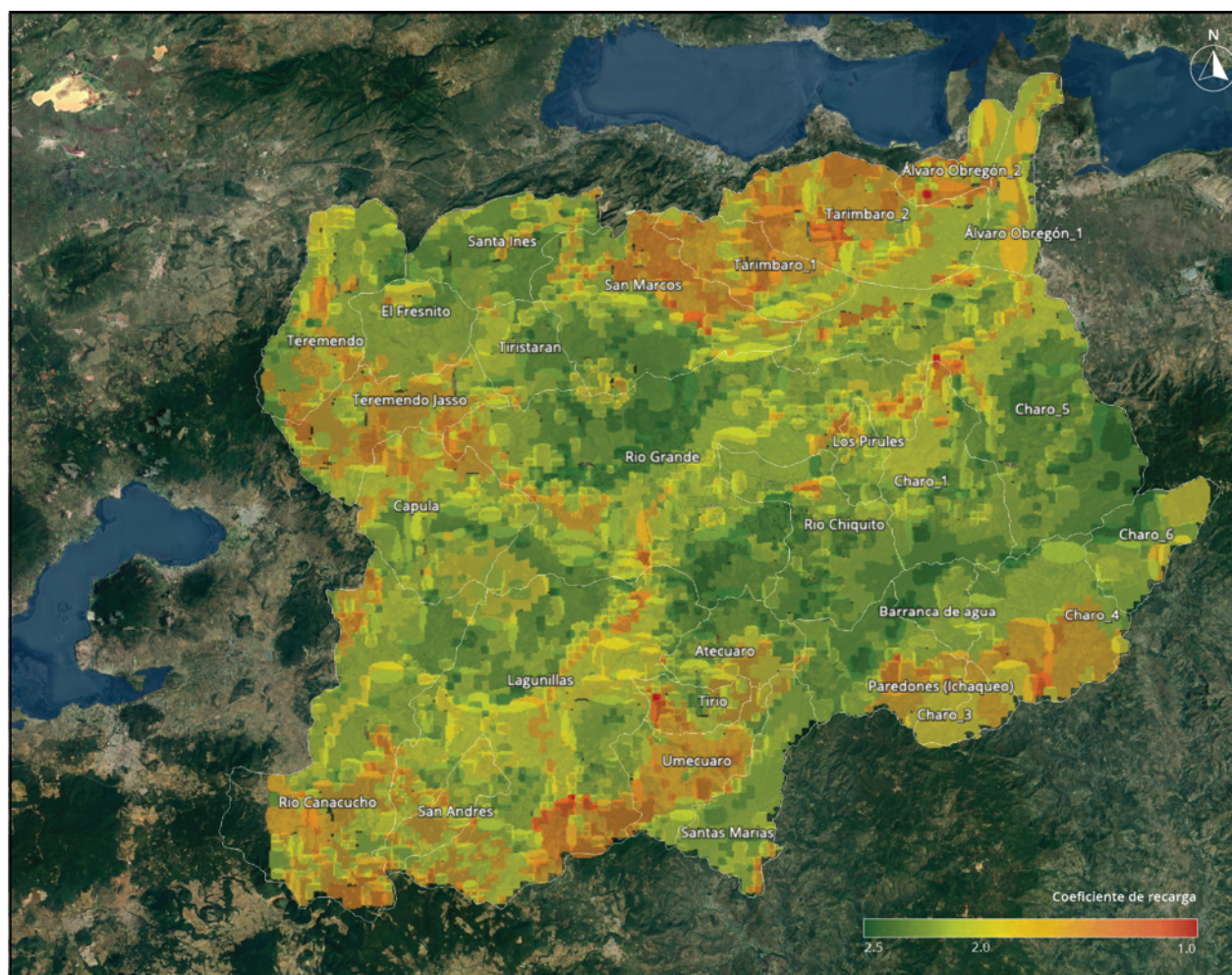
Figura 6.10. Diagrama del proceso para la identificación de zonas de recarga



Fuente: Elaboración propia

Las zonas de recarga identificadas con potencial de recarga (con valores iguales o mayores de 2.0 se muestran en la **Figura 6.11** en colores verde (más intensidad del color mayor el potencial).

Figura 6.11. Zonas de recarga en la zona de estudio



Fuente: Elaboración propia.

Alcance y volúmenes asociados

La propuesta consiste en realizar un programa de recarga de largo plazo para infiltrar 40 hm³ anuales, considerando el uso de infraestructura verde iniciando por las microcuencas con valores mayores a dos millones de metros cúbicos de infiltración. Es claro que esta alternativa tendrá efectos en el corto plazo en términos de reducción de escurrimientos y de largo plazo en los niveles de explotación de los pozos aguas abajo dependiendo de la velocidad del agua en el suelo.

Aspectos técnicos

La alternativa representa la construcción de sistemas de infiltración de agua de lluvia mediante distintos tipos de obras de retención e infiltración (pozos de absorción, zanjas de infiltración, surcos de infiltración, presas filtrantes, embalses de infiltración, etc.). Esta alternativa se complementa con acciones de reforestación y revegetación de cauces con plantas nativas de la zona de estudio. La definición específica del tipo de infraestructura verde (retenciones para infiltrar, reforestar y revegetar), requiere de trabajo de campo en cada microcuenca (más allá del alcance de este estudio). La **Figura 6.11** muestra algunos ejemplos de este tipo de infraestructura.

Figura 6.12. Presas de geo-costales en la cuenca alta del río Magdalena (a, b, c) y presas filtrantes de gaviones rellenas de geo-costales (d)



Fuente: Archivo propio.

Por tal motivo se ha supuesto una obra tipo de infiltración de 90 m² de área inundable por 1.5 m de altura al vertedor (gavión, geo-costal y piedra acomodada) y un número determinado de éstas para cada microcuenca conforme a los criterios de la **Tabla 6.8**.

Tabla 6.8. Criterio para determinar el número y tipo de intervenciones conforme a la pendiente del terreno

PENDIENTE (%)	NÚMERO DE INTERVENCIONES		
	PRESA DE PIEDRA ACOMODADA	PRESA DE PIEDRA DE GAVIÓN	PRESA DE GEO-COSTAL
0 a 3	3	2	0
3 a 5	2	2	0
5 a 7	1	2 a 3	2 a 3
7 a 10	0	2 a 1	3 a 4
10 a 15	0	1	4 a 5
15 a 20	0	0	más de 5
20 a 25	0	0	más de 5
más de 25	0	0	0

Fuente: Elaboración propia.

De este modo se estimaron 196 presas de gaviones, 12,032 presas de geo-costal y 117 presas de piedra acomodada. La localización precisa de las presas será objeto de estudios hidrográficos y geológicos. Esto implica mejorar las condiciones ambientales para reducir el impacto en los usos agrícolas aguas abajo.

Tabla 6.9. Número de presas por tipo para cada microcuenca

#	MICROCUECA	PRESA DE PIEDRA ACOMODADA	PRESA DE GAVIÓN	PRESA DE GEO-COSTAL
1	Atécuaro	6	11	458
2	Barranca de Agua			
3	Capula	8	13	559
4	Charo 1	6	10	400
5	Charo 3			
6	Charo 4			
7	Charo 5	6	10	1,120
8	Charo 6			
9	El Fresnito	8	12	126
10	Lagunillas	6	10	2,220
11	Los Pirules	6	10	280
12	Paredones (Ichaqueo)			
13	Río Canacucho			
14	Río Chiquito	6	10	323
15	Río Grande	6	10	1,090
16	San Andrés	6	10	385
17	San Marcos	7	11	951
18	Santa Inés	6	10	453
19	Santas Marías			
20	Tarímbaro_1	7	11	506
21	Tarímbaro_2	6	10	800
22	Teremendo			
23	Teremendo Jasso	6	10	640
24	Tirio	3	8	369
25	Tiristarán			
26	Umécuaro	6	10	642
27	Álvaro Obregón 1	6	10	390
28	Álvaro Obregón 2	6	10	320
		117	196	12,032

Fuente: Elaboración propia.

Determinación del volumen de infiltración en las zonas de recarga

De acuerdo con la metodología anterior, se identificaron las zonas de recarga con potencial (mayor o igual a dos) en las microcuencas, así como el volumen potencial de infiltración considerando los siguientes datos de entrada:

Datos de entrada

Precipitación.	1,200 mm
Número de crecientes ocurridas en las microcuencas	24
Meses lluviosos.	6
Días de lluvia.	4
Coefficiente de infiltración / escurrimiento.	0.21
Tasa de infiltración / coeficiente de infiltración.	0.0001 m/s

La tabla a continuación resume los cálculos del volumen de infiltración para cada microcuenca:

Tabla 6.10. Potencial de recarga en las microcuencas (≥ 2) en la ZdE.

#	MICROCUECA	ÁREA DE APORTACIÓN (ha)	POTENCIAL DE RECARGA (hm ³)	ÁREA INUNDABLE (m ²)	CAPACIDAD DE INFILTRACIÓN (hm ³)	VOLUMEN REAL DE INFILTRACIÓN (hm ³)
1	Álvaro Obregón 1	43,898,117.10	6.53	7,149,425.50	6.53	1.32
2	Álvaro Obregón 2	27,399,363.46	4.10	13,185,931.25	4.10	1.09
3	Atécuaro	43,465,121.19	8.35	5,050,197.08	8.35	1.54
4	Barranca de Agua	28,423,581.53	5.77	331,004.72	0.69	0.00
5	Capula	98,017,450.56	16.94	5,166,424.24	10.71	1.88
6	Charo 1	83,713,393.31	15.68	3,036,263.64	6.30	1.35
7	Charo 3	19,997,808.65	4.23	4,914,981.94	4.23	0.00
8	Charo 4	96,155,349.33	23.32	37,622,442.69	23.32	0.00
9	Charo 5	226,340,220.67	40.29	12,272,536.33	25.45	3.68
10	Charo 6	47,486,800.23	12.26	1,250,000.00	2.59	0.00
11	El Fresnito	45,772,596.69	7.59	250,000.00	0.52	0.47
12	Lagunillas	303,905,001.00	59.67	45,412,670.11	59.67	7.24
13	Los Pirules	18,555,526.76	3.24	1,435,200.91	2.98	0.96
14	Paredones (Ichaqueo)	74,010,944.27	14.92	16,496,672.26	14.92	0.00
15	Río Canacucho	201,609,681.74	39.10	35,166,302.25	39.10	0.00
16	Río Chiquito	87,575,914.33	16.81	1,000,000.00	2.07	1.10
17	Río Grande	333,821,746.49	57.80	11,886,219.06	24.65	3.58
18	San Andrés	31,182,412.31	6.37	6,791,822.88	6.37	1.30
19	San Marcos	132,189,171.08	22.09	33,104,146.30	22.09	3.14
20	Santa Inés	66,879,903.07	11.23	3,501,225.05	7.26	1.52
21	Santas Marías	59,961,091.62	12.69	2,494,611.93	5.17	0.00
22	Tarímbaro 1	56,356,361.90	9.11	18,920,742.72	9.11	1.70
23	Tarímbaro 2	111,981,208.10	17.44	33,524,308.65	17.44	2.64
24	Teremendo	89,134,605.13	14.35	11,431,132.47	14.35	0.00

#	MICROCUENCA	ÁREA DE APORTACIÓN (ha)	POTENCIAL DE RECARGA (hm ³)	ÁREA INUNDABLE (m ²)	CAPACIDAD DE INFILTRACIÓN (hm ³)	VOLUMEN REAL DE INFILTRACIÓN (hm ³)
25	Teremendo Jasso	72,477,356.34	12.29	6,677,272.50	12.29	2.13
26	Tirio	23,559,594.35	4.59	9,771,627.22	4.59	1.23
27	Tiristarán	39,928,076.42	6.84	0	0.00	0.00
28	Umécuaro	57,336,020.01	11.81	10,779,159.58	11.81	2.13
			465.41		346.67	40.00

El área de aportación es el área de la microcuenca

Fuente: Elaboración propia.

Con base en estos resultados se identifican las microcuencas (que drenan hacia el lago de Cuitzeo) en las que es recomendable la construcción de infraestructura verde para retener e infiltrar. Cabe señalar que con este análisis se corrobora que las áreas naturales protegidas de la zona de estudio, están contribuyendo con la recarga del acuífero Morelia Queréndaro.

El impacto en términos de volumen realmente infiltrado es de 40 hm³ que es equivalente al volumen actualmente sobreexplotado.

Costos estimados

El costo total de inversión para el programa metropolitano de recarga ascienda a \$1,575 mdp, para la construcción de los diferentes tipos de presas: 95.4% para presas de geocostal y el resto para presas de gavión (3.0%) y presas de piedra acomodada (1.6%).

Cabe señalar que la implementación está prevista en un horizonte de 10 años, aunque depende de la disponibilidad anual de presupuesto.

Costos de inversión:

Construcción de presas de piedra acomodada (117 presas) [\$215.4 mil/presa].	\$25.2 mdp
Construcción de presas de gavión (196 presas) [\$234.7 mil/presa].	\$46.0 mdp
Presas de geocostal(12,032 presas) [\$125 mil/presa].	\$1,504.0 mdp

Subtotal de inversión

\$1,575.0 mdp

Costos de operación:

Mantenimiento de infraestructura verde (próximos 10 años) [\$61.2 mdp/año].	\$612.0 mdp
---	-------------

Subtotal de inversión

\$612.0 mdp

Beneficios

Las zonas de recarga de las microcuencas determinan beneficios no sólo en términos de localidades urbanas y rurales, sino de habitantes aguas abajo y sus fuentes de agua subterránea. Asimismo, los beneficios ecosistémicos además del agua infiltrada, la superficie forestal protegida (reforestada) y toneladas de suelo erosionado evitados. Se ha considerado también la participación de las comunidades en la implementación de las obras y la reforestación en términos de empleos generados.

Tabla 6.11. Beneficios esperados del programa metropolitano de recarga

MICROCUECNA	POR UBICACIÓN DE LA DE FUENTE DE AGUA				BENEFICIOS ECOSISTÉMICOS			PARTICIPACIÓN DE LAS COMUNIDADES
	LOCALIDADES	HABITANTES	HABITANTES DE MICROCUENCAS AGUAS ABAJO	HABITANTES DE MICROCUENCA AGUAS ABAJO	AGUA INFILTRADA (hm ³)	SUPERFICIE FORESTAL PROTEGIDA (ha)	EROSIÓN EVITADA (Ton)	EMPLEOS GENERADOS
Álvaro Obregón 1	21	12,806	0	0	1.32	3,006	300,825	5,306
Álvaro Obregón 2	6	3,408	0	0	1.09	1,234	152,337	1,139
Atécuaro	15	1,339	926,166	24,272	1.54	3,331	299,943	494
Barranca de agua								
Capula	12	9,358	901,894	839,017	1.88	5,921	1,094,092	5,010
Charo 1	21	9,865	62,877	50,071	1.35	651	436,564	3,346
Charo 3								
Charo 4								
Charo 5	75	50,071	12,806	12,806	3.68	2,500	1,771,248	24,891
Charo 6								
El Fresno	4	1,572	4,086	4,086	0.47	1,070	525,619	725
Lagunillas	73	24,272	901,894	839,017	7.24	13,731	2,760,575	12,023
Los Pirules	4	4,767	901,894	839,017	0.96	1,021	125,428	2,245
Paredones								
Río Canacucho								
Río Chiquito	9	11,781	901,894	839,017	1.1	6,336	445,205	396,808
Río Grande	118	839,017	62,877	50,071	3.58	15,858	1,739,276	48,585
San Andrés	5	1,969	926,166	24,272	1.3	713	393,871	916
San Marcos	20	8,989	32,648	3,408	3.14	5,581	1,220,802	4,098
Santa Inés	5	759	0	0	1.52	2,107	431,077	344
Santas Marías								
Tarímbaro 1	24	13,995	18,653	15,245	1.7	598	370,661	7,020
Tarímbaro 2	22	15,245	3,408	3,408	2.64	3,613	612,018	6,885
Teremendo								
Teremendo Jasso	9	1,949	0	0	2.13	3,834	576,933	838
Tirio	8	366	926,166	24,272	1.23	2,021	207,162	129
Tiristarán								
Umécuaro	17	1,269	926,532	366	2.13	2,781	685,102	547
	468	1,012,797			40.00	75,906	14,148,739	521,349

Fuente: Elaboración propia.

Arreglos para su implementación

Implicaciones legales y administrativas

Las implicaciones legales de esta alternativa de infiltración de agua pluvial son mínimas sin considerar la parte de la reserva de agua, lo cual si requiere de la elaboración y publicación de un estudio técnico justificativo y un posterior decreto de reserva emitido por el Ejecutivo Federal y cuyos plazos oscilan entre dos y tres años. A pesar de ello, se considera que la seguridad de contar con la reserva de agua otorga la certeza jurídica para quien la promueve (en este caso el Municipio de Morelia o un conglomerado de municipios de la zona de estudio). Dado que lo que se infiltra es agua pluvial sin contaminar, el cumplimiento de la Norma Oficial Mexicana NOM-015-CONAGUA-2007, es infiltración artificial de agua a los acuíferos, que no representa un problema, dado que lo que se está haciendo es reproducir lo que la naturaleza realiza de manera ordinaria.

Aspectos Sociales

Las implicaciones sociales si son relevantes, puesto que hay que socializar el proyecto, para lograr la implementación en propiedades ejidales, comunales y privadas. Es claro que aun cuando la mayor parte de las obras de retención son en los cauces, los propietarios colindantes normalmente consideran a estos como de su propiedad, a menos que sean de grandes dimensiones. Por ello, hay que promover los proyectos entre los usuarios del agua, ejidos y pequeños propietarios para que ellos no sólo permitan la ejecución de estas acciones, sino también las implementen y eventualmente se hagan cargo de su mantenimiento. Esto permite darle permanencia a esta infraestructura verde. Es decir, es crucial para el programa la creación de capacidades en la población local para mantener, replicar y escalar estos modelos para aumentar la infiltración.

Referencias

- [1] **BALAKRISHNAN, M., 2019.** Groundwater potential zone mapping using geospatial techniques in Walayar Watershed. International Journal of Engineering and Advanced Technology. Vol 9. Issue 1.
<https://doi.org/10.35940/ijeat.A9511.109119>.
- [2] **BANCO MUNDIAL, 2018.** Iniciativa de Innovación Financiera para Infraestructura Hidro-agrícola (Fase I) Fortalecimiento del sistema financiero del agua. Informe Final. Casos de negocio estudios de prefactibilidad y recomendaciones de Política Pública. 2030 Water Resources Group/Banco Mundial, Consejo Consultivo del Agua A.C. (2018).
- [3] **CONAGUA, 2024.** Relación de títulos y volúmenes por fuente de abastecimiento otorgados al DR 020.
- [4] **DOF, 2023.** DECRETO por el que se reforma la Ley de Aguas Nacionales 1992.
- [5] **OOAPAS, 2015.** Anteproyecto de ampliación a la PTAR Atapaneo presentado ante la Junta de Gobierno del OOAPAS Morelia en septiembre de 2017.
- [6] **OOAPAS, 2024.** Abastecimiento de agua para la Ciudad de Morelia 2022. Dirección de Producción OOAPAS.

7. Disponibilidad del agua con fuentes complementarias



► 7.1 Disponibilidad de las aguas con fuentes complementarias

Las alternativas de intercambio intersectorial y reúso del agua identificadas durante el análisis prospectivo están enfocadas a un uso más eficiente de los recursos hídricos ya disponibles, y no necesariamente a identificar fuentes y volúmenes adicionales. Su implementación permitiría avanzar hacia un uso equilibrado de los recursos subterráneos y superficiales, contribuyendo a reducir la sobreexplotación del acuífero y la presión sobre los recursos superficiales.

Por su parte, para el caso de la recarga artificial, se dispondría de un volumen de aguas superficiales que sería utilizado para la recuperación del acuífero (recarga), reduciendo el volumen que fluye hacia el Lago de Cuitzeo y aumentando la DMA del acuífero Morelia-Queréndaro.

Las variaciones que derivarían de la implementación de estas alternativas sobre las diferentes componentes del balance hídrico y su cálculo final, se presentan para cada caso en el siguiente apartado.

► 7.2 Cálculo de balance hídrico con fuentes complementarias

A fin de poder incorporar de manera explícita los volúmenes y el alcance de las fuentes complementarias (alternativas identificadas en el análisis prospectivo) es necesario desagregar aún más las componentes tanto del escurrimiento, como de las aportaciones del agua subterránea (ver **Figura 7.1**), de acuerdo con las siguientes dos expresiones:

$$Esc\ CP_{FC} = Esc\ NAT + (Ret\ AP + ART) + Ret\ AR + MAN + I\&R - ETR - RES_{ASUP}$$

$$Ap\ ASUB = Con\ AP + Con\ AR - RES_{ASUB}$$

Donde:

Esc CP_{FC} = Escurrimiento en cuenca propia con fuentes complementarias

Esc NAT = Escurrimiento natural

Ret AP = Volumen medio anual de retorno del agua por uso en agua potable (menos el volumen de aguas residuales tratadas)

ART = Volumen medio anual de aguas residuales tratadas

Ret AR = Volumen medio anual de retorno del agua por uso en agua para riego agrícola

MAN = Volumen medio anual de manantiales

I&R = Volumen medio anual potencial para intercambio intersectorial y/o reúso

ETR = Evaporación en embalses

RES_{ASUP} = Reserva de aguas superficiales

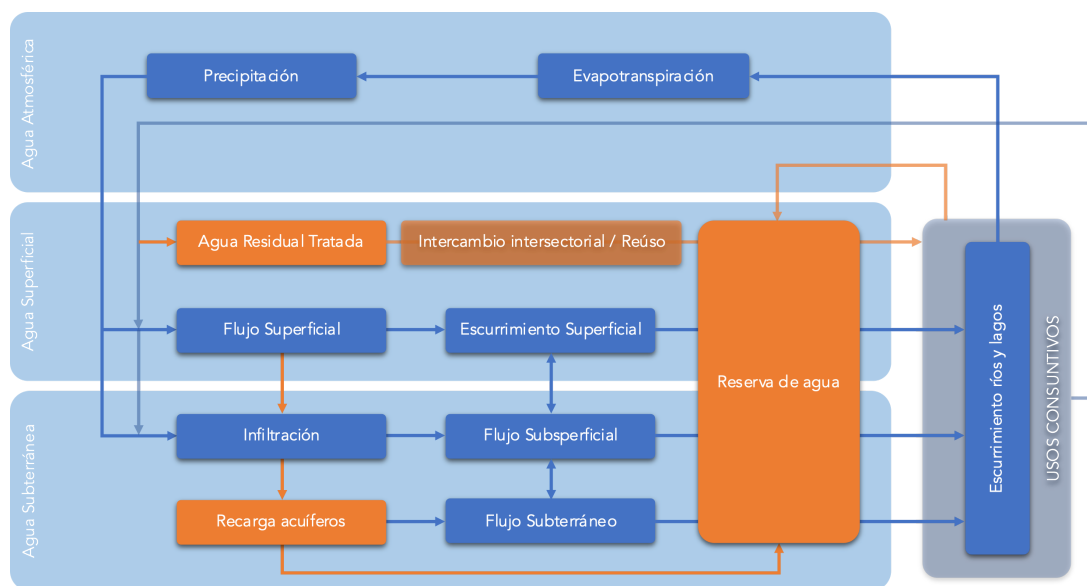
Ap ASUB = Aportación total de aguas subterráneas

Con AP = Volumen de aguas subterráneas concesionado para abastecimiento de agua potable

Con AR = Volumen de aguas subterráneas concesionado para uso en riego agrícola

RES_{ASUB} = Reserva de aguas subterráneas

Figura 7.1. Esquema simplificado de las diferentes componentes del balance hídrico con fuentes complementarias



Fuente: Elaboración propia

Las Tablas 7.2 a 7.7 contienen el detalle de los cálculos del balance para cada una de las cinco (5) alternativas, tomando en consideración el escenario actual. Los resultados de todos los escenarios para todas las alternativas se presentan de manera resumida⁴⁵ en la Tabla 7.1 a continuación.

Tabla 7.1. Resumen del balance hídrico con fuentes complementarias para todos los escenarios⁴⁶

ESCENARIO / ALTERNATIVA		ESCURRIMIENTO						APORTACIÓN A SUBTERRÁNEA				BALANCE			
		Ret AP	ART	MAN	INTER	RESERV	Esc CP	Con AP	Con AR	RESERV	Ap ASUB	ASUB	Cuitzeo	F Zde	TOTAL
ACTUAL	INTERCAMBIO														
	ALT I	70.0	2.6	30.0	8.6	-	452.3	40.6	48.7	8.6	89.3	4.5	232.7	74.8	320.7
	ALT II	19.9	40.0	34.7	16.8	-	452.3	49.2	16.8	16.8	81.2	4.5	224.6	74.8	320.7
	ALT IIA	70.0	2.6	30.0	8.6	-	452.3	40.6	48.7	8.6	89.3	4.5	232.7	74.8	320.7
	REÚSO														
	ALT I	19.9	40.0	34.7	16.8	11.1	441.2	49.2	48.7	-	98.0	4.5	230.3	74.8	320.7
	ALT II	19.9	40.0	34.7	16.8	9.5	442.8	49.2	48.7	-	98.0	4.5	231.9	74.8	320.7
	RECARGA					REC				DMA F					
	ALT ÚNICA	76.7	-	34.7	-	40.0	412.3	49.2	48.7	0.1	98.0	4.5	204.0	72.3	280.7
TENDENCIAL 2050	INTERCAMBIO														
	ALT I	106.9	2.6	30.0	8.6	-	474.8	40.6	48.7	8.6	89.3	3.7	214.2	67.5	294.0
	ALT II	56.8	40.0	34.7	16.8	-	474.8	49.2	32.0	16.8	81.2	3.7	206.1	67.5	294.0
	ALT IIA	56.8	40.0	34.7	16.8	-	474.8	32.5	48.7	16.8	81.2	3.7	206.1	67.5	294.0
	REÚSO														
	ALT I	56.8	40.0	34.7	16.8	11.1	463.8	49.2	48.7	-	98.0	3.7	211.7	67.5	294.0
	ALT II	56.8	40.0	34.7	16.8	9.5	465.4	49.2	48.7	-	98.0	3.7	213.3	67.5	294.0
	RECARGA					REC				DMA F					
	ALT ÚNICA	113.6	-	34.7	-	40.0	434.8	49.2	48.7	0.1	98.0	3.7	185.4	64.9	254.0
CC RCP 4.5	INTERCAMBIO														
	ALT I	106.9	2.6	30.0	8.6	-	440.7	40.6	48.7	8.6	89.3	3.7	187.6	59.9	259.8
	ALT II	56.8	40.0	34.7	16.8	-	440.7	49.2	16.8	16.8	81.2	3.7	179.5	59.9	259.8
	ALT IIA	56.8	40.0	34.7	16.8	-	440.7	32.5	48.7	16.8	81.2	3.7	179.5	59.9	259.8
	REÚSO														
	ALT I	56.8	40.0	34.7	16.8	11.1	429.6	49.2	48.7	-	98.0	3.7	185.1	59.9	259.8
	ALT II	56.8	40.0	34.7	16.8	9.5	431.2	49.2	48.7	-	98.0	3.7	186.8	59.9	259.8
	RECARGA					REC				DMA F					
	ALT ÚNICA	113.6	-	34.7	-	40.0	400.7	49.2	48.7	0.1	98.0	3.7	158.8	57.3	219.8

⁴⁵ Su presentación se realiza de esta forma para fines prácticos, toda vez que las capacidades de la PTAR Itzicuaros, de la PTAR Atapaneo y del manantial La Mintzita serán las mismas hacia el futuro (2050), y que por tanto componentes de cada alternativa tampoco variarán con el tiempo, ni con respecto al desglose ya indicado en el escenario actual.

⁴⁶ Donde:

Ret AP = Retorno de agua potable

ART = Agua residual tratada

MAN = Manantiales

INTER = Volumen medio anual potencial de intercambio / reúso

RESER = Reserva de agua

Esc CP = Escurrimiento en cuenca propia

Ap ASUB = Aportación de aguas subterráneas

ASUB = Volumen medio anual de aguas subterráneas remanente después de demanda

Cuitzeo = Volumen medio anual fluyendo al Lago de Cuitzeo

F Zde = Volumen medio anual fluyendo fuera de la Zde

RECARG = Volumen medio anual para recarga artificial de acuíferos

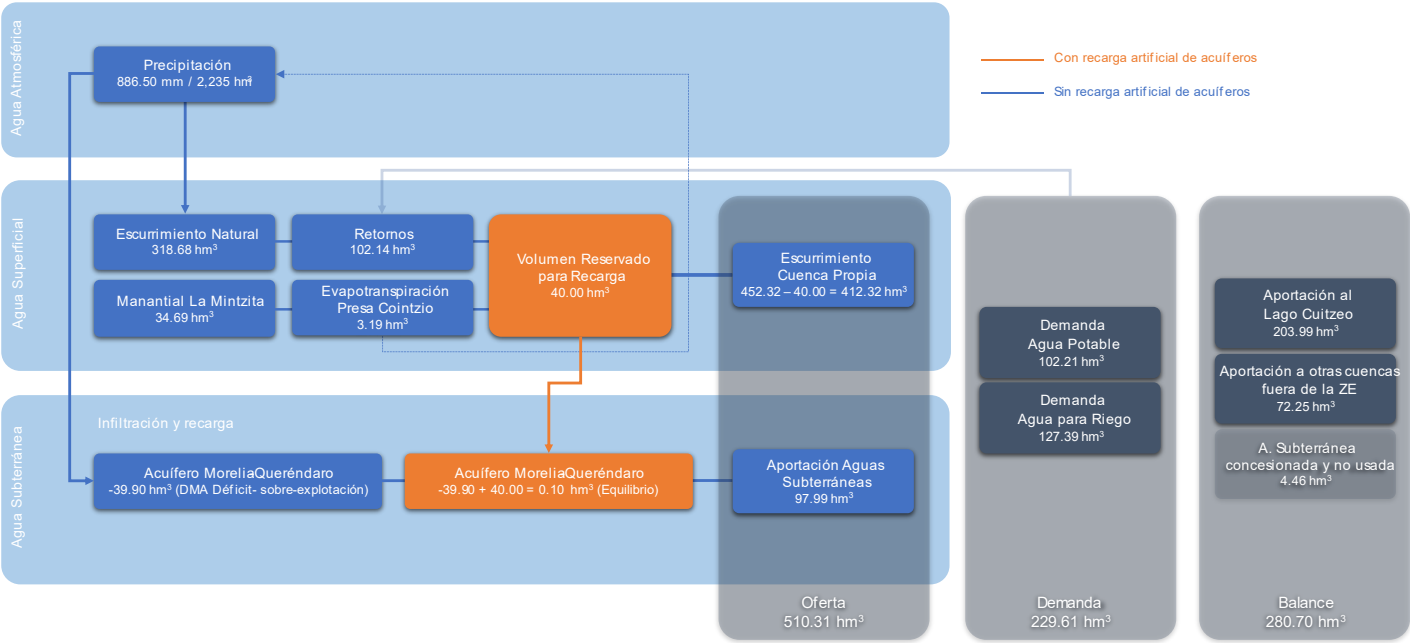
DMA F = Disponibilidad media anual futura

ESCENARIO / ALTERNATIVA		ESCURRIMIENTO						APORTACIÓN A SUBTERRÁNEA				BALANCE			
		Ret AP	ART	MAN	INTER	RESERV	Esc CP	Con AP	Con AR	RESERV	Ap ASUB	ASUB	Cuitzeo	F ZdE	TOTAL
CC RCP 8.5	INTERCAMBIO														
	ALT I	106.9	2.6	30.0	8.6	-	401.0	40.6	48.7	8.6	89.3	3.7	158.2	49.7	220.2
	ALT II	56.8	40.0	34.7	16.8	-	401.0	49.2	16.8	16.8	81.2	3.7	150.0	49.7	220.2
	ALT IIA	56.8	40.0	34.7	16.8	-	401.0	32.5	48.7	16.8	81.2	3.7	150.0	49.7	220.2
	REÚSO														
	ALT I	56.8	40.0	34.7	16.8	11.1	389.9	49.2	48.7	-	98.0	3.7	155.7	49.7	220.2
	ALT II	56.8	40.0	34.7	16.8	9.5	391.5	49.2	48.7	-	98.0	3.7	157.3	49.7	220.2
	RECARGA														
	ALT ÚNICA	113.6	-	34.7	-	40.0	361.0	49.2	48.7	0.1	98.0	3.7	129.4	47.1	180.2

Fuente: Elaboración propia

Como se puede observar, la única alternativa que tiene un impacto sobre los volúmenes finales del balance hídrico es la recarga artificial de acuíferos. A continuación, se presenta de manera esquemática los resultados del balance con esta alternativa.

Figura 7.2. El balance hídrico y sus componentes con la alternativa de recarga artificial del acuífero Morelia-Queréndaro.



Fuente: Elaboración propia

Tabla 7.2. Balance hídrico por microcuenca para la alternativa I de intercambio intersectorial – escenario actual

		POBLACIÓN 2020	PRECIPITACIÓN	DEMANDA			ESCURRIMIENTOS											APORTACIÓN. A SUBTERRÁNEA				DEMANDA A. SUPERFICIAL			BALANCE				
No.	MICROCUCENCIA	Pob TOT	PMA [mm]	Dem AP (1)	Dem AR (2)	Dem T	Esc AAR	Esc NAT	Ret AP	Ret AR	ART	MAN	INTER	ETR	RESERV	Esc CP	Esc T	Con AP (3)	Con AR (4)	RESERV	Ap ASUB	(1) - (3)	(2) - (4)	DST	ASUB	VMA	Cuitzeo	F ZdE	
				[hm³/año]			[hm³/año]											[hm³/año]				[hm³/año]			[hm³/año]				
1	Atécuaro	1,339	915.23	0.05		0.05		5.61	0.04	-						5.65	5.65	-	-	-	-	0.05		0.05	-	5.60			
2	Barranca del agua	286	965.97	0.01		0.01		3.49	0.01	-						3.50	3.50	-	-	-	-	0.01		0.01	-	3.49			
3	Capula	9,358	822.85	0.72	0.56	1.28		10.89	0.54	0.11						11.54	11.54	0.26	0.56		0.82	0.46		0.46	-	11.08			
4	El Fresno	1,572	789.61	0.06		0.06		5.30	0.04	-						5.35	5.35	0.07	-		0.07	(0.02)			-	0.02	5.35		
5	Lagunillas	24,274	934.91	1.54	2.88	4.42	50.35	43.52	1.16	0.58				3.19		42.05	92.40	0.24	2.88		3.12	1.30		1.30	-	91.10			
6	Los Pirules	8,065	831.89	0.84	0.08	0.92		2.48	0.63	0.02						3.13	3.13	1.32	0.08		1.40	(0.48)			-	0.48	3.13		
7	Paredones	831	960.20	0.03		0.03		9.20	0.02	-						9.22	9.22	-	-		-	0.03		0.03	-	9.19			
8	Río Chiquito	121,903	913.84	12.54	0.37	12.91		12.17	9.41	0.07						21.65	21.65	6.33	0.37		6.70	6.21		6.21	-	15.43			
9	Río Grande	715,506	824.56	74.09	10.73	84.82	130.66	41.88	48.95	2.15	2.65	30.02	8.64			134.28	264.94	22.26	4.19	8.64	26.45	51.83	6.54	58.37	-	206.57			
10	San Andrés	1,969	973.41	0.07	0.01	0.08		4.70	0.05	0.00						4.76	4.76	-	0.01		0.01	0.07		0.07	-	4.69			
11	San Marcos	10,356	795.80	0.47	3.88	4.35		13.81	0.35	0.78						14.93	14.93	3.72	3.88		7.59	(3.25)			-	3.25	14.93		
12	Sta. Inés	759	799.28	0.03	0.05	0.08		7.39	0.02	0.01						7.42	7.42	0.03	0.05		0.08	(0.00)			-	0.003	7.42	7.42	
13	Santas Marías	578	1,007.89	0.02	0.11	0.13		8.29	0.02	0.02						8.32	8.32	-	0.11		0.11	0.02		0.02	-	8.30		8.30	
14	Teremendo	4,086	766.87	0.15		0.15	5.35	8.42	0.11	-						8.53	13.88	0.19	-		0.19	(0.04)			-	0.04	13.88	13.88	
15	Teremendo Jasso	1,949	807.26	0.07		0.07	4.31	7.54	0.05	-						7.59	11.90	0.01	-		0.01	0.06		0.06	-	11.84		11.84	
16	Tirio	366	928.57	0.01	0.07	0.08	9.47	3.13	0.01	0.01						3.16	12.62	-	0.07		0.07	0.01		0.01	-	12.61			
17	Tiristarán	2,041	816.28	0.07		0.07		4.28	0.06	-						4.34	4.34	0.05	-		0.05	0.03		0.03	-	4.31			
18	Umécuaro	1,269	980.71	0.05	0.70	0.75		9.34	0.03	0.14						9.51	9.51	-	0.70		0.70	0.05		0.05	-	9.47			
19	Tarimbaro_1	13,805	769.96	1.13	15.27	16.40	14.93	5.99	0.85	3.05						9.89	24.83	0.82	5.74		6.56	0.31	9.53	9.84	-	14.99			
20	Tarimbaro_2	18,574	741.47	1.54	34.14	35.67	14.99	11.26	1.15	6.83						19.24	34.23	0.45	10.31		10.76	1.09	23.83	24.91	-	9.32			
21	Charo_1	10,251	891.94	0.60	3.85	4.45		10.58	0.45	0.77						11.79	11.79	0.47	2.10		2.57	0.12	1.75	1.88	-	9.92			
22	Charo_3	16	1,008.09	0.00		0.00	9.19	2.62	0.00	-						2.62	11.81	0.05	-		0.05	(0.05)			-	0.05	11.81	11.81	
23	Charo_4	1,438	1,154.71	0.05	0.15	0.20	3.49	16.36	0.04	0.03						16.45	19.94	0.14	0.15		0.29	(0.09)			-	0.09	19.94	19.94	
24	Charo_5	65,532	847.56	6.08	25.58	31.65	206.57	26.84	4.56	5.12						36.51	243.08	2.86	9.82		12.67	3.22	15.76	18.98	-	224.10			
25	Charo_6	1,289	1,228.97	0.05	-	0.05		9.09	0.04	-						9.13	9.13	-	-		-	0.05		0.05	-	9.08		9.08	
26	Álvaro Obregón_1	4,673	708.43	0.26	19.54	19.80	224.10	4.36	0.20	3.91						8.46	232.57	0.59	5.73		6.33	(0.33)	13.81	13.81	0.33	218.76			
27	Álvaro Obregón_2	3,408	712.20	0.12	9.44	9.57	228.08	2.70	0.09	1.89						4.69	232.76	0.33	2.01		2.33	(0.20)	7.43	7.43	0.20	225.33	225.33		
28	Río Canacucho	21,333	923.56	1.55		1.55		27.44	1.16	-						28.60	28.60	0.40	-		0.40	1.15		1.15	-	27.45			
		1,046,826	886.50	102.21	127.39	229.61		318.68	70.04	25.48	2.65	30.02	8.64	3.19	-	452.32		40.60	48.74	8.64	89.35			140.26	4.46	232.75	74.85		
BALANCE																												320.75	

Ap SUB = Aportación total de Agua Subterránea
ASUB =Remanente de aguas subterráneas después de demanda
Con AP = Volumen concesionado para Agua Potable
Con AR = Volumen concesionado para Agua para Riego
Ce = Coeficiente de escurrimiento
Dem AP =Demanda de Agua Potable
Dem AR =Demanda de Agua para Riego
Dem T = Demanda Total
DST =Componente de la demanda a ser cubierta con aguas superficiales

Esc AAR = Esguerrimiento Aguas Arriba
Esc CP = Esguerrimiento en Cuenca Propia
Esc NAT = Esguerrimiento Natural
Esc T = Esguerrimiento Total
ETR = Evapotranspiración de Embalses
F Zde = Volumen que drena fuera de la Zde
K = Coeficiente que depende del uso y tipo de suelo
MAN = Manantiales
PMA = Precipitación Media Anual

Pob RUR = Población Rural
 Pob URB = Población Urbana
 Pob TOT = Población Total
 Ret AP = Retorno de Agua Potable
 Ret AR = Retorno de Agua para Riego
 RESERV = Reserva de agua
 VMA = Volumen Medio Anual (Disponibilidad)

Esc CP	452.32
Ap ASUB	89.35
Reserva	8.64
OFERTA	550.30
DEMANDA	229.61
BALANCE	320.70

Tabla 7.3. Balance hídrico por microcuenca para la alternativa II de intercambio intersectorial – escenario actual

		POBLACIÓN 2020	PRECIPITACIÓN	DEMANDA			ESCURRIMIENTOS										APORTACIÓN. A SUBTERRÁNEA				DEMANDA A. SUPERFICIAL			BALANCE				
No.	MICROCUECNA	Pob TOT	PMA [mm]	Dem AP (1)	Dem AR (2)	Dem T	Esc AAR	Esc NAT	Ret AP	Ret AR	ART	MAN	INTER	ETR	RESERV	Esc CP	Esc T	Con AP (3)	Con AR (4)	RESERV	Ap ASUB	(1) - (3)	(2) - (4)	DST	ASUB	VMA	Cuitzeo	F ZdE
				[hm³/año]			[hm³/año]										[hm³/año]				[hm³/año]			[hm³/año]				
1	Atécuaro	1,339	915.23	0.05		0.05		5.61	0.04	-						5.65	5.65	-	-	-	-	0.05	-	0.05	-	5.60		
2	Barranca del agua	286	965.97	0.01		0.01		3.49	0.01	-						3.50	3.50	-	-	-	-	0.01	-	0.01	-	3.49		
3	Capula	9,358	822.85	0.72	0.56	1.28		10.89	0.54	0.11						11.54	11.54	0.26	0.56		0.82	0.46	-	0.46	-	11.08		
4	El Fresno	1,572	789.61	0.06		0.06		5.30	0.04	-						5.35	5.35	0.07	-		0.07	(0.02)	-	-	0.02	5.35		
5	Lagunillas	24,274	934.91	1.54	2.88	4.42	50.35	43.52	1.16	0.58				3.19		42.05	92.40	0.24	2.88		3.12	1.30	-	1.30	-	91.10		
6	Los Pirules	8,065	831.89	0.84	0.08	0.92		2.48	0.63	0.02						3.13	3.13	1.32	0.08		1.40	(0.48)	-	-	0.48	3.13		
7	Paredones	831	960.20	0.03		0.03		9.20	0.02	-						9.22	9.22	-	-	-	-	0.03	-	0.03	-	9.19		
8	Río Chiquito	121,903	913.84	12.54	0.37	12.91		12.17	3.73	0.07						15.97	15.97	6.33	0.37		6.70	6.21	-	6.21	-	9.76		
9	Río Grande	715,506	824.56	74.09	10.73	84.82	124.98	41.88	4.48	2.15		34.69				83.20	208.18	30.90	4.19		26.45	43.19	6.54	49.73	-	158.45		
10	San Andrés	1,969	973.41	0.07	0.01	0.08		4.70	0.05	0.00						4.76	4.76	-	0.01		0.01	0.07	-	0.07	-	4.69		
11	San Marcos	10,356	795.80	0.47	3.88	4.35		13.81	0.35	0.78						14.93	14.93	3.72	3.88		7.59	(3.25)	-	-	3.25	14.93		
12	Sta. Inés	759	799.28	0.03	0.05	0.08		7.39	0.02	0.01						7.42	7.42	0.03	0.05		0.08	(0.00)	-	-	0.00	7.42	7.42	
13	Santas Marías	578	1,007.89	0.02	0.11	0.13		8.29	0.02	0.02						8.32	8.32	-	0.11		0.11	0.02	-	0.02	-	8.30	8.30	
14	Teremendo	4,086	766.87	0.15		0.15	5.35	8.42	0.11	-						8.53	13.88	0.19	-		0.19	(0.04)	-	-	0.04	13.88	13.88	
15	Teremendo Jasso	1,949	807.26	0.07		0.07	4.31	7.54	0.05	-						7.59	11.90	0.01	-		0.01	0.06	-	0.06	-	11.84	11.84	
16	Tirio	366	928.57	0.01	0.07	0.08	9.47	3.13	0.01	0.01						3.16	12.62	-	0.07		0.07	0.01	-	0.01	-	12.61		
17	Tiristarán	2,041	816.28	0.07		0.07		4.28	0.06	-						4.34	4.34	0.05	-		0.05	0.03	-	0.03	-	4.31		
18	Umécuaro	1,269	980.71	0.05	0.70	0.75		9.34	0.03	0.14						9.51	9.51	-	0.70		0.70	0.05	-	0.05	-	9.47		
19	Tarimbaro_1	13,805	769.98	1.13	15.27	16.40	14.93	5.99	0.85	3.05						9.89	24.83	0.82	3.56	2.18	4.38	0.31	11.71	12.02	-	12.81		
20	Tarimbaro_2	18,574	741.47	1.54	34.14	35.67	12.81	11.26	1.15	6.83						19.24	32.05	0.45	4.87	5.44	5.32	1.09	29.27	30.36	-	1.70		
21	Charo_1	10,251	891.94	0.60	3.85	4.45		10.58	0.45	0.77						11.79	11.79	0.47	2.10		2.57	0.12	1.75	1.88	-	9.92		
22	Charo_3	16	1,008.09	0.00		0.00	9.19	2.62	0.00	-						2.62	11.81	0.05	-		0.05	(0.05)	-	-	0.05	11.81	11.81	
23	Charo_4	1,438	1,154.71	0.05	0.15	0.20	3.49	16.38	0.04	0.03						16.45	19.94	0.14	0.15		0.29	(0.09)	-	-	0.09	19.94	19.94	
24	Charo_5	65,532	847.56	6.08	25.58	31.65	158.45	26.84	4.56	5.12	40.00		16.76			93.28	251.72	2.86	6.55	3.27	9.41	3.22	19.03	22.25	-	229.48		
25	Charo_6	1,289	1,228.97	0.05	-	0.05		9.09	0.04	-						9.13	9.13	-	-	-	-	0.05	-	0.05	-	9.08	9.08	
26	Álvaro Obregón_1	4,673	708.43	0.26	19.54	19.80	229.48	4.36	0.20	3.91						8.46	237.94	0.59	1.62	4.12	2.21	(0.33)	17.92	17.92	0.33	220.02		
27	Álvaro Obregón_2	3,408	712.20	0.12	9.44	9.57	221.72	2.70	0.09	1.89						4.69	226.40	0.33	0.24	1.76	0.57	(0.20)	9.20	9.20	0.20	217.20	217.20	
28	Río Canacucho	21,333	923.56	1.55		1.55		27.44	1.16	-						28.60	28.60	0.40	-	-	0.40	1.15	-	1.15	-	27.45		
		1,046,826	886.50	102.21	127.39	229.61		318.68	19.90	25.48	40.00	34.69	16.76	3.19	-	452.32		49.25	31.98	16.76	81.22		148.38	4.46		224.63	74.85	
BALANCE																										320.70		

Ap SUB = Aportación total de Agua Subterránea
 ASUB = Remanente de aguas subterráneas después de demanda
 Con AP = Volumen concesionado para Agua Potable
 Con AR = Volumen concesionado para Agua para Riego
 Ce = Coeficiente de escurrimiento
 Dem AP = Demanda de Agua Potable
 Dem AR = Demanda de Agua para Riego
 Dem T = Demanda Total
 DST = Componente de la demanda a ser cubierta con aguas superficiales

Esc AAR = Ecurrimiento Aguas Arriba
 Esc CP = Ecurrimiento en Cuenca Propia
 Esc NAT = Ecurrimiento Natural
 Esc T = Ecurrimiento Total
 ETR = Evapotranspiración de Embalses
 F ZdE = Volumen que drena fuera de la ZdE
 K = Coeficiente que depende del uso y tipo de suelo
 MAN = Manantiales
 PMA = Precipitación Media Anual

Pob RUR = Población Rural
 Pob URB = Población Urbana
 Pob TOT = Población Total
 Ret AP = Retorno de Agua Potable
 Ret AR = Retorno de Agua para Riego
 RESERV = Reserva de agua
 VMA = Volumen Medio Anual (Disponibilidad)

Esc CP	452.32
Ap ASUB	81.22
Reserva	16.76
OFERTA	550.30
DEMANDA	229.61
BALANCE	320.70

Tabla 7.4. Balance hídrico por microcuenca para la alternativa II-A de intercambio intersectorial – escenario actual

		POBLACIÓN 2020	PRECIPITACIÓN	DEMANDA			ESCURRIMIENTOS											APORTACIÓN. A SUBTERRÁNEA				DEMANDA A. SUPERFICIAL			BALANCE			
No.	MICROCUECNA	Pob TOT	PMA [mm]	Dem AP (1)	Dem AR (2)	Dem T	Esc AAR	Esc NAT	Ret AP	Ret AR	ART	MAN	INTER	ETR	RESERV	Esc CP	Esc T	Con AP (3)	Con AR (4)	RESERV	Ap ASUB	(1) - (3)	(2) - (4)	DST	ASUB	VMA	Cuitzeo	F Zde
				[hm³/año]			[hm³/año]											[hm³/año]				[hm³/año]			[hm³/año]			
1	Atécuaro	1,339	915.23	0.05		0.05		5.61	0.04							5.65	5.65	-	-	-	-	0.05		0.05	-	5.60		
2	Barranca del agua	286	965.97	0.01		0.01		3.49	0.01							3.50	3.50	-	-	-	-	0.01		0.01	-	3.49		
3	Capula	9,358	822.85	0.72	0.56	1.28		10.89	0.54	0.11						11.54	11.54	0.26	0.56		0.82	0.46		0.46	-	11.08		
4	El Fresno	1,572	789.61	0.06		0.06		5.30	0.04	-						5.35	5.35	0.07	-		0.07	(0.02)		-	0.02	5.35		
5	Lagunillas	24,274	934.91	1.54	2.88	4.42	50.35	43.52	1.16	0.58				3.19		42.05	92.40	0.24	2.88		3.12	1.30		1.30	-	91.10		
6	Los Pirules	8,065	831.89	0.84	0.08	0.92		2.48	0.63	0.02						3.13	3.13	1.32	0.08		1.40	(0.48)		-	0.48	3.13		
7	Paredones	831	960.20	0.03		0.03		9.20	0.02	-						9.22	9.22	-	-		-	0.03		0.03	-	9.19		
8	Río Chiquito	121,903	913.84	12.54	0.37	12.91		12.17	3.73	0.07						15.97	15.97	6.33	0.37		6.70	6.21		6.21	-	9.76		
9	Río Grande	715,506	824.56	74.09	10.73	84.82	124.98	41.88	4.48	2.15		34.69				83.20	208.18	14.14	4.19	16.76	18.32	59.96	6.54	65.50	-	141.68		
10	San Andrés	1,969	973.41	0.07	0.01	0.08		4.70	0.05	0.00						4.76	4.76	-	0.01		0.01	0.07		0.07	-	4.69		
11	San Marcos	10,356	795.80	0.47	3.88	4.35		13.81	0.35	0.78						14.93	14.93	3.72	3.88		7.59	(3.25)		-	3.25	14.93		
12	Sta. Inés	759	799.28	0.03	0.05	0.08		7.39	0.02	0.01						7.42	7.42	0.03	0.05		0.08	(0.00)		-	0.003	7.42	7.42	
13	Santas Marías	578	1,007.89	0.02	0.11	0.13		8.29	0.02	0.02						8.32	8.32	-	0.11		0.11	0.02		0.02	-	8.30		8.30
14	Teremendo	4,086	766.87	0.15		0.15	5.35	8.42	0.11	-						8.53	13.88	0.19	-		0.19	(0.04)		-	0.04	13.88		13.88
15	Teremendo Jasso	1,949	807.26	0.07		0.07	4.31	7.54	0.05	-						7.59	11.90	0.01	-		0.01	0.06		0.06	-	11.84		11.84
16	Tirio	366	928.57	0.01	0.07	0.08	9.47	3.13	0.01	0.01						3.16	12.62	-	0.07		0.07	0.01		0.01	-	12.61		
17	Tiristarán	2,041	816.28	0.07		0.07		4.28	0.06	-						4.34	4.34	0.05	-		0.05	0.03		0.03	-	4.31		
18	Umécuaro	1,269	980.71	0.05	0.70	0.75		9.34	0.03	0.14						9.51	9.51	-	0.70		0.70	0.05		0.05	-	9.47		
19	Tarimbaro_1	13,805	769.98	1.13	15.27	16.40	14.93	5.99	0.85	3.05						9.89	24.83	0.82	5.74		6.56	0.31	9.53	9.84	-	14.99		
20	Tarimbaro_2	18,574	741.47	1.54	34.14	35.67	14.99	11.26	1.15	6.83						19.24	34.23	0.45	10.31		10.76	1.09	23.83	24.91	-	9.32		
21	Charo_1	10,251	891.94	0.60	3.85	4.45		10.58	0.45	0.77						11.79	11.79	0.47	2.10		2.57	0.12	1.75	1.88	-	9.92		
22	Charo_3	16	1,008.09	0.00		0.00	9.19	2.62	0.00	-						2.62	11.81	0.05	-		0.05	(0.05)		-	0.05	11.81		11.81
23	Charo_4	1,438	1,154.71	0.05	0.15	0.20	3.49	16.38	0.04	0.03						16.45	19.94	0.14	0.15		0.29	(0.09)		-	0.09	19.94		19.94
24	Charo_5	65,532	847.56	6.08	25.58	31.65	141.68	26.84	4.56	5.12	40.00		16.76			93.28	234.96	2.86	9.82		12.67	3.22	15.76	18.98	-	215.98		
25	Charo_6	1,289	1,228.97	0.05	-	0.05		9.09	0.04	-						9.13	9.13	-	-		-	0.05		0.05	-	9.08		9.08
26	Álvaro Obregón_1	4,673	708.43	0.26	19.54	19.80	215.98	4.36	0.20	3.91						8.46	224.44	0.59	5.73		6.33	(0.33)	13.81	13.81	0.33	210.64		
27	Álvaro Obregón_2	3,408	712.20	0.12	9.44	9.57	219.95	2.70	0.09	1.89						4.69	224.64	0.33	2.01		2.33	(0.20)	7.43	7.43	0.20	217.20	217.20	
28	Río Canacucho	21,333	923.56	1.55		1.55		27.44	1.16	-						28.60	28.60	0.40	-		0.40	1.15		1.15	-	27.45		
		1,046,826	886.50	102.21	127.39	229.61		318.68	19.90	25.48	40.00	34.69	16.76	3.19	-	452.32		32.48	48.74	16.76	81.22			148.38	4.46		224.63	74.85
		BALANCE																										320.70

Ap SUB = Aportación total de Agua Subterránea
 ASUB = Remanente de aguas subterráneas después de demanda
 Con AP = Volumen concesionado para Agua Potable
 Con AR = Volumen concesionado para Agua para Riego
 Ce = Coeficiente de escurrimiento
 Dem AP = Demanda de Agua Potable
 Dem AR = Demanda de Agua para Riego
 Dem T = Demanda Total
 DST = Componente de la demanda a ser cubierta con aguas superficiales

Esc AAR = Escurrimiento Aguas Arriba
 Esc CP = Escurrimiento en Cuenca Propia
 Esc NAT = Escurrimiento Natural
 Esc T = Escurrimiento Total
 ETR = Evapotranspiración de Embalses
 F Zde = Volumen que drena fuera de la Zde
 K = Coeficiente que depende del uso y tipo de suelo
 MAN = Manantiales
 PMA = Precipitación Media Anual

Pob RUR = Población Rural
 Pob URB = Población Urbana
 Pob TOT = Población Total
 Ret AP = Retorno de Agua Potable
 Ret AR = Retorno de Agua para Riego
 RESERV = Reserva de agua
 VMA = Volumen Medio Anual (Disponibilidad)

Esc CP	452.32
Ap ASUB	81.22
Reserva	16.76
OFERTA	550.30
DEMANDA	229.61
BALANCE	320.70

Tabla 7.5. Balance hídrico por microcuenca para la alternativa I de reúso del agua – escenario actual

		POBLACIÓN 2020	PRECIPITACIÓN	DEMANDA			ESCURRIMIENTOS										APORTACIÓN. A SUBTERRÁNEA				DEMANDA A. SUPERFICIAL			BALANCE				
No.	MICROCUECNA	Pob TOT	PMA [mm]	Dem AP (1)	Dem AR (2)	Dem T	Esc AAR	Esc NAT	Ret AP	Ret AR	ART	MAN	REUSO	ETR	RES	Esc CP	Esc T	Con AP (3)	Con AR (4)	RES	Ap ASUB	(1) - (3)	(2) - (4)	DST	ASUB	VMA	Cuitzeo	F ZdE
				[hm³/año]			[hm³/año]										[hm³/año]				[hm³/año]			[hm³/año]				
1	Atécuaro	1,339	915.23	0.05		0.05			5.61	0.04	-					5.65	5.65	-	-	-	-	0.05		0.05	-	5.60		
2	Barranca del agua	286	965.97	0.01		0.01			3.49	0.01	-					3.50	3.50	-	-	-	-	0.01		0.01	-	3.49		
3	Capula	9,358	822.85	0.72	0.56	1.28			10.89	0.54	0.11					11.54	11.54	0.26	0.56		0.82	0.46		0.46	-	11.08		
4	El Fresno	1,572	789.61	0.06		0.06			5.30	0.04	-					5.35	5.35	0.07	-		0.07	(0.02)		-	0.02	5.35		
5	Lagunillas	24,274	934.91	1.54	2.88	4.42	50.35	43.52	1.16	0.58				3.19		42.05	92.40	0.24	2.88		3.12	1.30		1.30	-	91.10		
6	Los Pirules	8,065	831.89	0.84	0.08	0.92			2.48	0.63	0.02					3.13	3.13	1.32	0.08		1.40	(0.48)		-	0.48	3.13		
7	Paredones	831	960.20	0.03		0.03			9.20	0.02	-					9.22	9.22	-	-		-	0.03		0.03	-	9.19		
8	Río Chiquito	121,903	913.84	12.54	0.37	12.91		12.17	3.73	0.07						15.97	15.97	6.33	0.37		6.70	6.21		6.21	-	9.76		
9	Río Grande	715,506	824.56	74.09	10.73	84.82	124.98	41.88	4.48	2.15		34.69	5.68			88.88	213.86	30.90	4.19		35.09	43.19	6.54	49.73	-	164.13		
10	San Andrés	1,969	973.41	0.07	0.01	0.08			4.70	0.05	0.00					4.76	4.76	-	0.01		0.01	0.07		0.07	-	4.69		
11	San Marcos	10,356	795.80	0.47	3.88	4.35		13.81	0.35	0.78						14.93	14.93	3.72	3.88		7.59	(3.25)		-	3.25	14.93		
12	Sta. Inés	759	799.28	0.03	0.05	0.08			7.39	0.02	0.01					7.42	7.42	0.03	0.05		0.08	(0.00)		-	0.00	7.42	7.42	
13	Santas Marías	578	1,007.89	0.02	0.11	0.13			8.29	0.02	0.02					8.32	8.32	-	0.11		0.11	0.02		0.02	-	8.30		8.30
14	Teremendo	4,086	766.87	0.15		0.15	5.35	8.42	0.11	-						8.53	13.88	0.19	-		0.19	(0.04)		-	0.04	13.88		13.88
15	Teremendo Jasso	1,949	807.26	0.07		0.07	4.31	7.54	0.05	-						7.59	11.90	0.01	-		0.01	0.06		0.06	-	11.84		11.84
16	Tirio	366	928.57	0.01	0.07	0.08	9.47	3.13	0.01	0.01						3.16	12.62	-	0.07		0.07	0.01		0.01	-	12.61		
17	Tiristarán	2,041	816.28	0.07		0.07			4.28	0.06	-					4.34	4.34	0.05	-		0.05	0.03		0.03	-	4.31		
18	Umécuaro	1,269	980.71	0.05	0.70	0.75			9.34	0.03	0.14					9.51	9.51	-	0.70		0.70	0.05		0.05	-	9.47		
19	Tarimbaro_1	13,805	769.98	1.13	15.27	16.40	14.93	5.99	0.85	3.05						9.89	24.83	0.82	5.74		6.56	0.31	9.53	9.84	-	14.99		
20	Tarimbaro_2	18,574	741.47	1.54	34.14	35.67	14.99	11.26	1.15	6.83						19.24	34.23	0.45	10.31		10.76	1.09	23.83	24.91	-	9.32		
21	Charo_1	10,251	891.94	0.60	3.85	4.45			10.58	0.45	0.77					11.79	11.79	0.47	2.10		2.57	0.12	1.75	1.88	-	9.92		
22	Charo_3	16	1,008.09	0.00		0.00	9.19	2.62	0.00	-						2.62	11.81	0.05	-		0.05	(0.05)		-	0.05	11.81		11.81
23	Charo_4	1,438	1,154.71	0.05	0.15	0.20	3.49	16.38	0.04	0.03						16.45	19.94	0.14	0.15		0.29	(0.09)		-	0.09	19.94		19.94
24	Charo_5	65,532	847.56	6.08	25.58	31.65	164.13	26.84	4.56	5.12	40.00		11.08		11.08	76.51	240.64	2.86	9.82		12.67	3.22	15.76	18.98	-	221.66		
25	Charo_6	1,289	1,228.97	0.05	-	0.05			9.09	0.04	-					9.13	9.13	-	-		-	0.05		0.05	-	9.08		9.08
26	Álvaro Obregón_1	4,673	708.43	0.26	19.54	19.80	221.66	4.36	0.20	3.91						8.46	230.12	0.59	5.73		6.33	(0.33)	13.81	13.81	0.33	216.32		
27	Álvaro Obregón_2	3,408	712.20	0.12	9.44	9.57	225.63	2.70	0.09	1.89						4.69	230.32	0.33	2.01		2.33	(0.20)	7.43	7.43	0.20	222.88	222.88	
28	Río Canacucho	21,333	923.56	1.55		1.55			27.44	1.16	-					28.60	28.60	0.40	-		0.40	1.15		1.15	-	27.45		
		1,046,826	886.50	102.21	127.39	229.61		318.68	19.90	25.48	40.00	34.69	16.76	3.19	11.08	441.23		49.25	48.74		97.99			131.62	4.44	230.31	74.85	
								</																				

Tabla 7.6. Balance hídrico por microcuenca para la alternativa II de reúso del agua – escenario actual

		POBLACIÓN 2020	PRECIPITACIÓN	DEMANDA			ESCURRIMIENTOS											APORTACIÓN. A SUBTERRÁNEA				DEMANDA A. SUPERFICIAL			BALANCE				
No.	MICROCUECNA	Pob TOT	PMA [mm]	Dem AP (1)	Dem AR (2)	Dem T	Esc AAR	Esc NAT	Ret AP	Ret AR	ART	MAN	REUSO	ETR	RES	Esc CP	Esc T	Con AP (3)	Con AR (4)	RES	Ap ASUB	(1) - (3)	(2) - (4)	DST	ASUB	VMA	Cuitzeo	F Zde	
				[hm³/año]			[hm³/año]											[hm³/año]				[hm³/año]			[hm³/año]				
1	Atécuaro	1,339	915.23	0.05		0.05		5.61	0.04							5.65	5.65						0.05		0.05		5.60		
2	Barranca del agua	286	965.97	0.01		0.01		3.49	0.01							3.50	3.50						0.01		0.01		3.49		
3	Capula	9,358	822.85	0.72	0.56	1.28		10.89	0.54	0.11						11.54	11.54	0.26	0.56		0.82	0.46		0.46		11.08			
4	El Fresnito	1,572	789.61	0.06		0.06		5.30	0.04							5.35	5.35	0.07			0.07	(0.02)				0.02	5.35		
5	Lagunillas	24,274	934.91	1.54	2.88	4.42	50.35	43.52	1.16	0.58				3.19		42.05	92.40	0.24	2.88		3.12	1.30		1.30		91.10			
6	Los Pirules	8,065	831.89	0.84	0.08	0.92		2.48	0.63	0.02						3.13	3.13	1.32	0.08		1.40	(0.48)			0.48	3.13			
7	Paredones	831	960.20	0.03		0.03		9.20	0.02							9.22	9.22					0.03		0.03		9.19			
8	Río Chiquito	121,903	913.84	12.54	0.37	12.91		12.17	3.73	0.07						15.97	15.97	6.33	0.37		6.70	6.21		6.21		9.76			
9	Río Grande	715,506	824.56	74.09	10.73	84.82	124.98	41.88	4.48	2.15		34.69	7.28			90.48	215.46	30.90	4.19		35.09	43.19	6.54	49.73		165.73			
10	San Andrés	1,969	973.41	0.07	0.01	0.08		4.70	0.05	0.00						4.76	4.76		0.01		0.01	0.07		0.07		4.69			
11	San Marcos	10,356	795.80	0.47	3.88	4.35		13.81	0.35	0.78						14.93	14.93	3.72	3.88		7.59	(3.25)			3.25	14.93			
12	Sta. Inés	759	799.28	0.03	0.05	0.08		7.39	0.02	0.01						7.42	7.42	0.03	0.05		0.08	(0.00)			0.00	7.42	7.42		
13	Santas Marías	578	1,007.89	0.02	0.11	0.13		8.29	0.02	0.02						8.32	8.32		0.11		0.11	0.02		0.02		8.30	8.30		
14	Teremendo	4,086	766.87	0.15		0.15	5.35	8.42	0.11							8.53	13.88	0.19			0.19	(0.04)			0.04	13.88	13.88		
15	Teremendo Jasso	1,949	807.26	0.07		0.07	4.31	7.54	0.05							7.59	11.90	0.01			0.01	0.06		0.06		11.84	11.84		
16	Tirio	366	928.57	0.01	0.07	0.08	9.47	3.13	0.01	0.01						3.16	12.62		0.07		0.07	0.01		0.01		12.61			
17	Tiristarán	2,041	816.28	0.07		0.07		4.28	0.06							4.34	4.34	0.05			0.05	0.03		0.03		4.31			
18	Umécuaro	1,269	980.71	0.05	0.70	0.75		9.34	0.03	0.14						9.51	9.51		0.70		0.70	0.05		0.05		9.47			
19	Tarimbaro_1	13,805	769.98	1.13	15.27	16.40	14.93	5.99	0.85	3.05						9.89	24.83	0.82	5.74		6.56	0.31	9.53	9.84		14.99			
20	Tarimbaro_2	18,574	741.47	1.54	34.14	35.67	14.99	11.26	1.15	6.83						19.24	34.23	0.45	10.31		10.76	1.05	23.83	24.91		9.32			
21	Charo_1	10,251	891.94	0.60	3.85	4.45		10.58	0.45	0.77						11.79	11.79	0.47	2.10		2.57	0.12	1.75	1.86		9.92			
22	Charo_3	16	1,008.09	0.00		0.00	9.19	2.62	0.00							2.62	11.81	0.05			0.05	(0.05)			0.05	11.81	11.81		
23	Charo_4	1,438	1,154.71	0.05	0.15	0.20	3.49	16.38	0.04	0.03						16.45	19.94	0.14	0.15		0.29	(0.09)			0.09	19.94	19.94		
24	Charo_5	65,532	847.56	6.08	25.58	31.65	165.73	26.84	4.56	5.12	40.00		9.48		9.48	76.51	242.24	2.86	9.82		12.67	3.22	15.76	18.98		223.26			
25	Charo_6	1,289	1,228.97	0.05		0.05		9.09	0.04							9.13	9.13					0.05		0.05		9.08	9.08		
26	Álvaro Obregón_1	4,673	708.43	0.26	19.54	19.80	223.26	4.36	0.20	3.91						8.46	231.73	0.59	5.73		6.33	(0.33)	13.81	13.81	0.33	217.92			
27	Álvaro Obregón_2	3,408	712.20	0.12	9.44	9.57	227.24	2.70	0.09	1.89						4.69	231.92	0.33	2.01		2.33	(0.20)	7.43	7.43	0.20	224.49	224.49		
28	Río Canacucho	21,333	923.56	1.55		1.55		27.44	1.16							28.60	28.60	0.40			0.40	1.15		1.15		27.45			
		1,046,826	886.50	102.21	127.39	229.61		318.68	19.90	25.48	40.00	34.69	16.76	3.19	9.48	442.84		49.25	48.74		97.99			131.62	4.46	231.91	74.85		
		BALANCE																										320.70	

Ap SUB = Aportación total de Agua Subterránea
 ASUB = Remanente de aguas subterráneas después de demanda
 Con AP = Volumen concesionado para Agua Potable
 Con AR = Volumen concesionado para Agua para Riego
 Ce = Coeficiente de escurrimiento
 Dem AP = Demanda de Agua Potable
 Dem AR = Demanda de Agua para Riego
 Dem T = Demanda Total
 DST = Componente de la demanda a ser cubierta con aguas superficiales

Esc AAR = Escurrimiento Aguas Arriba
 Esc CP = Escurrimiento en Cuenca Propia
 Esc NAT = Escurrimiento Natural
 Esc T = Escurrimiento Total
 ETR = Evapotranspiración de Embalses
 F Zde = Volumen que drena fuera de la Zde
 K = Coeficiente que depende del uso y tipo de suelo
 MAN = Manantiales
 PMA = Precipitación Media Anual

Pob RUR = Población Rural
 Pob URB = Población Urbana
 Pob TOT = Población Total
 Ret AP = Retorno de Agua Potable
 Ret AR = Retorno de Agua para Riego
 RESERV = Reserva de agua
 VMA = Volumen Medio Anual (Disponibilidad)

Esc CP	442.84
Ap ASUB	97.99
Reserva	9.48
OFERTA	550.30
DEMANDA	229.61
BALANCE	320.70

Tabla 7.7. Balance hídrico por microcuenca para la alternativa única del programa metropolitano de recarga – escenario actual (a 10 años)

		POBLACIÓN 2020	PRECIPITACIÓN	DEMANDA			ESCURRIMIENTOS										AGUA SUBTERRÁNEA				DEMANDA A. SUPERFICIAL			BALANCE						
No.	MICROCUCENCA	Pob TOT	PMA [mm]	Dem AP (1)	Dem AR (2)	Dem T	Esc AAR	Esc NAT	Ret AP	Ret AR	ART	MAN	ETR	REC	Esc CP	Esc T	REC	DMA F	Con AP (3)	Con AR (4)	Ap ASUB	(1) - (3)	(2) - (4)	DST	ASUB	VMA	Cuitzeo	F Zde		
				[hm³/año]																										
1	Atécuaro	1,339	915.23	0.05	-	0.05	-	5.61	0.04	-	-	-	-	1.54	4.11	4.11	40.00	0.10	-	-	-	0.05	-	0.05	-	4.06	-	-		
2	Capula	9,358	822.85	0.72	0.56	1.28	-	10.89	0.54	0.11	-	-	-	1.88	9.66	9.66			-	-	0.26	0.56	0.82	0.46	-	0.46	-	9.20	-	-
3	El Fresno	1,572	789.61	0.06	-	0.06	-	5.30	0.04	-	-	-	-	0.47	4.88	4.88			-	-	0.07	-	0.07	(0.02)	-	-	0.02	4.88	-	-
4	Lagunillas	24,274	934.91	1.54	2.88	4.42	44.15	43.52	1.16	0.58	-	-	-	7.24	34.81	78.96			-	-	0.24	2.88	3.12	1.30	-	1.30	-	77.66	-	-
5	Los Pirules	8,065	831.89	0.84	0.08	0.92	-	2.48	0.63	0.02	-	-	3.19	0.96	2.17	2.17			-	-	1.32	0.08	1.40	(0.48)	-	-	0.48	2.17	-	-
6	Rio Chiquito	121,903	913.84	12.54	0.37	12.91	-	12.17	9.41	0.07	-	-	-	1.10	20.55	20.55			-	-	6.33	0.37	6.70	6.21	-	6.21	-	14.33	-	-
7	Rio Grande	715,506	824.56	74.09	10.73	84.82	111.93	41.88	55.57	2.15	-	-	-	3.58	130.70	242.63			-	-	30.90	4.19	35.09	43.19	6.54	49.73	-	192.89	-	-
8	San Andrés	1,969	973.41	0.07	0.01	0.08	-	4.70	0.05	0.00	-	-	-	1.30	3.46	3.46			-	-	-	0.01	0.01	0.07	-	0.07	-	3.39	-	-
9	San Marcos	10,356	795.80	0.47	3.88	4.35	-	13.81	0.35	0.78	-	34.69	-	3.14	11.79	11.79			-	-	3.72	3.88	7.59	(3.25)	-	-	3.25	11.79	-	-
10	Santa Inés	759	799.28	0.03	0.05	0.08	-	7.39	0.02	0.01	-	-	-	1.52	5.90	5.90			-	-	0.03	0.05	0.08	(0.00)	-	-	0.00	5.90	5.90	-
11	Teremendo Jasso	1,949	807.26	0.07	-	0.07	4.31	7.54	0.05	-	-	-	-	2.13	5.47	9.78			-	-	0.01	-	0.01	0.06	-	0.06	-	9.71	-	9.71
12	Tirio	366	928.57	0.01	0.07	0.08	7.33	3.13	0.01	0.01	-	-	-	1.23	1.93	9.26			-	-	-	0.07	0.07	0.01	-	0.01	-	9.25	-	-
13	Tiristarán	2,041	816.28	0.07	-	0.07	-	4.28	0.06	-	-	-	-	-	4.34	4.34			-	-	0.05	-	0.05	0.03	-	0.03	-	4.31	-	-
14	Umécuaro	1,269	980.71	0.05	0.70	0.75	-	9.34	0.03	0.14	-	-	-	2.13	7.38	7.38			-	-	-	0.70	0.70	0.05	-	0.05	-	7.33	-	-
15	Tarimbaro_1	13,805	769.98	1.13	15.27	16.40	11.79	5.99	0.85	3.05	-	-	-	1.70	8.19	19.99			-	-	0.82	5.74	6.56	0.31	9.53	9.84	-	10.15	-	-
16	Tarimbaro_2	18,574	741.47	1.54	34.14	35.67	10.15	11.26	1.15	6.83	-	-	-	2.64	16.60	26.75			-	-	0.45	10.31	10.76	1.09	23.83	24.91	-	1.84	-	-
17	Charo_1	10,251	891.94	0.60	3.85	4.45	-	10.58	0.45	0.77	-	-	-	1.35	10.45	10.45			-	-	0.47	2.10	2.57	0.12	1.75	1.88	-	8.57	-	-
18	Charo_5	65,532	847.56	6.08	25.58	31.65	192.89	26.84	4.56	5.12	-	-	-	3.68	32.83	225.73			-	-	2.86	9.82	12.67	3.22	15.76	18.98	-	206.75	-	-
19	Álvaro Obregón_1	4,673	708.43	0.26	19.54	19.80	206.75	4.36	0.20	3.91	-	-	-	1.32	7.15	213.90	-	-	0.59	5.73	6.33	(0.33)	13.81	13.81	0.33	200.09	-	-		
20	Álvaro Obregón_2	3,408	712.20	0.12	9.44	9.57	201.93	2.70	0.09	1.89	-	-	-	1.09	3.60	205.52	-	-	0.33	2.01	2.33	(0.20)	7.43	7.43	0.20	198.09	198.09	-		
21	Barranca del agua	286	965.97	0.01	-	0.01	-	3.49	0.01	-	-	-	-	-	3.50	3.50	-	-	-	-	-	0.01	-	0.01	-	3.49	-	-		
22	Paredones	831	960.20	0.03	-	0.03	-	9.20	0.02	-	-	-	-	-	9.22	9.22	-	-	-	-	-	0.03	-	0.03	-	9.19	-	-		
23	Charo_3	16	1,008.09	0.00	-	0.00	9.19	2.62	0.00	-	-	-	-	-	2.62	11.81	-	-	0.05	-	0.05	(0.05)	-	-	0.05	11.81	-	11.81		
24	Charo_4	1,438	1,154.71	0.05	0.15	0.20	3.49	16.38	0.04	0.03	-	-	-	-	16.45	19.94	-	-	0.14	0.15	0.25	(0.09)	-	-	0.09	19.94	-	19.94		
25	Charo_6	1,289	1,228.97	0.05	-	0.05	-	9.09	0.04	-	-	-	-	-	9.13	9.13	-	-	-	-	-	0.05	-	0.05	-	9.08	-	9.08		
26	Santas Marías	578	1,007.89	0.02	0.11	0.13	-	8.29	0.02	0.02	-	-	-	-	8.32	8.32	-	-	-	0.11	0.11	0.02	-	0.02	-	8.30	-	8.30		
27	Teremendo	4,086	766.87	0.15	-	0.15	4.88	8.42	0.11	-	-	-	-	-	8.53	13.41	-	-	0.19	-	0.19	(0.04)	-	-	0.04	13.41	-	13.41		
28	Rio Canacucho	21,333	923.56	1.55	-	1.55	-	27.44	1.16	-	-	-	-	-	28.60	28.60	-	-	0.40	-	0.40	1.15	-	1.15	-	27.45	-	-		
		1,046,826	886.50	102.21	127.39	229.61	-	318.68	76.66	25.48	-	34.69	3.19	40.00	412.32	28.60	40.00	0.10	49.25	48.74	97.99	-	-	131.62	4.46	203.99	72.25			

PMA =Precipitación Media Anual
 Pob RUR = Población Rural
 Pob URB = Población Urbana
 Pob TOT = Población Total
 REC = Recarga
 Ret AP = Retorno de Agua Potable
 Ret AR = Retorno de Agua para Riego
 VMA = Volumen Medio Anual (Disponibilidad)

Esc CP	412.32
Ap ASUB	97.99
OFERTA	510.31
DEMANDA	229.61
BALANCE	280.70

8. Riesgo y seguridad hídrica



► 8.1 Definición y metodología de cálculo

La seguridad hídrica se entiende como la capacidad de una población para salvaguardar el acceso sostenible a cantidades adecuadas de agua de calidad aceptable para mantener los medios de vida, el bienestar humano y el desarrollo socioeconómico, para garantizar la protección contra la contaminación transmitida por el agua y los desastres relacionados con ella, y para preservar los ecosistemas en un clima de paz y estabilidad política [19].

A la fecha, se han propuesto y empleado diferentes metodologías para expresarla a través de índices, cuyo denominador en común, es considerar la disponibilidad y el acceso al agua (en cantidad y calidad adecuadas para la población y la industria), junto con un nivel aceptable de riesgo por los impactos de los extremos hidrometeorológicos de sequías e inundaciones.

Entre estas metodologías, Gain [11] propuso un índice global de seguridad hídrica (GWSI, por sus siglas en inglés) en concordancia con el objetivo 6 de desarrollo sostenible (garantizar el acceso al agua y saneamiento para todos).

Para fines de su aplicación en el contexto del presente estudio, el GWSI se ha adaptado incorporando un indicador de degradación ambiental. La **Tabla 8.1** contiene los criterios e indicadores para este Índice de Seguridad Hídrica Adaptado (ISHA) a la zona de estudio, cuya determinación se realiza por la agregación de 4 subíndices (correspondientes a cada uno de los criterios considerados); esto es:

$$ISHA = 0.45 ID + 0.20 IAS + 0.20 ISC + 0.15 IG$$

Donde:

ISHA = Índice de seguridad hídrica adaptado

ID = Índice de disponibilidad

IAS = Índice de accesibilidad a los servicios

ISC = Índice de seguridad y calidad

IG = Índice de gestión

Tabla 8.1. Indicadores del índice de seguridad hídrica adaptado (ISHA) a la zona de estudio

CRITERIO (PONDERACIÓN)		INDICADORES (PONDERACIÓN)		DEFINICIÓN Y FUENTES DE INFORMACIÓN
DISPONIBILIDAD (ID)	45%	Indicador de escasez (IE)	70%	Se define como la relación entre la extracción y la disponibilidad de agua, incluyendo el requerimiento de caudal ambiental. A mayor IE menor seguridad hídrica (SH). [CONAGUA]
		Indicador de sequía (IS)	15%	Se calcula con información del monitor de sequía y vulnerabilidad. A mayor IS menor SH. [CONAGUA, CENAPRED]
		Indicador de abatimiento (IA)	15%	Tasa de abatimiento anual de acuíferos en hm ³ /año. A mayor abatimiento menor SH. [CONAGUA]
ACCESIBILIDAD A SERVICIOS (IAS)	20%	Indicador de acceso al saneamiento (ISAN)	40%	Porcentaje de población con acceso al saneamiento básico. A mayor porcentaje mayor SH. [INEGI].
		Indicador de acceso al agua potable (IAP)	60%	Porcentaje de población con acceso al agua entubada en su domicilio. A mayor porcentaje mayor SH. [INEGI]
SEGURIDAD Y CALIDAD (ISC)	20%	Indicador de calidad del agua (ICA)	30%	A mayor el índice mayor SH. Red de monitoreo de calidad del agua. [CONAGUA]
		Indicador de frecuencia de inundaciones (IFI)	40%	Frecuencia de eventos de inundación. A mayor valor del índice mayor SH. [CENAPRED]
		Indicador de degradación ambiental (IDA)	30%	Cambio en el uso del suelo de bosque en la ZdE. [INEGI]
GESTIÓN (IG)	15%	Indicador de gobernanza (IGOB)	100%	A mayor índice mayor SH. [BANCO MUNDIAL]

Fuente: Elaboración propia con base en la metodología del GWSI [11] [8]

► 8.2 Índice de seguridad hídrica adaptado (ISHA)

Criterio 1: Disponibilidad

Indicador de escasez (IE)

El primer indicador de la disponibilidad denominado de escasez (IE) se define como la relación del total de agua extraída y del agua disponible, tomando en consideración los requerimientos de flujo ambiental. El agua disponible incluye al agua subterránea renovable, mientras que extracción contiene tanto la componente superficial como la componente subterránea renovable que se usa para riego agrícola y para abastecimiento de agua potable⁴⁷.

$$IE_{MC} = \frac{AE_{MC}}{AD_{MC} - CE_{MC}}$$

Donde:

IE_{MC} = Indicador de escasez por microcuenca

AE_{MC} = Agua extraída (Demanda)

AD_{MC} = Agua disponible (Renovable) = Esc CP (Esguerrimiento en Cuenca Propia) + Recarga Acuífero

CE_{MC} = Requerimiento de flujo ambiental (caudal ecológico)

Para fines de estimar la recarga por microcuenca se consideran los 5 acuíferos y sus volúmenes correspondientes ponderados por la superficie dentro de la ZdE; a saber:

<i>Acuífero</i>	<i>Área total</i>	<i>Recarga total</i>	<i>Área dentro ZdE</i>	<i>Recarga ZdE</i>	
Morelia- Queréndaro	3,509.8 km ²	286.6 hm ³	1,904.4 km ²	155.5 hm ³	
Huetamo	5,882.0 km ²	219.8 hm ³	266.1 km ²	9.9 hm ³	
Tacámbaro-Turicato	5,456.2 km ²	227.5 hm ³	60.0 km ²	2.5 hm ³	
Zacapu	1,228.1 km ²	189.5 hm ³	89.1 km ²	13.8 hm ³	
Lagunillas-Pátzcuaro	1,149.5 km ²	41.30 hm ³	201.6 km ²	7.2 hm ³	
Total				188.9 hm³	

La **Tabla 8.2**, a continuación, resume los cálculos del indicador y sus componentes a nivel de microcuenca. El IE global se totaliza en función de los indicadores individuales afectados por el área de la microcuenca.

⁴⁷ El uso de agua subterránea no renovable (la sobre-explotación) no se incluye dentro del agua extraída, sino que esta se incluye como parte del indicador de abatimiento de acuíferos.

Tabla 8.2. Indicador de escasez (IE) por microcuenca

MICROCUECA	AE [hm³/año]	AD [hm³/año]		CE [hm³/año]	IE	IE Ponderado
		Esc CP	Recarga			
Atécuaro	0.05	5.65	3.55	0.56	0.006	0.004
Capula	1.28	11.54	8.00	1.15	0.070	0.049
El Fresno	0.06	5.35	3.74	0.53	0.007	0.005
Lagunillas	4.42	42.05	24.82	4.21	0.071	0.049
Los Pirules	0.92	3.13	1.52	0.31	0.212	0.149
Rio Chiquito	12.91	21.65	7.15	2.16	0.485	0.339
Rio Grande	84.82	134.28	27.26	13.43	0.573	0.401
San Andrés	0.08	4.76	2.55	0.48	0.012	0.009
San Marcos	4.35	14.93	10.79	1.49	0.179	0.126
Santa Inés	0.08	7.42	5.46	0.74	0.006	0.004
Teremendo Jasso	0.07	7.59	5.92	0.76	0.006	0.004
Tirio	0.08	3.16	1.92	0.32	0.016	0.012
Tiristarán	0.07	4.34	3.26	0.43	0.010	0.007
Umécuaro	0.75	9.51	4.68	0.95	0.056	0.039
Tarimbaro_1	16.40	9.89	4.60	0.99	1.214	0.850
Tarimbaro_2	35.67	19.24	9.14	1.92	1.348	0.944
Charo_1	4.45	11.79	6.84	1.18	0.255	0.178
Charo_5	31.65	36.51	18.48	3.65	0.617	0.432
Álvaro Obregón_1	19.80	8.46	3.58	0.85	1.768	1.238
Álvaro Obregón_2	9.57	4.69	2.24	0.47	1.482	1.037
Barranca del agua	0.01	3.50	1.06	0.35	0.002	0.002
Paredones (Ichaqueo)	0.03	9.22	2.77	0.92	0.003	0.002
Charo_3	0.00	2.62	0.75	0.26	0.000	0.000
Charo_4	0.20	16.45	3.59	1.64	0.011	0.008
Charo_6	0.05	9.13	1.77	0.91	0.005	0.003
Santas Marías	0.13	8.32	2.50	0.83	0.013	0.009
Teremendo	0.15	8.53	13.75	0.85	0.007	0.005
Rio Canacucho	1.55	28.60	7.24	2.86	0.047	0.033
	229.61	452.32	188.94	45.23	0.385	0.270

Fuente: Elaboración propia

Donde:

IE_{MC} = Indicador de escasez por microcuencaAE_{MC} = Agua extraída (Demanda)AD_{MC} = Agua disponible (Renovable) = Esc CP (Esguerrimiento en Cuenca Propia) + Recarga AcuíferoCE_{MC} = Requerimiento de flujo ambiental (caudal ecológico)

Esc CP, Esguerrimiento cuenca propia

Indicador de sequía (IS)

El segundo indicador de la disponibilidad corresponde a la sequía hidrológica, en función de su frecuencia y la frecuencia promedio de un periodo. De acuerdo con Gain [11] su estimación se realizaría a partir del flujo medio de esguerrimiento mensual que es excedido el 80% del tiempo (flujo mensual percentil 80 – Q80); no obstante, para fines del presente estudio se aplicará la metodología propuesta por Ortega-Gaucín [17], que considera el cálculo de este indicador a partir de 3 etapas:

- Análisis del peligro por sequía, con base en los registros históricos del Monitor de Sequía en México (MSM)
- Análisis de vulnerabilidad ante la sequía, tomando en consideración la información del atlas nacional de riesgos de CENAPRED.
- Análisis de riesgo por sequía, mediante la combinación de los indicadores de peligro y vulnerabilidad

Análisis del peligro de sequía

El peligro por sequía se determina con base en los registros históricos del MSM (enero de 2014 a junio de 2024) para cada categoría de sequía y se determina por la probabilidad de ocurrencia de la sequía (frecuencia relativa) para cada uno de los municipios de la ZdE; esto es:

$$P(A)_{MUN} = \frac{AS_{MUN}}{NS_{MUN}}$$

Donde:

P_{MUN} = Probabilidad de ocurrencia de la sequía por municipio

AS_{MUN} = Número de quincenas con algún nivel de sequía por municipio

NS_{MUN} = Número total de registros de sequía en el periodo enero de 2014 a junio de 2024 por municipio

Tabla 8.3. Probabilidad de ocurrencia de la sequía a nivel municipal (grado de peligro por sequía)

MUNICIPIO	INTENSIDAD DE SEQUÍA					FRECUENCIA		
	D0	D1	D2	D3	D4	A	N	P
Acuitzio	85	48	23	23	-	179	249	0.719
Álvaro Obregón	87	20	28	22	-	157	249	0.631
Coeneo	70	63	15	35	-	183	249	0.735
Copándaro	93	26	8	31	-	158	249	0.635
Cuitzeo	90	16	19	25	-	150	249	0.602
Charo	85	46	33	23	-	187	249	0.751
Chucándiro	96	31	9	31	-	167	249	0.671
Huaniqueo	90	44	13	35	-	182	249	0.731
Huiramba	93	43	12	23	-	171	249	0.687
Indaparapeo	76	43	37	23	-	179	249	0.719
Laquillas	86	33	18	23	-	160	249	0.643
Madero	81	51	28	23	-	183	249	0.735
Morelia	82	51	22	31	-	186	249	0.747
Pátzcuaro	91	58	17	24	-	190	249	0.763
Queréndaro	61	46	33	31	-	171	249	0.687
Quiroga	96	38	6	31	-	171	249	0.687
Tacámbaro	84	50	35	23	-	192	249	0.771
Tarímbaro	90	30	14	31	-	165	249	0.663
Tzintzuntzan	102	38	10	27	-	177	249	0.711
Tzitzio	83	46	39	23	-	191	249	0.767

Fuente: Elaboración propia con base en MSM, Conagua [18]

La estimación del peligro de sequía a nivel de microcuenca se realiza con base en la probabilidad de ocurrencia a nivel municipal ponderada por el área dentro de la microcuenca correspondiente. El resumen de estos cálculos se presenta al final con los otros dos componentes de este indicador IS (**Tabla 8.4**).

Análisis de vulnerabilidad ante la sequía

El grado de vulnerabilidad ante la sequía se determina a partir de la información del atlas nacional de riesgos de CENAPRED y tomando como base las categorías para clasificar el grado de vulnerabilidad ante la sequía propuestas por Ortega-Gausin [17].

Grado de vulnerabilidad por sequía

Muy Baja
Baja

Valor del percentil

$0 < V \leq 20$
 $20 < V \leq 40$

Media	$40 < V \leq 60$
Alta	$60 < V \leq 80$
Muy Alta	$80 < V \leq 100$

El resumen de los cálculos de vulnerabilidad a nivel de microcuenca se presenta al final con los otros dos componentes de este indicador IS (**Tabla 8.4**).

Análisis del riesgo por sequía

El grado de riesgo por sequía se determina como una combinación del peligro y la vulnerabilidad; es decir, el riesgo es la probabilidad de que se produzcan daños como consecuencia de una sequía y es directamente proporcional al peligro y a la vulnerabilidad del sistema analizado.

$$RS_{MC}(IS) = PS_{MC} \times VS_{MC}$$

Donde:

RS_{MC} = Riesgo por sequía (indicador de sequía) a nivel de microcuenca

PS_{MC} = Probabilidad de ocurrencia de la sequía por microcuenca

VS_{MC} = Grado de vulnerabilidad ante la sequía por microcuenca

La **Tabla 8.4** a continuación integra los cálculos de las diferentes componentes del indicador de sequía (IS) para cada microcuenca. El IS global se totaliza en función de los indicadores individuales afectados por el área de la microcuenca.

Tabla 8.4. Indicador de sequía por microcuenca

MICROCUECA	PELIGRO (P)	VULNERABILIDAD (V)		IS	IS Ponderado
		Grado	Probabilidad		
Atécuaro	0.747	BAJA	0.40	0.299	0.045
Capula	0.732	MEDIA	0.60	0.439	0.066
El Fresnito	0.746	BAJA	0.40	0.299	0.045
Lagunillas	0.728	MEDIA	0.60	0.437	0.066
Los Pirules	0.747	BAJA	0.40	0.299	0.045
Rio Chiquito	0.747	BAJA	0.40	0.299	0.045
Rio Grande	0.742	BAJA	0.40	0.297	0.045
San Andrés	0.734	MEDIA	0.60	0.440	0.066
San Marcos	0.714	MEDIA	0.60	0.429	0.064
Santa Inés	0.707	ALTA	0.80	0.566	0.085
Teremendo Jasso	0.734	MEDIA	0.60	0.440	0.066
Tirio	0.747	BAJA	0.40	0.299	0.045
Tiristarán	0.746	BAJA	0.40	0.299	0.045
Umécuaro	0.743	BAJA	0.40	0.297	0.045
Tarimbaro_1	0.662	ALTA	0.80	0.530	0.079
Tarimbaro_2	0.653	ALTA	0.80	0.523	0.078
Charo_1	0.750	MEDIA	0.60	0.450	0.068
Charo_5	0.716	ALTA	0.80	0.573	0.086
Álvaro Obregón_1	0.636	MEDIA	0.60	0.382	0.057
Álvaro Obregón_2	0.633	MEDIA	0.60	0.380	0.057
Barranca del agua	0.749	MEDIA	0.60	0.449	0.067
Paredones (Ichaqueo)	0.756	ALTA	0.80	0.605	0.091
Charo_3	0.762	MUY ALTA	1.00	0.762	0.114
Charo_4	0.755	ALTA	0.80	0.604	0.091
Charo_6	0.744	MUY ALTA	1.00	0.744	0.112
Santas Marías	0.741	MEDIA	0.60	0.445	0.067
Teremendo	0.731	MEDIA	0.60	0.439	0.066

MICROCUECNA	PELIGRO (P)	VULNERABILIDAD (V)		IS	IS Ponderado
		Grado	Probabilidad		
Rio Canacucho	0.709	ALTA	0.80	0.567	0.085
				0.452	0.068

Fuente: Elaboración propia

Indicador de abatimiento (IA)

El tercer indicador de la disponibilidad corresponde a la tasa de abatimiento medio de las aguas subterráneas, misma que ocurre cuando la extracción de agua (VEAS) es mayor a la recarga natural (más los retornos). Con base en los datos de la disponibilidad media anual publicados oficialmente para los 5 acuíferos en la ZdE [10], el acuífero con mayor abatimiento es el de Morelia-Queréndaro⁴⁸.

El déficit registrado entre 2007 y 2023 para el acuífero Morelia-Queréndaro es de 2.29 hm³ por año, que al dividirse entre el abatimiento total (36.64 hm³) resulta en un valor estandarizado (IA) de 0.0625, y un IA ponderado de 0.0094. Estos valores se aplicarán en aquellas microcuencas que correspondan con el acuífero Morelia-Queréndaro y los resultados se presentan al final en conjunto con la integración de todo el ISHA.

Cálculo del índice de disponibilidad (ID)

Los indicadores de escasez (IE), sequía (IS) y abatimiento (IA) tienen carácter negativo, mientras que el concepto de disponibilidad es positivo; en ese sentido, su agregación se realiza a partir de la siguiente expresión, en tanto que los resultados a nivel de microcuenca se resumen en la **Tabla 8.5**.

$$ID_{MC} = 1 - (IE_{MC,p} + IS_{MC,p} + AA_{MC,p})$$

Donde:

ID_{MC} = Índice de disponibilidad por microcuenca

IE_{MC,p} = Indicador de escasez por microcuenca ponderado

IS_{MC,p} = Indicador de sequía por microcuenca ponderado

IA_{MC,p} = Indicador de abatimiento por microcuenca ponderado

El ID global se totaliza en función de los indicadores individuales afectados por el área de la microcuenca correspondiente, resultando en un valor de 0.729 o de 0.328 ya ponderado por el peso del criterio dentro del ISHA.

Tabla 8.5. Índice de disponibilidad (ID) (criterio 1 del ISHA)

MICROCUECNA	IE ponderado	IS ponderado	IA ponderado	ID	ID Ponderado
Atécuaro	0.004	0.045	0.009	0.942	0.42
Capula	0.049	0.066	0.009	0.876	0.39
El Fresno	0.005	0.045	0.009	0.941	0.42
Lagunillas	0.049	0.066	0.009	0.876	0.39

⁴⁸ El otro acuífero con abatimiento es Lagunillas-Pátzcuaro; no obstante, se considera despreciable tomando en consideración que este ocupa solamente el 8% de la superficie de la ZdE y que su volumen de sobre-explotación es tan solo de 2.47 hm³ anuales a comparación de los 39.90 hm³ del acuífero Morelia-Queréndaro, que ocupa el 75.5% de la ZdE..

MICROCUECNA	IE ponderado	IS ponderado	IA ponderado	ID	ID Ponderado
Los Pirules	0.149	0.045	0.009	0.797	0.36
Rio Chiquito	0.339	0.045	0.009	0.607	0.27
Rio Grande	0.401	0.045	0.009	0.545	0.25
San Andrés	0.009	0.066	0.009	0.916	0.41
San Marcos	0.126	0.064	0.009	0.801	0.36
Santa Inés	0.004	0.085	0.009	0.901	0.41
Teremendo Jasso	0.004	0.066	0.009	0.921	0.41
Tirio	0.012	0.045	0.009	0.934	0.42
Tiristarán	0.007	0.045	0.009	0.939	0.42
Umécuaro	0.039	0.045	0.009	0.907	0.41
Tarimbaro_1	0.700	0.079	0.009	0.211	0.10
Tarimbaro_2	0.700	0.078	0.009	0.212	0.10
Charo_1	0.178	0.068	0.009	0.745	0.34
Charo_5	0.432	0.086	0.009	0.473	0.21
Álvaro Obregón_1	0.700	0.057	0.009	0.233	0.11
Álvaro Obregón_2	0.700	0.057	0.009	0.234	0.11
Barranca del agua	0.002	0.067	-	0.931	0.42
Paredones (Ichaqueo)	0.002	0.091	-	0.907	0.41
Charo_3	0.000	0.114	-	0.886	0.40
Charo_4	0.008	0.091	-	0.902	0.41
Charo_6	0.003	0.112	-	0.885	0.40
Santas Marías	0.009	0.067	-	0.924	0.42
Teremendo	0.005	0.066	-	0.929	0.42
Rio Canacucho	0.033	0.085	-	0.882	0.40
				0.729	0.328

Fuente: Elaboración propia

Donde:

ID = Índice de disponibilidad

IE_p = Indicador de escasez ponderado

IS = Indicador de sequía ponderado

IA = Indicador de abatimiento ponderado

Criterio 2: Accesibilidad a servicios (IAS)

Indicador de acceso al saneamiento (ISAN)

El indicador para medir el acceso a los servicios de saneamiento (ya ponderado por su peso dentro del criterio de accesibilidad a servicios) se integra por la siguiente expresión, en tanto que los resultados se resumen en la **Tabla 8.6**:

$$ISAN_{MC} = 0.4 Cob ALC_{MC}$$

Donde:

ISAN_{MC} = Indicador de acceso a servicios de saneamiento por microcuenca

Cob ALC_{MC} = Cobertura de alcantarillado por microcuenca

Indicador de acceso al agua potable (IAP)

El indicador para medir el acceso a los servicios de agua potable (ya ponderado por su peso dentro del criterio de accesibilidad a servicios) se integra por la siguiente expresión, en tanto que los resultados se resumen en la **Tabla 8.6**:

$$IAP_{MC} = 0.6 \text{ Cob } AP_{MC}$$

Donde:

IAP_{MC} = Indicador de acceso a servicios de agua potable por microcuenca

$\text{Cob } AP_{MC}$ = cobertura de agua potable por microcuenca

Cálculo del índice de accesibilidad a servicios (IAS)

El índice de accesibilidad a servicios a nivel de microcuenca, correspondiente con el segundo criterio del ISHA, se determina por la agregación de los dos indicadores de acceso a servicios de agua (IAP) y saneamiento (ISAN); esto es:

$$IAS_{MC} = ISAN_{MC} + IAP_{MC}$$

Donde:

IAS_{MC} = Índice de accesibilidad a servicios por microcuenca

$ISAN_{MC}$ = Indicador de acceso a servicios de saneamiento por microcuenca

IAP_{MC} = Indicador de acceso a servicios de agua potable por microcuenca

Los resultados de los cálculos por microcuenca se presentan en la Tabla 8.6 a continuación.

El IAS global se totaliza en función de los indicadores individuales afectados por el área de la microcuenca correspondiente, resultando en un valor de 0.721 o de 0.144 ya ponderado por el peso del criterio dentro del ISHA.

Tabla 8.6. Índice de accesibilidad a servicios (IAS) (criterio 2 del ISHA)

MICROCUECA	ISAN	IAP	IAS	IAS Ponderado
Atécuaro	0.464	0.295	0.759	0.152
Capula	0.373	0.258	0.631	0.126
El Fresno	0.599	0.351	0.950	0.190
Lagunillas	0.449	0.292	0.741	0.148
Los Pirules	0.417	0.369	0.786	0.157
Rio Chiquito	0.465	0.251	0.716	0.143
Rio Grande	0.396	0.308	0.704	0.141
San Andrés	0.591	0.339	0.930	0.186
San Marcos	0.414	0.222	0.636	0.127
Santa Inés	0.478	0.307	0.785	0.157
Teremendo Jasso	0.595	0.354	0.949	0.190
Tirio	0.487	0.337	0.824	0.165
Tiristarán	0.494	0.307	0.802	0.160
Umécuaro	0.483	0.294	0.777	0.155
Tarimbaro_1	0.397	0.253	0.650	0.130
Tarimbaro_2	0.367	0.265	0.632	0.126
Charo_1	0.359	0.278	0.637	0.127
Charo_5	0.480	0.314	0.794	0.159
Álvaro Obregón_1	0.313	0.178	0.490	0.098
Álvaro Obregón_2	0.493	0.305	0.798	0.160
Barranca del agua	0.360	0.203	0.563	0.113

MICROCUECNA	ISAN	IAP	IAS	IAS Ponderado
Paredones (Ichaqueo)	0.387	0.195	0.581	0.116
Charo_3	0.300	0.067	0.367	0.073
Charo_4	0.308	0.202	0.510	0.102
Charo_6	0.440	0.275	0.715	0.143
Santas Marías	0.326	0.215	0.541	0.108
Teremendo	0.596	0.319	0.915	0.183
Rio Canacucho	0.534	0.277	0.811	0.162
			0.721	0.144

Fuente: Elaboración propia con base en ITER (INEGI) [16]

Criterio 3: Seguridad y calidad

Indicador de calidad del agua (ICA)

El indicador para medir la calidad del agua en la ZdE se construye con base en los registros de la red de monitoreo de la Conagua, particularmente en relación con los siguientes parámetros:

- Oxígeno disuelto (OD) [mg/L]
- Potencial de Hidrógeno (pH) [adimensional]
- Nitrógeno (N) [mg/L]
- Fósforo (P) [mg/L]
- Conductividad eléctrica (CE) [$\mu\text{S}/\text{cm}$]

La **Tabla 8.7** muestra los registros promedio de estos parámetros en el periodo 2012-2022 para las diferentes estaciones (25) de la red de monitoreo de calidad del agua de la Conagua que se encuentran dentro de la ZdE.

Tabla 8.7. Parámetros promedio de calidad del agua 2012-2022

ESTACIÓN	TIPO / SITIO	CUENCA / ACUÍFERO	MICROCUECNA	PARÁMETROS DE CALIDAD DEL AGUA				
				OD	P	N	CE	pH
DLMIC1711	Presa Cointzio	Lago de Cuitzeo	Lagunillas		0.93	4.81		
DLMIC1712	Presa Cointzio	Lago de Cuitzeo	Lagunillas		0.76	4.05		
DLMIC1713	Presa Cointzio	Lago de Cuitzeo	Lagunillas		0.75	4.19		
DLMIC1714	Presa Cointzio	Lago de Cuitzeo	Lagunillas		0.72	5.09		
DLMIC1715	Rio Grande de Morelia	Lago de Cuitzeo	Rio Grande	7.01	0.70	6.24	163.83	7.54
DLMIC1716	La Mintzita	Lago de Cuitzeo	Rio Grande	6.62	0.81	3.50	188.00	7.07
DLMIC1717	La Mintzita	Lago de Cuitzeo	Rio Grande	4.14	0.92	6.72	189.18	7.07
DLMIC1718	La Mintzita	Lago de Cuitzeo	Rio Grande		0.75	3.14	196.00	7.26
DLMIC1719	Rio Grande de Morelia	Lago de Cuitzeo	Rio Grande	4.00	0.92	12.76	1,323.62	7.50
DLMIC1720	Rio Grande de Morelia	Lago de Cuitzeo	Rio Grande	5.64	0.74	7.55	182.97	7.51
DLMIC1721	Rio Grande de Morelia	Lago de Cuitzeo	Rio Grande	4.10	1.07	14.84	1,715.43	7.62
DLMIC1723	Rio Grande de Morelia	Lago de Cuitzeo	Rio Grande	2.91	1.54	12.64	785.21	7.22
DLMIC1725	Pozo	Morelia-Queréndaro	Rio Grande	2.11	0.43	4.22	578.36	6.68
DLMIC1726	Pozo	Morelia-Queréndaro	Rio Grande	4.81	0.81	1.89	258.58	7.83

ESTACIÓN	TIPO / SITIO	CUENCA / ACUÍFERO	MICROCUENCA	PARÁMETROS DE CALIDAD DEL AGUA				
				OD	P	N	CE	pH
DLMIC1727	Pozo	Morelia-Queréndaro	Río Grande		0.39	1.86	813.40	7.02
DLMIC1728	Pozo	Morelia-Queréndaro	San Marcos	6.38	0.49	2.69	516.25	7.60
DLMIC1729	Río Grande De Morelia	Lago de Cuitzeo	Río Grande	1.88	2.04	15.33	651.38	7.05
DLMIC1730	Río Grande De Morelia	Lago de Cuitzeo	Río Grande	2.21	2.13	15.00	623.72	7.08
DLMIC1731	Río Grande De Morelia	Lago de Cuitzeo	Río Grande	1.81	2.01	14.27	614.26	7.18
DLMIC1733	Río Grande De Morelia	Lago de Cuitzeo	Álvaro Obregón_1	3.14	1.76	12.74	653.71	7.29
DLMIC1781	Presa Umécuaro	Lago de Cuitzeo	Umécuaro		0.64	3.58		
DLMIC1782	Presa Umécuaro	Lago de Cuitzeo	Umécuaro		0.68	3.35		
DLMIC1784	Presa Cointzio	Lago de Cuitzeo	Lagunillas	5.04	0.90	7.41	182.03	7.29
DLMIC5347	Pozo	Morelia-Queréndaro	Río Chiquito	5.30	0.57	1.75	642.17	7.57
DLMIC6152	Pozo	Morelia-Queréndaro	Río Grande		0.05	0.98	516.00	7.10
			PROMEDIO	4.19	0.94	6.82	568.11	7.29

Fuente: Elaboración propia con base en Conagua [9]

Donde:

Oxígeno disuelto (OD) [mg/L]

Potencial de Hidrógeno (pH) [adimensional]

Nitrógeno (N) [mg/L]

Fósforo (P) [mg/L]

Conductividad eléctrica (CE) [$\mu\text{S}/\text{cm}$]

Considerando que las unidades de los cinco parámetros son diferentes resulta necesario su normalización. Una vez normalizados se les considera ya de igual peso, por lo que los resultados se suman y se dividen entre cinco para obtener un indicador global de calidad del agua con rango de 0 a 100.

Esta normalización consiste en convertir el dato crudo a una escala libre de proximidad a valores objetivo; es decir, los valores de cada parámetro se calculan de tal manera que un valor de proximidad de 100 corresponde a alcanzar el objetivo (o dentro del rango objetivo, en el caso del pH) y los valores cercanos a cero indican una distancia creciente del objetivo (o rango de objetivo para el pH). Los valores objetivo para cada parámetro se presentan en la **Tabla 8.8**.

Tabla 8.8. Valores objetivos de los parámetros de calidad del agua [20]

PARÁMETRO	UNIDAD	VALOR OBJETIVO (t)
OD	mg L-1	>5
pH	-	6.5 - 9
CE	500 μScm^{-1}	≤ 500
N	mg L-1	≤ 1
P	mg L-1	≤ 0.05

Fuente: Elaboración propia con base en la metodología de del GWSI [11]

Las ecuaciones de normalización son:

$$OD_{ij}^{PTT} = \{100, OD_{ij} \geq t^{OD} 100 - 100 \times \frac{|t^{OD} - OD_{ij}|}{t^{OD} - OD_{min}}, OD_{ij} < t^{OD}$$

$$CE_{ij}^{PTT} = \{100, CE_{ij}^w \leq t^{CE} 100 - 100 \times \frac{|t^{CE} - CE_{ij}^w|}{CE_{max}^w - t^{CE}}, CE_{ij}^w > t^{CE}$$

$$pH_{ij}^{PTT} = \{100, t_1^{PH} \leq PH_{ij} \leq t_2^{PH} 100 - 100 \times \frac{t_1^{PH} - PH_{ij}}{t_1^{PH} - PH_{min}}, PH_{ij} < t_1^{PH} 100 - 100 \times \frac{PH_{ij} - t_2^{PH}}{PH_{max} - t_2^{PH}}, PH_{ij} > t_2^{PH}$$

$$P_{ij}^{PTT} = \{100, P_{ij}^w \leq t^P 100 - 100 \times \frac{|t^P - P_{ij}^w|}{P_{ijmax}^w - t^P}, P_{ij}^w > t^P$$

$$N_{ij}^{PTT} = \{100, N_{ij}^w \leq t^N 100 - 100 \times \frac{|t^N - N_{ij}^w|}{N_{max}^w - t^N}, N_{ij}^w > t^N$$

Donde:

PTT = valor de estación de proximidad al objetivo

i, j = denotan el sitio y la estación, respectivamente

max = valor máximo observado

min = valor mínimo observado

t = valor objetivo de un parámetro

OD, CE, pH, P y N = Oxígeno disuelto, Conductividad eléctrica, Potencial de hidrógeno, Fósforo y Nitrógeno totales

La **Tabla 8.9** a continuación resume los cálculos de normalización de los diferentes parámetros y la integración del indicador global de calidad del agua.

Tabla 8.9. Indicador de calidad del agua promedio

PARÁMETRO (X)	VALOR PROMEDIO (X _{ij})	VALOR OBJETIVO (t)	VALOR EXTREMO (Min/Max)	VALOR DE PROXIMIDAD (PTT)
OD	4.19	5	1.81 (Min)	74.74
CE	568.11	500	1,715.43 (Max)	94.40
pH	7.29	7	7.83 (Max)	65.19
P	0.94	0.04	2.13 (Max)	56.96
N	6.82	0.90	15.33 (Max)	58.96
ICA				70.05

Fuente: Elaboración propia

En términos de microcuencas, se tiene lo siguiente (ver **Tabla 8.10**):

- Con base en el número de estaciones y el registro histórico de los diferentes parámetros, es posible realizar el cálculo para la microcuenca de río Grande, de tal forma que su indicador particular de calidad del agua (ICA) resulta ser de 66.60 (0.666 ya estandarizado), muy similar al que se obtiene para toda la ZdE; en tanto que sus valores de proximidad (PTT) para cada parámetro son: 66.67 para el OD, 92.87 para el CE, 69.97 para el pH, 53.12 para el P, y 50.38 para el N.
- Para las microcuencas Álvaro Obregón_1, Lagunillas, Río Chiquito, San Marcos y Umécuaro (que también cuentan con estaciones de monitoreo de calidad del agua, pero que dado la cantidad de registros históricos para cada parámetro no es posible calcular su indicador normalizado) se aplicará el valor promedio obtenido de 70.05 (0.701 estandarizado).
- En el caso de aquellas microcuencas para las que no se tiene información disponible resulta más adecuado el aplicar también el valor promedio obtenido (70.05) sobre suponer que tienen una buena calidad del agua (100).
- El ICA global se totaliza en función de los indicadores individuales afectados por el área de la microcuenca, resultando en un valor de 0.696, o de 0.209 (ya ponderado por su peso dentro del criterio de seguridad y calidad).

Tabla 8.10. indicador de calidad del agua (ICA) por microcuenca

MICROCUECA	ICA	ICA Ponderado
Atécuaro	0.701	0.210
Capula	0.701	0.210
El Fresno	0.701	0.210
Lagunillas	0.701	0.210
Los Pirules	0.701	0.210
Rio Chiquito	0.701	0.210
Rio Grande	0.666	0.200
San Andrés	0.701	0.210
San Marcos	0.701	0.210
Santa Inés	0.701	0.210
Teremendo Jasso	0.701	0.210
Tirio	0.701	0.210
Tiristarán	0.701	0.210
Umécuaro	0.701	0.210
Tarimbaro_1	0.701	0.210
Tarimbaro_2	0.701	0.210
Charo_1	0.701	0.210
Charo_5	0.701	0.210
Álvaro Obregón_1	0.701	0.210
Álvaro Obregón_2	0.701	0.210
Barranca del agua	0.701	0.210
Paredones (Ichaqueo)	0.701	0.210
Charo_3	0.701	0.210
Charo_4	0.701	0.210
Charo_6	0.701	0.210
Santas Marías	0.701	0.210
Teremendo	0.701	0.210
Rio Canacucho	0.701	0.210
	0.696	0.209

Fuente: Elaboración propia

Indicador de frecuencia de inundaciones (IFI)

Las inundaciones y las lluvias extremas que las originan incrementan los riesgos para la población, sus bienes y los ecosistemas. De acuerdo con la metodología de Gain [11], este indicador se determina por la frecuencia de eventos de inundación en un periodo dado. Utilizando la información disponible sobre declaratorias de desastre, emergencia y contingencia climatológica por fenómenos hidrometeorológicos publicada por CENAPRED para el periodo 2000-2023 [5], es posible determinar la frecuencia relativa de ocurrencia de inundaciones para cada uno de los municipios de la ZdE (ver **Tabla 8.11**); esto es:

$$F(A)_{MUN} = \frac{A_{MUN}}{N_{MUN}}$$

Donde:

 F_{MUN} = Frecuencia de ocurrencia de inundaciones A_{MUN} = Número de declaratorias de inundaciones por año⁴⁹

⁴⁹ Se incluyen los tres tipos de declaratorias: desastre, emergencia y contingencia climatológica para los fenómenos: inundación y lluvias, toda vez que estas últimas incluyen dentro de su descripción lluvias severas, extremas, atípicas, torrenciales que en la mayoría de los casos se acompañan de inundaciones.

N_{MUN} = Número total años en el periodo 2000 a 2023

Tabla 8.11. Frecuencia de ocurrencia de inundaciones a nivel municipal

MUNICIPIO	DECLARATORIAS		FRECUENCIA		
	INUNDACIÓN	LLUVIA	A	N	P
Acuitzio		1	1	24	0.042
Álvaro Obregón		4	4	24	0.167
Coeneo	1	2	3	24	0.125
Copándaro		1	1	24	0.042
Cuitzeo			0	24	-
Charo		2	2	24	0.083
Chucándiro			0	24	-
Huaniqueo	1	4	5	24	0.208
Huiramba		1	1	24	0.042
Indaparapeo		2	2	24	0.083
Lagunillas			0	24	-
Madero		2	2	24	0.083
Morelia	2	8	10	24	0.417
Pátzcuaro		2	2	24	0.083
Queréndaro		3	3	24	0.125
Quiroga			0	24	-
Tacámbaro		3	3	24	0.125
Tarímbaro		4	4	24	0.167
Tzintzuntzan		1	1	24	0.042
Tzitzio			0	24	-
	4	40			

Fuente: Elaboración propia con base en CENAPRED [5] [6]

El indicador de frecuencia de inundaciones a nivel de microcuenca se realiza con base en la frecuencia relativa de ocurrencia a nivel municipal ponderada por el área dentro de la microcuenca correspondiente (ver **Tabla 8.12**). El IFI global, a su vez, se totaliza por los indicadores individuales afectados por el área de la microcuenca, resultando en un valor de 0.242, o de 0.097 (ya ponderado por su peso dentro del criterio de seguridad y calidad).

Tabla 8.12. Indicador de frecuencia de inundaciones (IFI) por microcuenca

MICROCUECA	IFI	IFI Ponderado
Atécuaro	0.417	0.167
Capula	0.338	0.135
El Fresno	0.417	0.167
Lagunillas	0.239	0.096
Los Pirules	0.416	0.166
Rio Chiquito	0.417	0.167
Rio Grande	0.398	0.159
San Andrés	0.218	0.087
San Marcos	0.321	0.128
Santa Inés	0.202	0.081
Teremendo Jasso	0.329	0.132
Tirio	0.417	0.167

MICROCUCENCA	IFI	IFI Ponderado
Tiristarán	0.417	0.167
Umécuaro	0.361	0.145
Tarimbaro_1	0.167	0.067
Tarimbaro_2	0.159	0.064
Charo_1	0.108	0.043
Charo_5	0.109	0.044
Álvaro Obregón_1	0.162	0.065
Álvaro Obregón_2	0.162	0.065
Barranca del agua	0.257	0.103
Paredones (Ichaqueo)	0.209	0.083
Charo_3	0.023	0.009
Charo_4	0.064	0.025
Charo_6	0.067	0.027
Santas Marías	0.259	0.104
Teremendo	0.283	0.113
Rio Canacucho	0.057	0.023
	0.242	0.097

Fuente: Elaboración propia

Indicador de degradación ambiental (IDA)

La degradación ambiental vinculado con las variaciones (negativas) que a través del tiempo ocurren en la superficie de las diversas categorías de bosques en la ZdE, a su vez pueden estar relacionadas con cambios hacia otros usos de suelo que impliquen, ya sea, una mayor utilización de recursos hídricos y/o un impacto negativo sobre los coeficientes de escurrimiento y de infiltración; y por tanto tiene un impacto sobre la seguridad hídrica.

La determinación del indicador de degradación ambiental se realiza, entonces, con base en la información disponible sobre uso de suelo y vegetación del INEGI (escala 1:250,000), considerando la variación de superficie de los distintos tipos bosque entre los años 2005 (serie III) y 2021 (serie VII) para cada una de las microcuencas. El indicador normalizado por microcuenca se calcula con base en la siguiente expresión:

$$IDA_{MC} = \frac{\Delta SupB_{MC}}{A_{MC}}$$

Donde:

IDA_{MC} = Indicador de degradación ambiental por microcuenca

$\Delta SupB_{MC}$ = Variación negativa en la superficie de bosque (deforestación) por microcuenca en el periodo 2005-2021

A_{MC} = Área de la microcuenca

La **Tabla 8.13** resume los cálculos para integrar este indicador de degradación ambiental por microcuenca. El IDA global se totaliza en función de los indicadores individuales afectados por el área de la microcuenca, resultando en un valor de 0.135 o de 0.041 ya ponderado por su peso dentro del criterio de seguridad y calidad. En el caso de Tarímbaro y Álvaro Obregón no tienen área de bosque.

Tabla 8.13. Indicador de degradación ambiental (IDA) por microcuenca

MICROCUECA	SUPERFICIE DE BOSQUE		IDA	IDA Ponderado
	2005	Δ 2005-2021		
Atécuaro	27.690	22.423	0.516	0.155
Capula	48.279	21.513	0.219	0.066
El Fresno	1.390	-	-	-
Lagunillas	110.897	31.142	0.102	0.031
Los Pirules	8.721	5.971	0.322	0.097
Rio Chiquito	48.525	25.964	0.296	0.089
Rio Grande	58.486	8.706	0.026	0.008
San Andrés	14.519	6.359	0.204	0.061
San Marcos	11.212	-	-	-
Santa Inés	11.542	-	-	-
Teremendo Jasso	39.393	2.560	0.035	0.011
Tirio	14.518	10.486	0.445	0.134
Tiristarán	13.197	-	-	-
Umécuaro	18.744	12.136	0.212	0.063
Tarimbaro_1			-	-
Tarimbaro_2			-	-
Charo_1	35.713	25.580	0.306	0.092
Charo_5	69.630	49.470	0.219	0.066
Álvaro Obregón_1			-	-
Álvaro Obregón_2			-	-
Barranca del agua	25.878	10.372	0.365	0.109
Paredones (Ichaqueo)	67.669	38.572	0.521	0.156
Charo_3	19.998	0.508	0.025	0.008
Charo_4	78.036	4.931	0.051	0.015
Charo_6	44.294	12.666	0.267	0.080
Santas Marías	49.215	38.347	0.640	0.192
Teremendo	35.369	0.590	0.007	0.002
Rio Canacucho	92.277	12.078	0.060	0.018
			0.135	0.041

Fuente: Elaboración propia

Cálculo del índice de seguridad y calidad (ISC)

Los indicadores de calidad del agua (ICA), de frecuencia de inundaciones (IFI) y de degradación ambiental (IDA) son las tres componentes que integran el índice de seguridad y calidad (ISC), siendo el IFI el de mayor peso en comparación con los otros dos, dada la importancia que recobra la ocurrencia de inundaciones y sus impactos en la ZdE, particularmente sobre la ciudad de Morelia.

Su agregación a nivel de microcuenca se realiza a partir de la siguiente expresión, en tanto que los resultados se resumen en la **Tabla 8.14**.

$$ISC_{MC} = 1 - (ICA_{MC,p} + IFI_{MC,p} + IDA_{MC,p})$$

Donde:

ISC_{MC} = Índice de seguridad y calidad por microcuenca

$ICA_{MC,p}$ = Indicador de calidad del agua por microcuenca ponderado

$IFI_{MC,p}$ = Indicador de frecuencia de inundaciones por microcuenca ponderado

$IDA_{MC,p}$ = Indicador de degradación ambiental por microcuenca ponderado

El ISC global se totaliza en función de los indicadores individuales afectados por el área de la microcuenca, resultando en un valor de 0.654 o de 0.131 ya ponderado por su peso dentro del ISHA.

Tabla 8.14. Índice de calidad y seguridad (ICS) (criterio 3 del ISHA)

MICROCUECNA	ICA ponderado	IFI ponderado	IDA ponderado	ISC	ISC Ponderado
Atécuaro	0.210	0.167	0.155	0.468	0.094
Capula	0.210	0.135	0.066	0.589	0.118
El Fresnito	0.210	0.167	-	0.623	0.125
Lagunillas	0.210	0.096	0.031	0.663	0.133
Los Pirules	0.210	0.166	0.097	0.527	0.105
Rio Chiquito	0.210	0.167	0.089	0.534	0.107
Rio Grande	0.200	0.159	0.008	0.633	0.127
San Andrés	0.210	0.087	0.061	0.642	0.128
San Marcos	0.210	0.128	-	0.661	0.132
Santa Inés	0.210	0.081	-	0.709	0.142
Teremendo Jasso	0.210	0.132	0.011	0.648	0.130
Tirio	0.210	0.167	0.134	0.490	0.098
Tiristarán	0.210	0.167	-	0.623	0.125
Umécuaro	0.210	0.145	0.063	0.582	0.116
Tarimbaro_1	0.210	0.067	-	0.723	0.145
Tarimbaro_2	0.210	0.064	-	0.726	0.145
Charo_1	0.210	0.043	0.092	0.655	0.131
Charo_5	0.210	0.044	0.066	0.681	0.136
Álvaro Obregón_1	0.210	0.065	-	0.725	0.145
Álvaro Obregón_2	0.210	0.065	-	0.725	0.145
Barranca del agua	0.210	0.103	0.109	0.578	0.116
Paredones (Ichaqueo)	0.210	0.083	0.156	0.550	0.110
Charo_3	0.210	0.009	0.008	0.773	0.155
Charo_4	0.210	0.025	0.015	0.749	0.150
Charo_6	0.210	0.027	0.080	0.683	0.137
Santas Marías	0.210	0.104	0.192	0.494	0.099
Teremendo	0.210	0.113	0.002	0.675	0.135
Rio Canacucho	0.210	0.023	0.018	0.749	0.150
				0.654	0.131

Fuente: Elaboración propia

Criterio 4: Gestión

Indicador de gobernanza (IGOB)

En términos del criterio de gestión, la gobernanza se refiere a las tradiciones institucionales por las cuales se ejerce la autoridad en un país, incluido el proceso por el cual los gobiernos son seleccionados, monitoreados y reemplazados; la capacidad del gobierno para formular e implementar efectivamente políticas sólidas; y el respeto de los ciudadanos y el estado por las instituciones que gobiernan las interacciones económicas y sociales entre ellos [1].

Este indicador de gobernanza (IG) puede determinarse en consideración de 6 componentes [1]:

- El control de la corrupción capta la percepción de hasta qué punto se ejerce el poder público en beneficio privado, incluidas las formas de corrupción menores y mayores, así como la "captura" del Estado por las élites y los intereses privados.
- La efectividad del gobierno refleja la percepción de la calidad de los servicios públicos, la calidad de la función pública y su grado de independencia de las presiones políticas, la calidad de la formulación y aplicación de las políticas y la credibilidad del compromiso del gobierno con dichas políticas.
- La estabilidad política y ausencia de violencia/terrorismo mide la percepción de la probabilidad de Inestabilidad política y/o violencia por motivos políticos, incluido el terrorismo.
- La calidad regulatoria refleja la percepción de la capacidad del gobierno para formular y aplicar políticas y normativas sólidas que permitan y promuevan el desarrollo del sector privado.
- El estado de derecho capta la percepción de hasta qué punto los agentes confían en las reglas de la sociedad y las acatan, y en particular la calidad del cumplimiento de los contratos, los derechos de propiedad, la policía y los tribunales, así como la probabilidad de delincuencia y violencia.
- La voz y rendición de cuentas recoge la percepción del grado en que los ciudadanos de un país pueden participar en la elección de su gobierno, así como la libertad de expresión, la libertad de asociación y la libertad de los medios de comunicación.

La **Tabla 8.15** muestra la variación de estos indicadores entre 2013 y 2022 integrados a nivel de país. A la fecha no hay información desagregada a nivel estatal y/o municipal⁵⁰.

El indicador de gobernanza se integra, entonces, como el promedio de los 6 componentes; y dado que la información se encuentra a nivel país, su aplicación es por igual para todas las microcuencas.

Tabla 8.15. Índice de gobernanza (criterio 4 del ISHA)

COMPONENTE	RANGO PERCENTIL										
	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	PROM
Control de la corrupción	0.346	0.221	0.195	0.205	0.162	0.167	0.181	0.195	0.176	0.175	0.202
Eficacia del Gobierno	0.626	0.582	0.576	0.548	0.500	0.424	0.390	0.424	0.376	0.425	0.487
Estabilidad política y ausencia de violencia/terrorismo	0.232	0.176	0.214	0.238	0.176	0.226	0.179	0.193	0.231	0.217	0.208
Calidad reguladora	0.654	0.654	0.638	0.619	0.614	0.586	0.557	0.510	0.443	0.467	0.574
Estado de derecho	0.352	0.394	0.390	0.310	0.310	0.281	0.267	0.290	0.229	0.208	0.303
Voz y responsabilidad	0.531	0.488	0.443	0.438	0.429	0.456	0.459	0.449	0.440	0.420	0.455
										IGOB	0.372

Fuente: Elaboración propia con base en la información de Banco Mundial [2]

Cálculo del índice de gestión (IG)

Dado que este último criterio se compone únicamente de un solo indicador, la integración del índice de gestión (IG) se calcula a partir del IGOB afectado por la ponderación del criterio dentro del ISHA; esto es: $0.372 \times 0.15 = 0.056$. Este indicador se aplica por igual para todas las microcuencas dentro de la ZdE.

⁵⁰ Sería recomendable desarrollar capacidades locales para monitorear estas componentes de la gobernanza a nivel municipal y de la ZdE. Esto permitiría reflejar en determinado momento acciones tales como el desarrollo del presente estudio y su implementación para la mejora de la seguridad hídrica.

Integración del Índice de Seguridad Hídrica Adaptado (ISHA)

La **Tabla 8.16** resume los resultados de los cálculos de integración de los diferentes índices relacionados con los criterios que componen al índice de seguridad hídrica adaptado (ISHA). Recordemos que su agregación se hace a partir de la siguiente expresión:

$$ISHA = ID_p + IAS_p + ISC_p + IG_p$$

Donde:

ISHA = Índice de seguridad hídrica adaptado

ID = Índice de disponibilidad ponderado (45%)

IAS = Índice de accesibilidad a los servicios ponderado (20%)

ISC = Índice de seguridad y calidad ponderado (20%)

IG = Índice de gobernanza ponderado (15%)

Tabla 8.16. Índice de seguridad hídrica adaptado (ISHA) a nivel de microcuenca

MICROCUECA	DISPONIBILIDAD	ACCESIBILIDAD A SERVICIOS	SEGURIDAD Y CALIDAD	GESTIÓN	SEGURIDAD HÍDRICA
	ID _p	IAS _p	ISC _p	IG _p	ISHA
Atécuaro	0.424	0.152	0.094	0.056	0.725
Capula	0.394	0.126	0.118	0.056	0.694
El Fresno	0.424	0.190	0.125	0.056	0.794
Lagunillas	0.394	0.148	0.133	0.056	0.731
Los Pirules	0.359	0.157	0.105	0.056	0.677
Rio Chiquito	0.273	0.143	0.107	0.056	0.579
Rio Grande	0.245	0.141	0.127	0.056	0.569
San Andrés	0.412	0.186	0.128	0.056	0.782
San Marcos	0.360	0.127	0.132	0.056	0.676
Santa Inés	0.406	0.157	0.142	0.056	0.760
Teremendo Jasso	0.414	0.190	0.130	0.056	0.789
Tirio	0.420	0.165	0.098	0.056	0.739
Tiristarán	0.422	0.160	0.125	0.056	0.763
Umécuaro	0.408	0.155	0.116	0.056	0.735
Tarimbaro_1	0.095	0.130	0.145	0.056	0.425
Tarimbaro_2	0.095	0.126	0.145	0.056	0.423
Charo_1	0.335	0.127	0.131	0.056	0.649
Charo_5	0.213	0.159	0.136	0.056	0.564
Álvaro Obregón_1	0.105	0.098	0.145	0.056	0.404
Álvaro Obregón_2	0.105	0.160	0.145	0.056	0.466
Barranca del agua	0.419	0.113	0.116	0.056	0.703
Paredones (Ichaqueo)	0.408	0.116	0.110	0.056	0.690
Charo_3	0.398	0.073	0.155	0.056	0.682
Charo_4	0.406	0.102	0.150	0.056	0.713
Charo_6	0.398	0.143	0.137	0.056	0.734
Santas Marías	0.416	0.108	0.099	0.056	0.679
Teremendo	0.418	0.183	0.135	0.056	0.792
Rio Canacucho	0.397	0.162	0.150	0.056	0.765
	0.328	0.144	0.131	0.056	0.658

Fuente: Elaboración propia

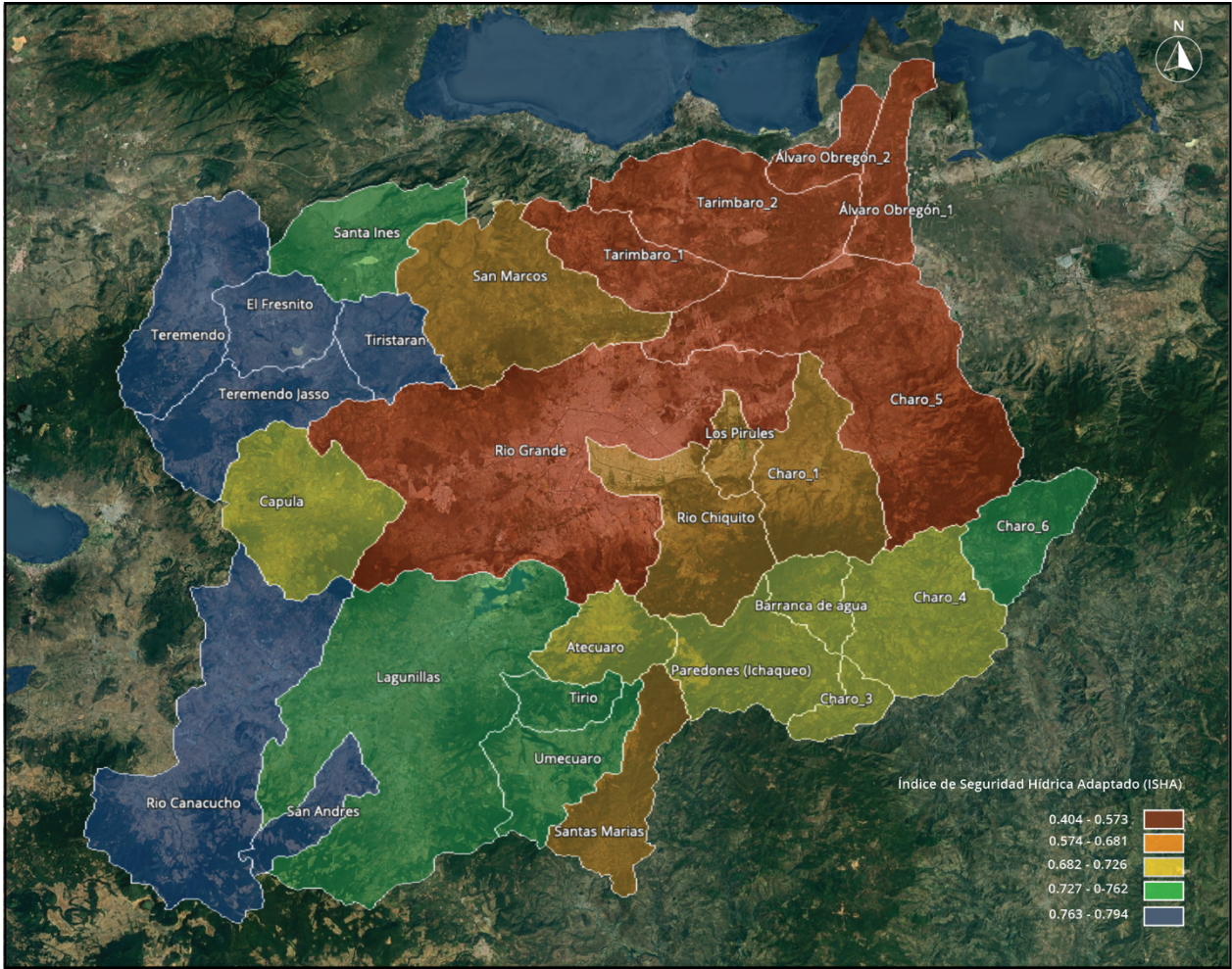
Para fines de su comparación y visualización, podemos clasificar los resultados en función de quintiles estadísticos (ver **Figura 5.7**). Como se observa en dicha figura, las microcuencas con los niveles más bajos de seguridad hídrica (según el ISHA) son, por un lado, el río Grande, donde se asienta gran parte de la ciudad de Morelia; y, por otro, Charo_5, Tarímbaro_1 y Tarímbaro_2, así como Álvaro Obregón_1 y Álvaro Obregón_2, donde se encuentran los módulos II, III y IV del DR020, que tienen la mayoría del volumen total concesionado de todo el Distrito. Río Chiquito y Los Pirules que contienen la otra parte del DR020 y de la ciudad de Morelia no se encuentran en el nivel más bajo, pero si en el inmediato superior, junto con Charo_1.

En particular los proyectos de intercambio intersectorial y reúso del agua residual tratada que han sido planteados anteriormente, en conjunto con el programa metropolitano de recarga, tendrían un impacto directo sobre el índice de seguridad hídrica de las microcuencas con los niveles más bajos; toda vez que se mejoraría la calidad del agua, se reduciría la escasez y el abatimiento del acuífero, a la vez que se reduciría la vulnerabilidad ante la sequía (mayor reserva de agua) y por lo tanto, también el indicador de sequía. Complementariamente, las acciones tendientes a optimizar la eficiencia física del sistema de abastecimiento (reducción de pérdidas) y para mejorar el manejo de aguas pluviales y la protección contra inundaciones [13] también contribuirán a aumentar la seguridad hídrica (mejorando la accesibilidad a servicios, aumentando la disponibilidad, y reduciendo la frecuencia de inundaciones).

Por otro lado, en un ámbito estatal / regional, podemos hacer referencia a los resultados del índice global de seguridad hídrica (GSWI) adaptado a las entidades federativas de México, obtenidos por el IMTA en el año 2020 [14], dentro de los cuales el estado de Michoacán se ubicó con un grado de seguridad hídrica “Alta”, es decir con un índice entre 0.67 y 0.73, mientras que el estado de Guanajuato se clasificó en un nivel “Muy Bajo” con un índice entre 0.46 y 0.52.

Finalmente, es necesario resaltar también la necesidad de realizar esfuerzos para complementar las fuentes de información y mejorar la calidad de los datos disponibles. Esto no sólo aumentará la precisión del índice ahora adaptado a la ZdE, sino también permitirá reflejar de una forma más clara el grado de seguridad (o inseguridad) hídrica y poder monitorear sus cambios en función de las condiciones socio-políticas, ambientales y climáticas, así como del impacto de las acciones que se vayan implementando.

Figura 8.1. Resultados del Índice de seguridad hídrica adaptado (ISHA) a la ZdE



Fuente: Elaboración propia

► 8.3 Identificación y evaluación de riesgos por eventos hidrometeorológicos

La identificación y valoración de los peligros asociados a la ocurrencia de eventos extremos hidrometeorológicos (tales como las inundaciones y las sequías), su frecuencia e impactos probables, el grado de exposición y la vulnerabilidad de la población, sus bienes, y los ecosistemas, en complemento de la capacidad de adaptación y mitigación de daños, son elementos esenciales que abonarán a una mejor evaluación y gestión del riesgo de desastre.

El atlas nacional de riesgos (ANR) de CENAPRED contribuye y aporta diversos elementos e información en este sentido. Complementariamente, el gobierno municipal de Morelia, a través de su Instituto Municipal de Planeación (IMPLAN), realizó en 2023-2024 una actualización del atlas nacional de riesgos para Morelia [12] que también aporta más elementos para mejorar la cantidad y calidad de los datos e información disponibles.

Identificación y evaluación de riesgo por inundación

Una inundación se entiende como la presencia de agua en zonas donde normalmente no se encuentra y que, de manera general, provoca afectaciones a la población y sus bienes. Es generada por el desbordamiento de un cauce; el desfogue de presas o falla de infraestructura hidráulica (fluviales); la acumulación de agua en zonas urbanas derivado de insuficiencias en el drenaje (pluvial) o por el incremento de ésta en cuerpos de origen lacustre y costero derivado de la ocurrencia de ciclones tropicales o tsunamis.

Como ya se estableció anteriormente, la ocurrencia de inundaciones ha impactado y generado daños considerables en la ZdE, particularmente en la Ciudad de Morelia, haciendo preponderante la estimación del riesgo asociado.

Conocemos ya el peligro de inundación en términos de su frecuencia de ocurrencia (ver **IFI**). Tomando en consideración la información del atlas nacional de riesgos de CENAPRED (a nivel municipal) y los valores quintiles estadísticos para cada grado de vulnerabilidad por inundación se determina el grado de vulnerabilidad por inundación por municipio. Esta vulnerabilidad se pondera por el área de cada municipio dentro de la microcuenca, para obtener la vulnerabilidad de inundación a nivel de microcuenca.

Tabla 8.17. Índice de vulnerabilidad por inundación (2016)

GRADO DE VULNERABILIDAD	PERCENTIL	EFFECTOS
Muy Alta	80 < V ≤ 100	• Sin información
Alta	60 < V ≤ 80	• Decesos registrados por la Secretaría de Salud • Daños extraordinarios • Asentamientos irregulares en cauces, planicies de inundación o aguas debajo de presas y/o bordos
Media	40 < V ≤ 60	• Sin decesos • Daño moderado • Declaratorias de desastre (hasta 10 declaratorias)
Baja	20 < V ≤ 40	• No hay asentamientos irregulares • Sistema de drenaje eficiente • Daños mínimos • Declaratoria de emergencia
Muy Baja	0 < V ≤ 20	• Sin información

Fuente: CENAPRED, 2017 [4]

Finalmente, el grado de riesgo por inundación se determina como una combinación del peligro y la vulnerabilidad; es decir, el riesgo es la probabilidad de que se produzcan daños como consecuencia de una inundación y es directamente proporcional al peligro y a la vulnerabilidad del sistema analizado.

$$RI_{MC} = PI_{MC} \times VI_{MC}$$

Donde:

RI_{MC} = Riesgo por inundación a nivel de microcuenca

PI_{MC} = Probabilidad de ocurrencia de la inundación por microcuenca

VI_{MC} = Grado de vulnerabilidad ante inundaciones por microcuenca

La **Tabla 8.18** a continuación integra los cálculos de las diferentes componentes del riesgo de inundación para cada microcuenca. El riesgo global se totaliza en función de los indicadores individuales afectados por el área de la microcuenca correspondiente.

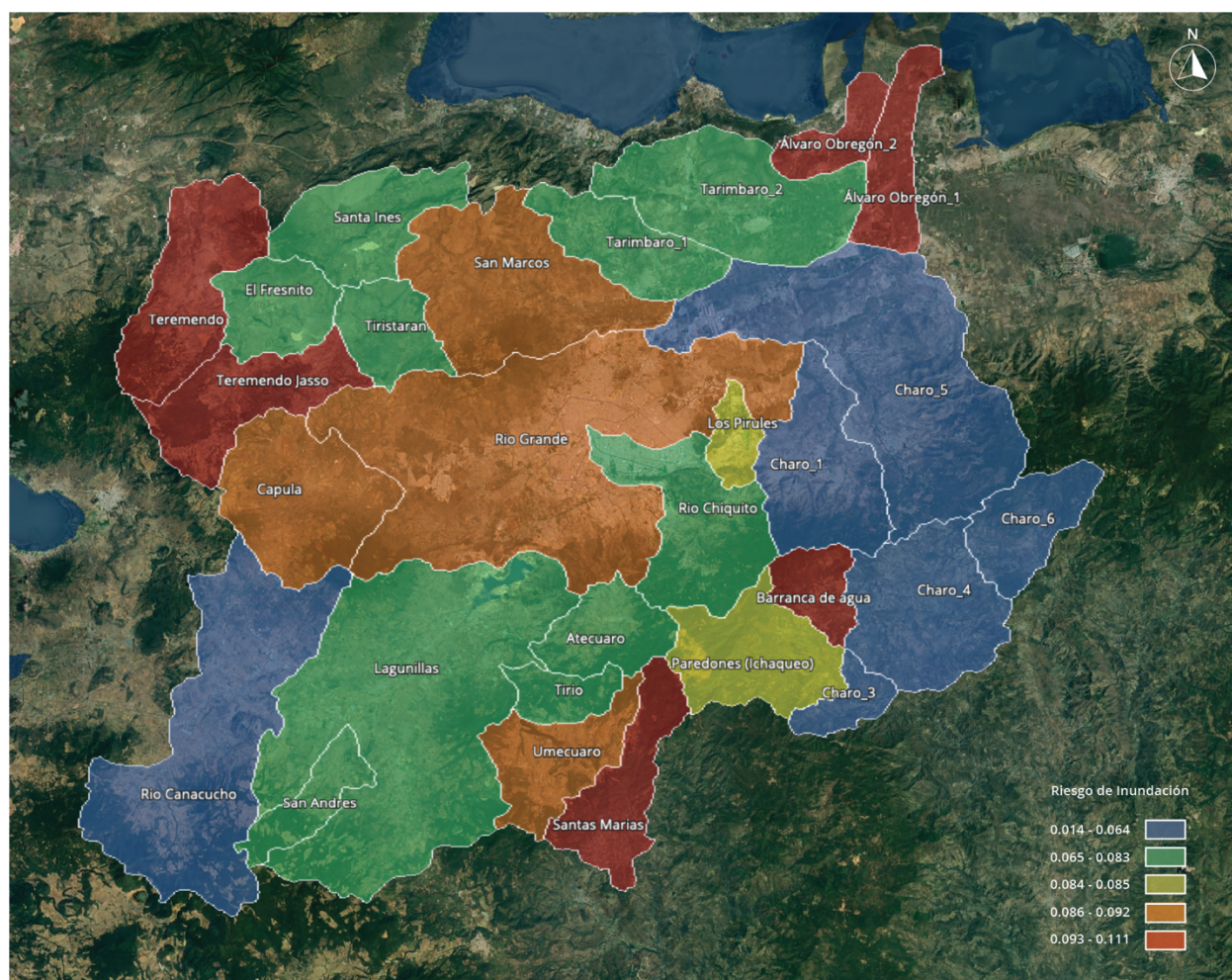
Tabla 8.18. Riesgo de inundación a nivel de microcuenca

MICROCUECA	PELIGRO (PI)	VULNERABILIDAD (VI)	RIESGO RI
Atécuaro	0.417	0.200	0.083
Capula	0.338	0.260	0.088
El Fresno	0.417	0.200	0.083
Lagunillas	0.239	0.299	0.072
Los Pirules	0.416	0.201	0.084
Rio Chiquito	0.417	0.200	0.083
Rio Grande	0.398	0.217	0.086
San Andrés	0.218	0.307	0.067
San Marcos	0.321	0.277	0.089
Santa Inés	0.202	0.406	0.082
Teremendo Jasso	0.329	0.284	0.093
Tirio	0.417	0.200	0.083
Tiristarán	0.417	0.200	0.083
Umécuaro	0.361	0.245	0.088
Tarimbaro_1	0.167	0.400	0.067
Tarimbaro_2	0.159	0.453	0.072
Charo_1	0.108	0.570	0.062
Charo_5	0.109	0.560	0.061
Álvaro Obregón_1	0.162	0.600	0.097
Álvaro Obregón_2	0.162	0.580	0.094
Barranca del agua	0.257	0.391	0.101
Paredones (Ichaqueo)	0.209	0.404	0.084
Charo_3	0.023	0.600	0.014
Charo_4	0.064	0.600	0.038
Charo_6	0.067	0.600	0.040
Santas Marías	0.259	0.389	0.101
Teremendo	0.283	0.392	0.111
Rio Canacucho	0.057	0.461	0.026
			0.074

Fuente: Elaboración propia

El riesgo por inundación para toda la ZdE es de 0.074; en tanto que nivel individual, las microcuencas de Álvaro Obregón_1, Álvaro Obregón_2, Teremendo, Teremendo Jasso, Santa Inés y Barranca de Agua tienen el riesgo más alto; seguidas por San Marcos, río Grande, Capula y Umécuaro. Los Pirules y Paredones tendrían un riesgo medio, seguidas por Tarimbaro_1, Tarimbro_2, Santa Inés, el Fresno, Tiristarán, Lagunillas, San Andrés, Atécuaro, Tirio, y Río Chiquito; las microcuencas con el menor riesgo son Charo_1, Charo_3, Charo_4, Charo_5, Charo_6 y río Canacucho.

Figura 8.2. Riesgo de inundación a nivel de microcuenca



Fuente: Elaboración propia

Riesgo de inundación en la zona urbana de Morelia

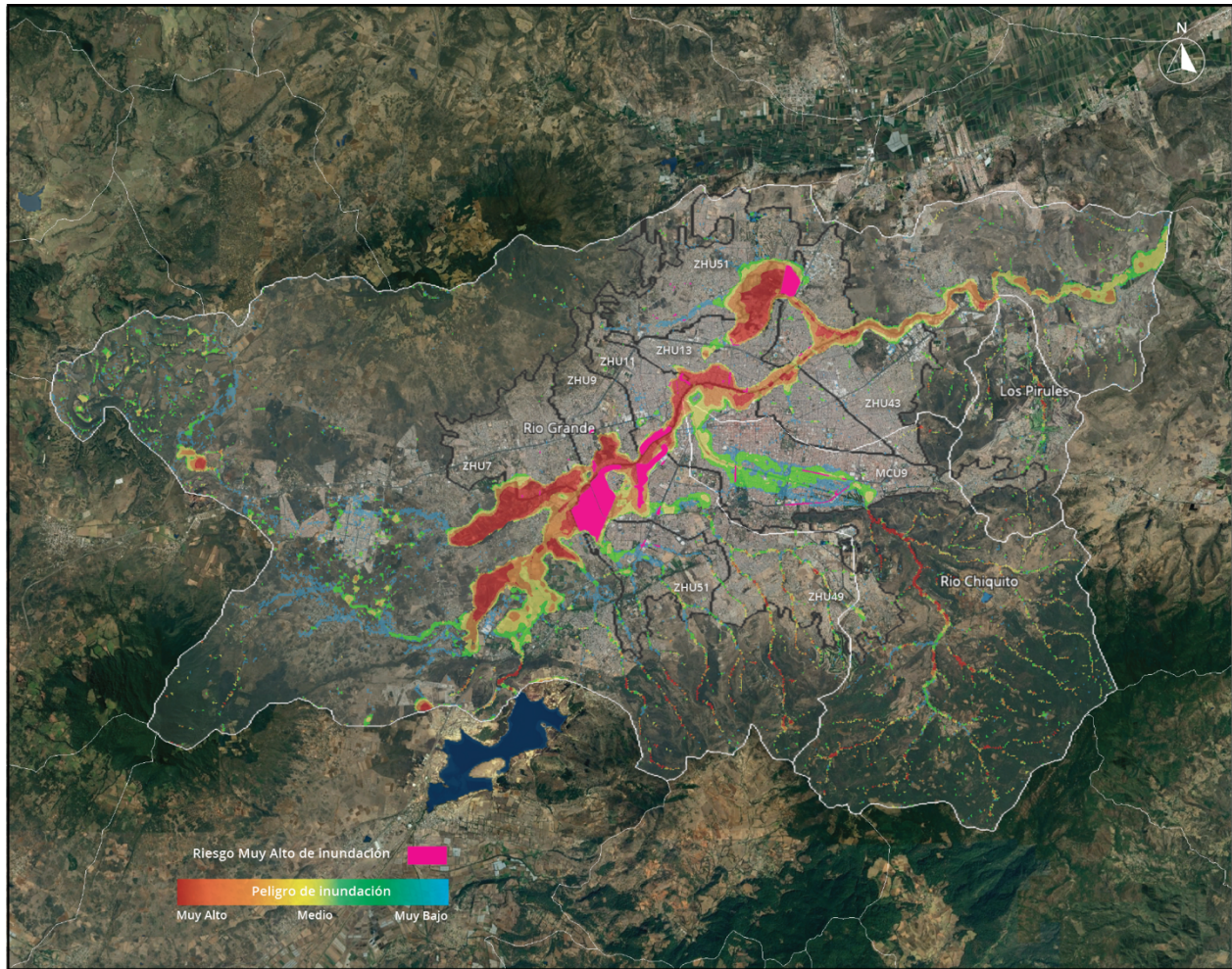
Tomando en consideración los resultados de la actualización del Atlas de Riesgos municipal que considera un análisis de inundación específico a nivel de Zonas Hidráulicas Urbanas (ZHU), comprendiendo las microcuencas de río Grande (ZHU7, ZHU9, ZHU11, ZHU13, ZHU15, ZHU49, ZHU51), río Chiquito (MCU9) y Los Pirules (ZHU43). A partir de los escenarios de inundación modelados, se delimitaron los niveles de peligro de inundación y se identificaron un total de 40 polígonos de inundación con un nivel de riesgo "Muy Alto" (**Figura 8.3**); lo cual representa una superficie total de 2.91 km² y una población afectada de 18,851 habitantes (**Tabla 8.19**).

Tabla 8.19. Riesgo de inundación a nivel de zona hidráulica urbana

MICROCUEENCA	ZHU	POLÍGONO DE INUNDACIÓN	NIVEL DE RIESGO	ÁREA (ha)	VULNERABILIDAD	
					FÍSICA (Lotes)	SOCIAL (Habitantes)
Río Grande	ZHU7	Benito Juárez	Muy alto	0.568	2	7
		Del Encanto	Muy alto	0.22	16	56
		Felipe González	Muy alto	0.204	10	35
		Pedro flores	Muy alto	0.097	10	35
		Tinijaro	Muy alto	0.32	6	21
	ZHU9	Francisco I. Madero Poniente	Muy alto	0.769	17	60
		Manantiales	Muy alto	2.443	159	557
	ZHU11	23 de mayo	Muy alto	0.827	12	42
		Aurrerá tres puentes	Muy alto	20.349	189	662
		Jardín de Maravillas	Muy alto	3.428	198	693
		Tepozán	Muy alto	0.332	15	53
	ZHU13	Barrio Alto	Muy alto	1.107	65	228
		División del norte	Muy alto	0.982	34	119
		Guadalupe Victoria	Muy alto	1.826	64	224
		Paseo de las Galeanas	Muy alto	0.301	20	70
	ZHU15	Paseo de las Jacarandas	Muy alto	0.232	10	35
		24 de febrero	Muy alto	0.212	14	49
		25 de septiembre	Muy alto	0.141	5	18
		5 de marzo	Muy alto	0.245	14	49
		Bicentenario	Muy alto	34.981	1509	5282
		Educadores Mexicanos	Muy alto	0.401	5	18
		Gertrudis Sánchez	Muy alto	0.174	7	25
		Presa	Muy alto	0.319	26	91
		Prof. Esther Velázquez	Muy alto	0.204	13	46
		Raza Mexicas	Muy alto	0.408	24	84
		San Lucas	Muy alto	0.164	10	35
		Santa Rosa	Muy alto	0.265	15	53
		Valle de México	Muy alto	0.38	29	102
	ZHU49	Calzada la huerta	Muy alto	0.177	7	25
		Fiscalía General del Estado de Michoacán - Jaujilla	Muy alto	1.777	3	1
		Manuel Villalongín	Muy alto	64.459	963	3371
	ZHU51	Torremolinos - Arriaga Rivera - Valladolid	Muy alto	0.717	7	25
		Canchas Liga municipal	Muy alto	45.084	1666	5831
		Salida Pátzcuaro	Muy alto	90.674	66	231
Río Chiquito	MCU9	Boulevard2	Muy alto	3.063	25	88
		Boulevard García de León	Muy alto	0.445	1	4
		Calzada de Juárez	Muy alto	2.727	29	102
		Camelinas	Muy alto	2.259	54	189
		El Ancla	Muy alto	7.118	66	231
Los Pirules	ZHU49	Juan Álvarez	Muy alto	0.167	1	4
				290.57	5,386	18,851

Fuente: Elaboración propia con información del IMPLAN [12]

Figura 8.3. Peligro y riesgo de inundación en Morelia



Fuente: Elaboración propia con base en información de IMPLAN [12]

Control de inundaciones en la zona urbana de Morelia

Diversos estudios se han realizado en relación con el control de inundaciones en la zona urbana de Morelia. De entre ellos destaca el estudio de manejo de aguas pluviales en la zona metropolitana de Morelia realizado por el IMTA en el año 2007 por encargo del OOAPAS Morelia [13]. A continuación, se presentan algunos extractos y resultados de dicho estudio.

En primer lugar, y a partir del análisis hidrológico desarrollado como parte de dicho estudio, se destacan los resultados obtenidos con respecto a los gastos máximos de diseño y de los hidrogramas de diseño correspondientes, calculados en función de las características fisiográficas de cada subcuenca, y en particular de los tiempos de concentración pico.

Tabla 8.20. Gastos máximos de diseño [Q_p en m^3/s]

SUBCUENCA	Tr 2.33	Tr = 5	Tr 10	Tr 20	Tr 50	Tr 100	Tr 200	Tr 500	Tr1000	Tr 2000	Tr 5000	Tr 10000
Río Chiquito	79.8	33.6	44.2	52.8	71.8	79.8	87.8	98.3	106.3	114.3	124.8	132.8
Presa Cointzio	271.9	141.9	171.7	196.0	249.3	271.9	294.4	324.0	346.4	368.8	398.5	420.9
Cuenca Urbana	602.0	207.0	297.5	371.2	533.4	602.0	670.3	760.4	828.6	896.6	896.6	1,054.7
Dren Itzicuaró	124.8	73.4	85.2	94.8	115.8	124.8	133.6	145.4	154.2	163.0	163.0	183.6

Fuente: IMTA, 2005 [13]

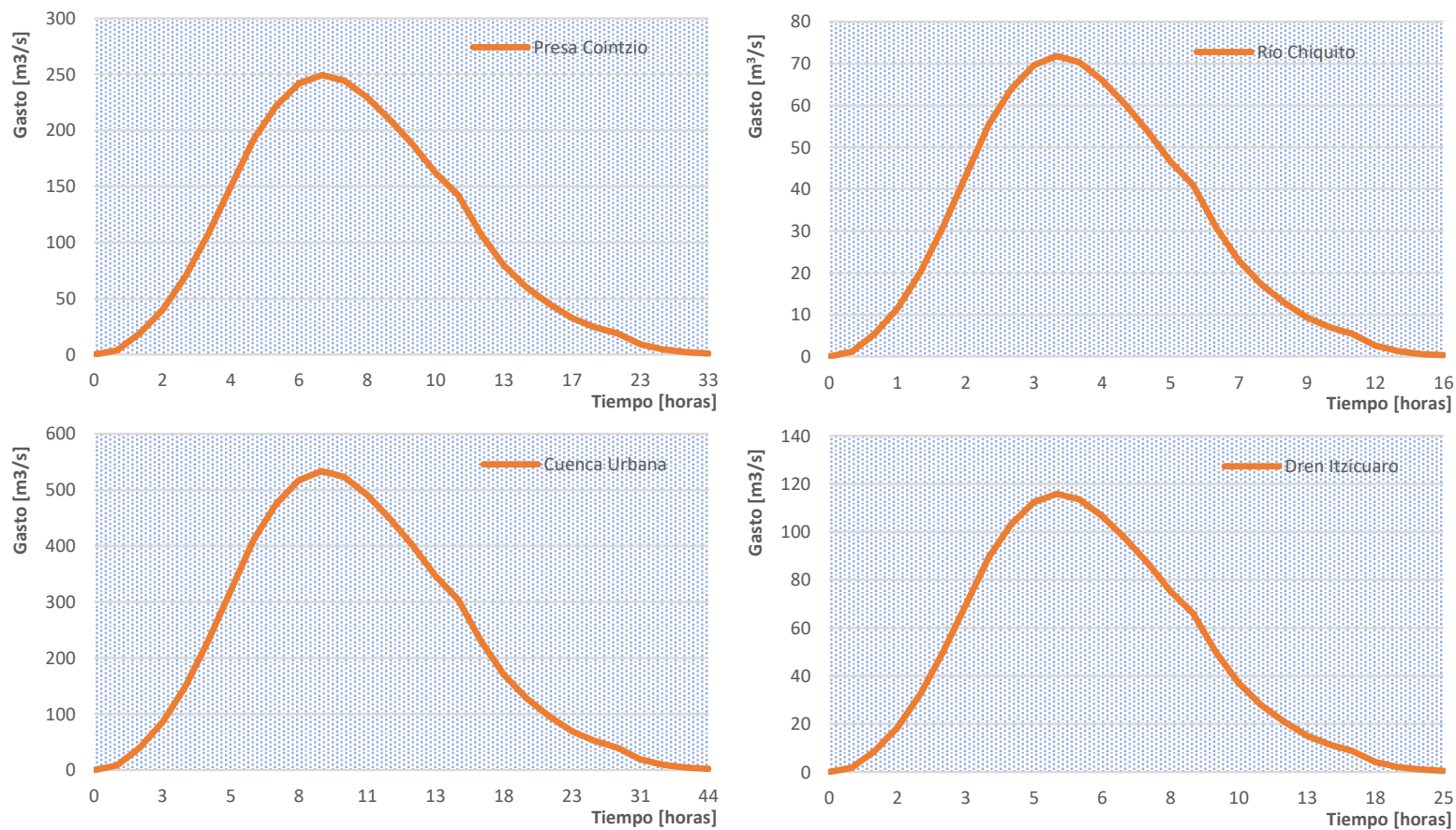
La tabla y figura siguientes muestran, a manera de ejemplo, los hidrogramas de diseño para un periodo de 50 años.

Tabla 8.21. Hidrograma de diseño para un periodo de retorno $Tr = 50$ años

RIO CHIQUITO		PRESA COINTZIO		CUENCA URBANA		DREN ITZICUARO	
TIEMPO DE CONCENTRACIÓN	GASTO DE DISEÑO	TIEMPO DE CONCENTRACIÓN	GASTO DE DISEÑO	TIEMPO DE CONCENTRACIÓN	GASTO DE DISEÑO	TIEMPO DE CONCENTRACIÓN	GASTO DE DISEÑO
Tcp = 3.3 horas	$Q_p = 71.8 m^3/s$	Tcp = 6.6 horas	$Q_p = 294.3 m^3/s$	Tcp = 8.8 horas	$Q_p = 533.4 m^3/s$	Tcp = 5.1 horas	$Q_p = 115.8 m^3/s$
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.3	1.1	0.7	3.7	0.9	8.0	0.5	1.7
0.7	5.4	1.3	18.7	1.8	40.0	1.0	8.7
1.0	11.5	2.0	39.9	2.6	85.4	1.5	18.5
1.3	20.1	2.6	69.8	3.5	149.4	2.0	32.4
1.6	30.9	3.3	107.2	4.4	229.4	2.5	49.8
2.0	43.1	4.0	149.6	5.3	320.1	3.0	69.5
2.3	55.3	4.6	192.0	6.1	410.8	3.6	89.2
2.6	63.9	5.3	221.9	7.0	474.8	4.1	103.1
3.0	69.6	5.9	241.9	7.9	517.4	4.6	112.4
3.3	71.8	6.6	249.3	8.8	533.4	5.1	115.8
3.6	70.3	7.2	244.3	9.6	522.8	5.6	113.5
3.9	66.0	7.9	229.4	10.5	490.8	6.1	106.6
4.3	60.3	8.6	209.4	11.4	448.1	6.6	97.3
4.6	53.8	9.2	187.0	12.3	400.1	7.1	86.9
4.9	46.6	9.9	162.1	13.1	346.7	7.6	75.3
5.2	40.9	10.5	142.1	14.0	304.1	8.1	66.0
5.9	30.9	11.9	107.2	15.8	229.4	9.1	49.8
6.6	23.0	13.2	79.8	17.5	170.7	10.2	37.1
7.2	17.2	14.5	59.8	19.3	128.0	11.2	27.8
7.9	12.9	15.8	44.9	21.0	96.0	12.2	20.9
8.5	9.3	17.1	32.4	22.8	69.3	13.2	15.1
9.2	7.0	18.5	24.4	24.5	52.3	14.2	11.4
9.8	5.4	19.8	18.7	26.3	40.0	15.2	8.7
11.5	2.6	23.1	9.0	30.6	19.2	17.8	4.2
13.1	1.3	26.4	4.5	35.0	9.6	20.3	2.1
14.8	0.6	29.7	2.2	39.4	4.8	22.9	1.0
16.4	0.3	33.0	1.0	43.8	2.1	25.4	0.5

Fuente: IMTA, 2005 [13]

Figura 8.4. Hidrograma de diseño para un periodo de retorno $Tr = 50$ años



Fuente: IMTA, 2005 [13]

Por otro lado, los resultados del estudio hidráulico y simulación del sistema de drenaje realizado tuvieron por conclusión principal la siguiente:

La red de drenaje pluvial de la ciudad de Morelia y de su Zona Metropolitana (ZMM), está constituida por la red hidrográfica “natural” de la cuenca urbana. El cauce principal es el denominado río Grande y en el que confluyen dos cauces principales. El primero, es el dren Los Itzicuaros, el segundo el denominado río Chiquito cuyos aportes escurren en una superficie sensiblemente inferior a la del dren Los Itzicuaros. El río Grande posee además varios afluentes que confluyen en la zona periurbana y urbana. El sistema de drenaje pluvial de la ZMM no se autorregula por lo que es necesario establecer medidas estructurales y no estructurales para proporcionar elementos que le permitan aumentar sus capacidades, con el fin de proveerle mayor potencial de autorregulación.

Las obras propuestas (estructurales) que se desprenden del diagnóstico anterior se resumen en la **Tabla 8.22** siguiente:

Tabla 8.22. Lista de obras propuestas estructurales para el mejoramiento del sistema de drenaje pluvial de la ZMM.

NIVEL DE PRIORIDAD	OBJETIVO	OBRA PROPUESTA	
I – nivel de urgencia	Controlar los cauces a un gasto máximo equivalente a 70 m ³ /s (Tr 5 años)	I.1	Laguna de regulación del dren Los Itzicuaros
		I.2	Presas de regulación sobre el río Chiquito
		I.3	Reestructuración del puente de la av. Michoacán sobre el río Grande
II – nivel de reestructuración	Regular los cauces afluentes al río Grande: obras que poseen un gran volumen de regulación.	II.1	Laguna de regulación aguas arriba de los puentes de la Av. Madero
		II.2	Reestructuración del paso ferroviario s/ r. Chiquito aguas arriba de la confluencia con r. Grande
		II.3	Rectificación del río Chiquito en la zona de la confluencia con el río Grande
		II.4	Laguna de regulación en la Unidad Deportiva Cuauhtémoc
		II.5	Laguna de infiltración aguas arriba de la zona de los filtros
III – nivel de autonomía	Regular el 100% de la red de cauces que conforma al sistema de drenaje pluvial	III.1	Laguna de regulación Carlos Salazar
		III.2	Laguna de regulación “La Mintzita”
		III.3	Obras contra encharcamientos de la zona de “Las Palomas”

Fuente: IMTA, 2005 [13]

Las propuestas anteriores se complementan con soluciones no estructurales, dirigidas a aumentar la capacidad hidráulica y permitir que el agua pluvial sea desalojada en un menor tiempo, esto es:

- Actividades de dragado y desazolve en los ríos y drenes.
- Limpieza, deshierbe y retiro de maleza acuática.
- Construcción y habilitación de cárcamos de bombeo.

Se generaron proyectos ejecutivos: i) para el control y regulación de avenidas mediante lagunas sobre el sistema de drenaje pluvial; y ii) para el control y regulación de avenidas mediante presas sobre el río Chiquito, que en total representan una inversión de \$74.2 millones de pesos (**Tabla 8.23**). Asimismo, de manera complementaria, se integró también una lista de obras de protección contra inundaciones por un monto total de \$41 millones de pesos (ver **Tabla 8.24**).

Tabla 8.23. Proyectos ejecutivos para el manejo de aguas pluviales en la ZMM

OBRA PROPUESTA	GASTO $T_{r2.33}$ [m³/s]	VOLUMEN DE REGULACIÓN [m³]	GASTO MÁXIMO REGULABLE [m³/s]	INVERSIÓN [\$]
Laguna de regulación Alfalfar	5.13	1,894	4.66	\$8,525,510
Laguna de regulación Itzicuaros	22.69	29,056	4.18	\$5,668,603
Laguna de regulación C.D. Cuauhtémoc	10.58	411,205	10.48	\$27,529,205
Laguna de regulación Aurrerá	30.54	159,645	15.54	\$18,969,701
Laguna de regulación Carlos Salazar	2.67	30,429	2.57	\$5,394,610
Presa regulación R. Chiquito SIF-1	3,415	3,625		\$2,340,453
Presa regulación R. Chiquito SIF-2	13,460	18,605		2,782,260
Presa regulación R. Chiquito SIF-3	2,623	3,215		\$3,021,158
	ÁREA [m²]	VOLUMEN ALMACENAMIENTO [m³]		\$74,231,501

Fuente: IMTA, 2005 [13]

Tabla 8.24. Obras de protección contra inundaciones

OBRA PROPUESTA	INVERSIÓN [\$]
Obra de Control en el Canal Mintzita a Río Grande	\$1,000,000
Colector Pluvial Bosques de Camelinas (2a ETAPA)	\$11,000,000
Colector Pluvial Libramiento Oriente de la Salida a Charo al Río Grande	\$9,000,000
Colector Pluvial Camelinas	\$8,500,000
Obra de Control de Equipos de Bombeo del Cárcamo Arroyo de Tierras.	\$3,700,000
Colector Pluvial Ave. Madero Poniente de La Avenida Pedregal al Río Grande	\$1,500,000
Conexión del Colector Pluvial de Av. Poliducto al Dren Carlos Salazar	\$500,000
Ampliación de Subestación Eléctrica y Automatización de Compuertas y Equipos de Bombeo del Dren Barajas	\$800,000
Terminación del Cárcamo del Dren Mora Tovar	\$400,000
Terminación de Cárcamo de Tres Puentes	\$200,000
Terminación del Cárcamo de Bombeo Riva Palacio- FFCC	\$200,000
Terminación del Cárcamo en el Dren Carlos Salazar	\$300,000
Terminación del Cárcamo Prados Verdes	\$150,000
Equipo de Bombeo de 1000 lps en el Cárcamo del Dren Itzicuaros	\$700,000
Limpieza, Desazolve y Rectificación de Drenes de la Ciudad	\$3,050,000
	\$41,000,000

Fuente: IMTA, 2005 [13]

Identificación y evaluación de riesgos por sequía

La identificación y evaluación del riesgo por sequía [3] a nivel de microcuenca se obtuvo previamente en el contexto del índice de seguridad hídrica adaptado (ISHA); específicamente a través del Donde:

IEMC = **Indicador** de escasez por microcuenca

AEMC = Agua extraída (Demanda)

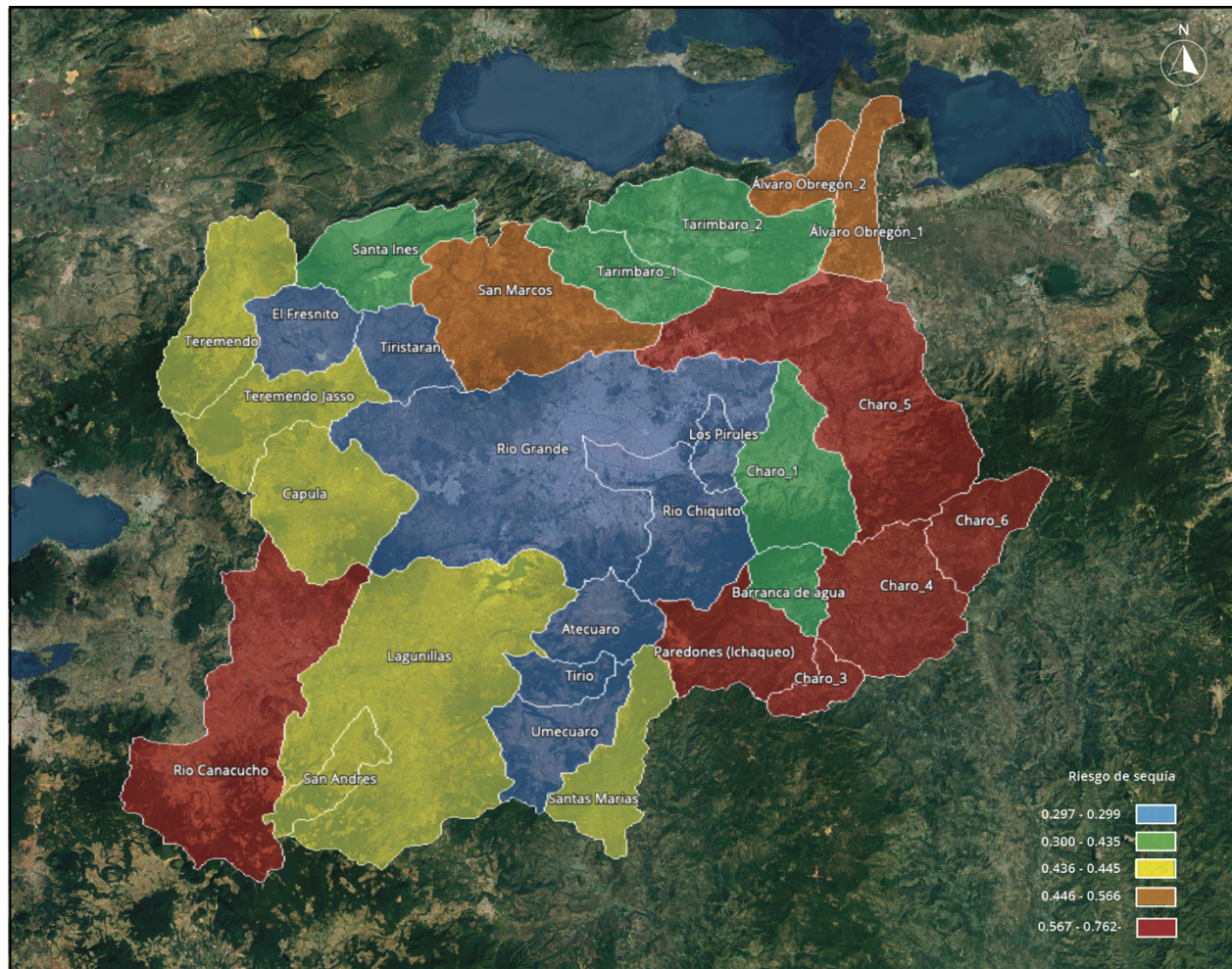
ADMC = Agua disponible (Renovable) = Esc CP (Esguerrimiento en Cuenca Propia) + Recarga Acuífero

CEMC = Requerimiento de flujo ambiental (caudal ecológico)

Esc CP, Esguerrimiento cuenca propia

Indicador de sequía (IS). La **Figura 8.5** a continuación muestra los resultados de manera esquemática.

Figura 8.5. Riesgo por sequía a nivel de microcuenca

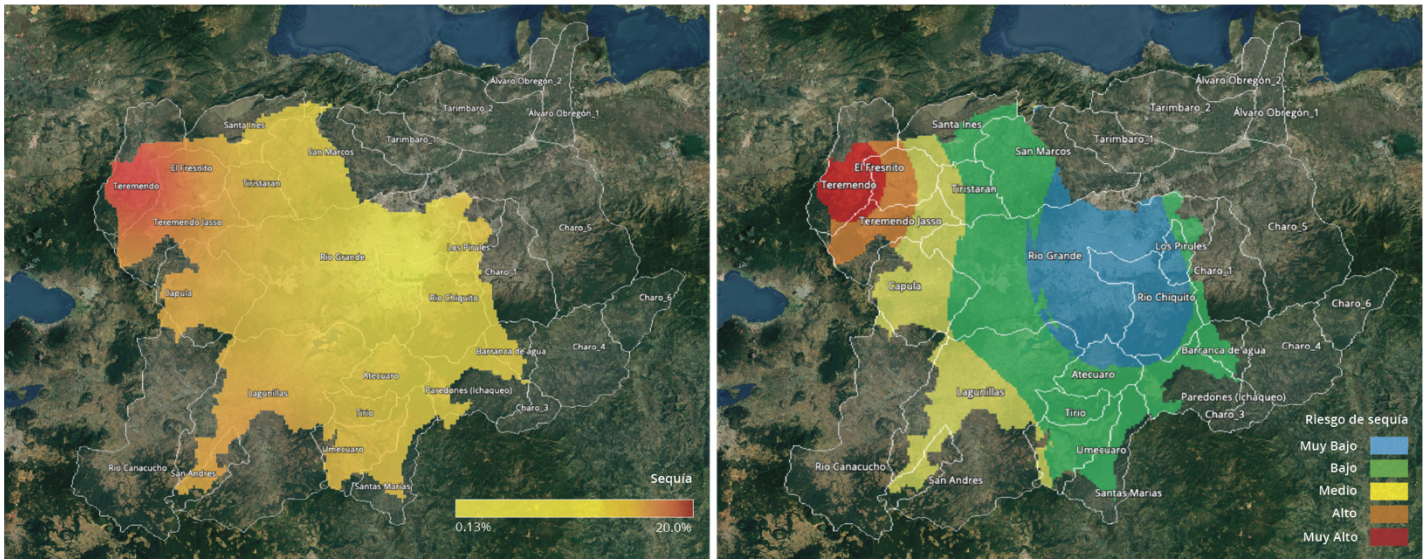


Fuente: Elaboración propia con base en información de Conagua y CENAPRED [18]

El riesgo por sequía para toda la ZdE es de 0.452; en tanto que nivel individual, las microcuencas de Charo_3, charo_4, Charo_5, Charo_6, Paredones y río Canacucho tienen el riesgo más alto; seguidas por Barranca del agua, Charo_1, Santa Inés, Tarímbaro 1 y Tarímbaro_2. Capula, Lagunillas, San Andrés, Teremendo, Teremendo Jasso y Santos Marías tendrían un riesgo medio, seguidas por San Marcos, Álvaro Obregón_1 y Álvaro Obregón_2; las microcuencas con el menor riesgo son Atécuaro, el Fresno, Los Pirules, río Chiquito, río Grande, Tirio, Tiristarán y Umécuaro.

De manera complementaria, y tomando en consideración los resultados de la actualización del atlas de riesgos municipales [12], se encontró que gran parte del territorio de Morelia presentaba una sequía entre 3 y 5%, aumentando hacia el sur hasta un 10% en localidades como Potrerillos, Chihuerio y San Miguel Copa; o hacia el O-NO donde se alcanzan valores entre el 10% y el 20% de sequía. En términos de riesgo, la ciudad de Morelia presenta un riesgo "Muy Bajo" de sequía que se corresponde con el nivel más bajo del análisis previo realizado a nivel de microcuenca (ver **Figura 8.6**).

Figura 8.6. Peligrosidad y riesgo de sequía a nivel municipal en Morelia



Fuente: IMPLAN [12]

Medidas de mitigación ante los riesgos por sequías

En el contexto del Programa Nacional Contra la Sequía (PRONACOSE), a la fecha se realizó un programa de medidas preventivas y de mitigación de la sequía (PMPMS) para el consejo de cuenca Lerma-Chapala [7]. Este instrumento es un buen referente en tanto se realiza un ejercicio de planificación similar a nivel específico de la ZdE.

La finalidad del PMPMS es precisamente anticiparse a las sequías, previendo soluciones para satisfacer las demandas, evitando situaciones de desabasto. Establece un conjunto de medidas a ser implementadas en dos sentidos: antes de la sequía (mitigación), o cuando ya está presente (acción o respuesta estratégica), distinguiendo aquellas que, por el lado de la oferta, se relacionan con las obras y sistemas de distribución, y otras que, por el lado de la demanda, impactan el uso y consumo por parte de los usuarios.

Tabla 8.25. Objetivos y estrategias del PMPMS-LCH

OBJETIVOS	OBJETIVOS ESPECÍFICOS / ESTRATEGIAS
MEDIDAS DE PREVENCIÓN Y MITIGACIÓN DE LA SEQUÍA	
1. Asegurar el equilibrio de cuencas y acuíferos, mediante la reducción del consumo, del desperdicio y de las pérdidas de agua en todos los usos.	1.1 Mejorar el aprovechamiento de las fuentes de aguas nacionales y promover el uso de fuentes alternas.
	1.2 Rehabilitar y ampliar la infraestructura de almacenamiento.
	1.3 Transferir agua entre cuencas en condiciones sustentables.
	1.4 Recargar artificialmente los acuíferos en condiciones sustentables.
	1.5 Reusar las aguas en todos los usos
	1.6 Promover y aplicar tecnologías de bajo consumo en todos los usos.
	1.7 Reducir pérdidas en los sistemas hidráulicos de todos los usos
	1.8 Ajustar dinámicamente las concesiones y asignaciones de agua a la oferta real y a prioridades.
	1.9 Optimizar las políticas de operación de embalses.
	1.10 Incentivar la reubicación de actividades económicas acordes a la disponibilidad del Agua
2. Aprovechar el potencial de los recursos hídricos para la generación de empleos	1.11 Mejorar la medición del suministro y el consumo del agua.
	1.12 Incentivar patrones de cultivo de menor consumo.
	2.1 Promover el intercambio de agua de primer uso a actividades económicas más rentables o prioritarias.
	2.2 Aprovechar el potencial agropecuario, acuícola y pesquero
	2.3 Aprovechar el potencial hidroeléctrico de corrientes naturales y artificiales.

OBJETIVOS	OBJETIVOS ESPECÍFICOS / ESTRATEGIAS
mediante la producción sustentable de alimentos, energía, bienes y servicios.	2.4 Aplicar medidas que aumenten la producción y reduzcan las pérdidas de productos Agrícolas. 2.5 Ampliar y mejorar los canales de comercialización para los productos agropecuarios.
3: Rehabilitar la calidad del agua en cauces, vasos, acuíferos y playas, y contribuir a rehabilitar los ecosistemas en las cuencas.	3.1 Sanear todas las aguas residuales (municipales e industriales)
	3.2 Reducir la descarga de contaminantes
	3.3 Reducir la emisión y regular la disposición de residuos sólidos
	3.4 Rehabilitar la calidad del recurso en los cuerpos de agua
	3.5 Actualizar y aplicar el ordenamiento ecológico y territorial
	3.6 Generalizar el pago por servicios ambientales
	3.7 Establecer y aplicar el caudal ambiental
	3.8 Controlar la erosión de los suelos
	3.9 Conservar y rehabilitar los sistemas ribereños
ESTRATEGIAS Y ACCIONES DE RESPUESTA RELACIONADAS CON LA OFERTA	
1. Asegurar el equilibrio de cuencas y acuíferos, mediante la reducción del consumo, del desperdicio y de las pérdidas de agua en todos los usos.	1.1 Mejorar el aprovechamiento de las fuentes de aguas nacionales y promover el uso de fuentes alternas. 1.2 Rehabilitar y ampliar la infraestructura de almacenamiento. 1.3 Transferir agua entre cuencas en condiciones sustentables. 1.4 Recargar artificialmente los acuíferos en condiciones sustentables 1.5 Optimizar las políticas de operación de embalses. 1.6 Incentivar la reubicación de actividades económicas acordes a la disponibilidad del Agua
2: Rehabilitar la calidad del agua en cauces, vasos, acuíferos y playas, y contribuir a rehabilitar los ecosistemas en las cuencas.	2.1 Sanear todas las aguas residuales (municipales e industriales) 2.2 Generalizar el pago por servicios ambientales 2.3 Conservar y rehabilitar los sistemas ribereños
ESTRATEGIAS Y ACCIONES DE RESPUESTA RELACIONADAS CON LA DEMANDA	
1. Asegurar el equilibrio de cuencas y acuíferos, mediante la reducción del consumo, del desperdicio y de las pérdidas de agua en todos los usos.	1.1 Reusar las aguas en todos los usos 1.2 Promover y aplicar tecnologías de bajo consumo en todos los usos. 1.3 Reducir pérdidas en los sistemas hidráulicos de todos los usos 1.4 Ajustar dinámicamente las concesiones y asignaciones de agua a la oferta real y a prioridades. 1.5 Mejorar la medición del suministro y el consumo del agua. 1.6 Incentivar patrones de cultivo de menor consumo.
2. Aprovechar el potencial de los recursos hídricos para la generación de empleos mediante la producción sustentable de alimentos, energía, bienes y servicios.	2.1 Promover el intercambio de agua de primer uso a actividades económicas más rentables o prioritarias. 2.2 Aprovechar el potencial agropecuario, acuícola y pesquero 2.3 Aprovechar el potencial hidroeléctrico de corrientes naturales y artificiales. 2.4 Aplicar medidas que aumenten la producción y reduzcan las pérdidas de productos Agrícolas. 2.5 Ampliar y mejorar los canales de comercialización para los productos agropecuarios.
3: Rehabilitar la calidad del agua en cauces, vasos, acuíferos y playas, y contribuir a rehabilitar los ecosistemas en las cuencas.	3.1 Reducir la descarga de contaminantes 3.2 Reducir la emisión y regular la disposición de residuos sólidos 3.3 Rehabilitar la calidad del recurso en los cuerpos de agua 3.4 Actualizar y aplicar el ordenamiento ecológico y territorial 3.5 Establecer y aplicar el caudal ambiental 3.6 Controlar la erosión de los suelos

Fuente: Elaboración propia con base en información de Conagua [7]

Asimismo, en términos de respuesta ante la sequía, se plantea un programa de medidas a implementar y la respuesta deseada en cada etapa (**Tabla 8.26 y Tabla 8.27**).

Tabla 8.26. Respuestas reactivas a cada fase de la sequía (PMPMS-LCH)

ETAPA DE LA SEQUÍA	REDUCCIÓN DE AGUA	META REDUCCIÓN DEMANDA	CARÁCTER DE ACCIONES
Anormalmente Seco (D0)	Sin reducción	Menos de 10%	Sin restricciones especiales
Sequía Moderada (D1)	Moderada	10 al 15% (10 a 20%)	Voluntarias
Sequía Severa (D2)	Severa	15 al 25% (20 a 35%)	Algunas medidas de racionamiento obligatorias
Sequía Extrema (D3)	Extraordinaria	25 al 40% (35 a 50%)	Medidas de racionamiento obligatorias
Sequía Excepcional (D4)	Excepcional	Superior a 40% (50%)	Medidas de racionamiento y control obligatorias

Fuente: Conagua [7].

Tabla 8.27. Respuestas reactivas a cada fase de la sequía (PMPMS-LCH)

ETAPA DE LA SEQUÍA	ACCIONES		RECOMENDACIONES
	AUTORIDADES	USUARIOS	
Anormalmente Seco (D0) Comienza la sequía; la reducción en la oferta de agua es de 5 a 10% respecto a la demanda.	Campaña inicial de información: alerta para disminuir los usos no esenciales, y difusión de pronósticos y de acciones necesarias si la situación empeora. Levantamiento de censos y elaboración de estadísticas para conocer el uso y asignación del agua. Formulación de una propuesta para disminuir la asignación a los usos secundarios.	Los usuarios deben moderar su consumo de agua y restringir los usos no prioritarios voluntariamente. Los grandes usuarios deben revisar sus planes de contingencia.	Campaña educativa para evitar el desperdicio del agua. Revisión de las instalaciones y dispositivos de medición y control hidráulico.
Sequía Moderada (D1) La disponibilidad de agua es del 10 al 20% inferior respecto a la demanda. Algunas medidas son voluntarias, pero otras ya son obligatorias.	La campaña de información se intensifica e incluye aspectos técnicos del problema. Se formula la etapa inicial de racionamiento y se da a conocer. La aplicación del riego sólo es permitida en las horas de menor insolación. Prohibición total de usos no prioritarios. Instrumentación de las primeras medidas de multas por exceso o uso indebido del agua, con base en leyes y reglamentos. Prohibido lavar con manguera vehículos, banquetas y calles.	Los usuarios comerciales e industriales instrumentan sus programas de acción, destacando entre ellos el reúso y/o recirculación del agua para sus procesos. Todos los usuarios se sujetan a las restricciones y prohibiciones.	Se intensifica la campaña informativa y educativa. Se instalan dispositivos ahorradores de agua y se mejoran los de control. Inicia la aplicación de sanciones por uso excesivo o indebido; en reincidencias, se suspende temporalmente el servicio.
Sequía Severa (D2) El déficit de agua es de 20 a 35% en relación con la demanda. Las medidas de reducción y restricción en el uso del agua son obligatorias.	Se aplican las medidas y programas de racionamiento, y las sanciones por su no observancia. Los usos domésticos deben disponer de equipos de bajo consumo. El suministro se realiza sólo para los usos esenciales, con estricto tandeo y restricciones en volumen. La campaña de información es intensa y en detalle, apoyada en todos los medios. La evolución del estado de emergencia se registra permanentemente, y los pronósticos y evaluaciones se realizan todos los días para detectar cualquier variación.	Los usuarios son conminados a apegarse totalmente a las restricciones y racionamientos del programa de emergencia. La vigilancia entre sectores y usuarios es continua para evitar desperdicios y conflictos, tomas clandestinas y usos no autorizados. Los grandes usuarios operan de acuerdo con sus Programas de contingencia y se sujetan sólo a los volúmenes autorizados.	Se incrementan las sanciones y se restringe más el consumo. Sólo se autorizan usos prioritarios con volúmenes mínimos. Si se detectan y persisten usos indebidos, se suspende el suministro, se aplican las sanciones y se disminuye la dotación. Es obligatorio mejorar las instalaciones y dispositivos.
Sequía Extrema (D3) El déficit de agua está entre el 35 y 50% respecto a la demanda. Las reducciones, restricciones y observancia de los Programas de contingencia son rigurosamente observadas y sancionadas.	Todas las restricciones y racionamientos alcanzan su máxima intensidad; las dotaciones son mínimas y acordes con los esquemas de prioridad, exclusivamente para los usos más elementales, sin excepción. Los tandeos son rigurosamente observados. La vigilancia es extrema y continua sobre el funcionamiento de los sistemas de conducción, distribución y medición; cualquier anomalía se atiende de inmediato. Todos los usuarios se ajustan a su dotación y se resuelven los conflictos entre ellos. Las contingencias ambientales se atienden de acuerdo con los ordenamientos de ley y entran en función los programas de emergencia apoyados por todos los niveles de gobierno. La campaña de información, seguimiento y educación alcanza su mayor intensidad y es permanente.	Los usuarios deben cumplir estrictamente con el programa de racionamiento. Todo ahorro de agua es crucial, por lo que no debe haber desviaciones ni desperdicios. Los dispositivos de medición, control y uso deben funcionar en estado óptimo. Los usos no residenciales se reducen al mínimo o se suspenden. La recirculación, tratamiento y reúso de agua son importantes como opciones para elevar la disponibilidad.	Se aplican las sanciones y penas más severas; por faltas, la suspensión del servicio puede ser indefinida. La participación de los usuarios en el manejo, cuidado y vigilancia en el uso del agua son determinantes para evitar el aumento del problema y el eventual colapso total.
Sequía Excepcional (D4) El déficit de agua es superior al 50% de la demanda. Son las condiciones más drásticas, de sobrevivencia.	Únicamente para los usos más prioritarios y en cantidades muy limitadas. La asistencia social y los programas de emergencia son constantes con el apoyo de las autoridades de todos los niveles. El agua se distribuye con el máximo de precaución para evitar pérdidas y conflictos. Es una etapa de espera hasta que las condiciones mejoren.	Usan el agua sólo para lo estrictamente autorizado y con el mínimo de volumen. No se permite ningún exceso. Los usos más prioritarios con la menor dotación. Los excedentes se distribuyen a los demás usuarios.	Cero desperdicios y cero tolerancias. Los mecanismos de medida y control funcionan correctamente y se supervisan con frecuencia.

Fuente: Conagua [7]

► 8.4 Identificación y evaluación de riesgos por degradación ambiental

La degradación ambiental es el deterioro del medio ambiente reflejado por el agotamiento de recursos naturales como el aire, el agua, el suelo y la cubierta del suelo, el cual conlleva a la destrucción de ecosistemas y la extinción de la vida silvestre. La degradación ambiental está ligada a los Cambios de Uso y Cubierta del Suelo (CUCS), resultado de las actividades antropogénicas y naturales, las cuales imposibilitan la adecuada utilización o manejo de los recursos naturales. Las principales actividades humanas modernas que modifican las cubiertas naturales son la agricultura y los asentamientos humanos.

A fin de estimar el nivel de degradación en la ZdE se utiliza la información contenida en los mapas de uso de suelo del INEGI, para cuantificar cambios en las distintas superficies entre el año 2005 (serie III - **Figura 8.7**) y el año 2021 (serie VII - **Figura 8.8**). Los mayores cambios registrados se ubican en las categorías de bosques y en la de asentamientos humanos. Por un lado, la reducción de los diferentes tipos de bosques (deforestación) que son transformados en algún uso antrópico; y, por otro, el crecimiento de los asentamientos humanos que a su vez disminuye algún otro tipo de cubierta de suelo (**Tabla 8.28**).

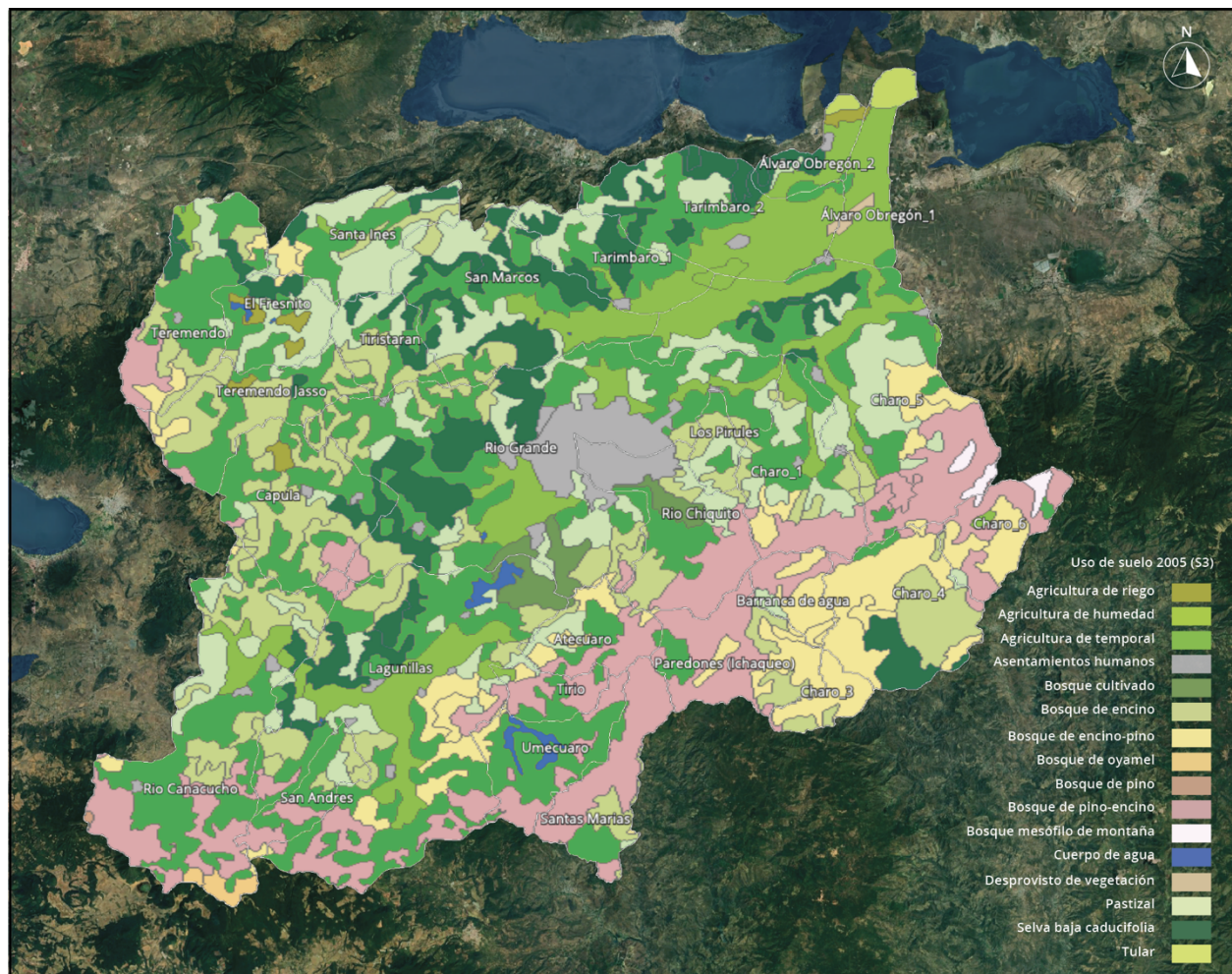
Tabla 8.28. Cambio de uso de suelo de bosques y asentamientos humanos 2005-2021

MICROCUCENCA	CAMBIO EN LA SUPERFICIE DE BOSQUES	CAMBIO EN LA SUPERFICIE DE A. HUMANOS
Álvaro Obregón 1	-	3.39
Álvaro Obregón 2	-	0.62
Atécuaro	22.42	-
Barranca de agua	10.37	-
Capula	21.51	2.33
Charo_1	25.58	1.60
Charo_3	0.51	-
Charo_4	4.93	-
Charo_5	49.47	10.68
Charo_6	12.67	-
El Fresno	-	-
Lagunillas	31.14	4.55
Los Pirules	5.97	8.59
Paredones (Ichaqueo)	38.57	-
Rio Canacucho	12.08	2.23
Rio Chiquito	25.96	3.39
Rio Grande	8.71	68.77
San Andrés	6.36	0.66
San Marcos	-	1.55
Santa Inés	-	-
Santas Marías	38.35	-
Tarímbaro_1	-	3.96
Tarímbaro_2	-	4.23
Teremendo	0.59	0.50
Teremendo Jasso	2.56	-
Tirio	10.49	-
Tiristarán	-	0.39
Umécuaro	12.14	-
	340.38	117.44

Fuente: Elaboración propia con base en información de INEGI [15]

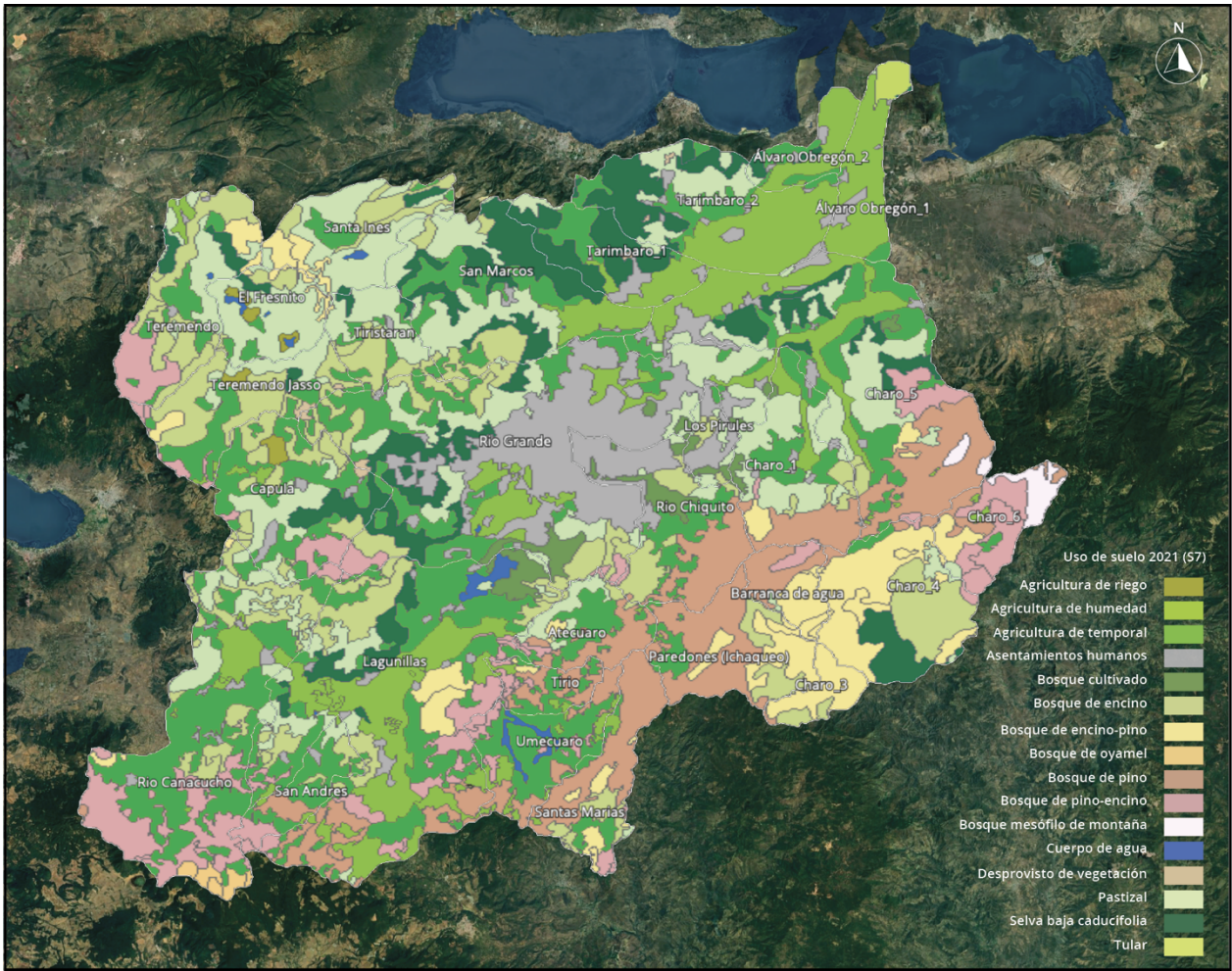
El área boscosa tuvo una reducción en el periodo de evaluación de 34 mil hectáreas, donde el 46.3% se ubica en sólo 4 microcuencas, esto es: Charo_5 (14.5%), Paredones (11.3%), Santa Marías (11.3%) y Lagunillas (9.1%). En lo que respecta a la categoría de asentamientos humanos el mayor incremento se localiza en la microcuenca de Rio Grande con 6,900 ha que representa el 58.6% del cambio total en la ZdE, seguida de Charo_5 y Los Pirules con 9.1% y 7.3% respectivamente.

Figura 8.7. Uso del suelo de la serie III (2005) del INEGI



Fuente: Elaboración propia con base en información de INEGI [15].

Figura 8.8. Uso del suelo de la serie VII (2021) del INEGI



Fuente: Elaboración propia con base en información de INEGI [15].

Referencias

- [1] **BANCO MUNDIAL, 2015.** Índice mundial de gobernanza 2015 para México.
- [2] **BANCO MUNDIAL, 2024.** Indicadores mundiales de gobernanza:
<https://databank.worldbank.org/source/worldwide-governance-indicators#>
- [3] **CASTELLANOS, 2021.** Metodología para evaluar la vulnerabilidad y el riesgo ante la sequía en los organismos operadores de agua potable (OOAPAS) de México. Castellanos Heydi.
- [4] **CENAPRED, 2017.** Actualización del índice de vulnerabilidad por inundación 2016.
- [5] **CENAPRED, 2023.** Declaratorias por fenómenos hidrometeorológicos por municipio (2000-2023). Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED).
- [6] **CENAPRED, 2024.** Indicadores municipales de vulnerabilidades ante inundaciones,
<http://www.atlasnacionalderiesgos.gob.mx/>
- [7] **CONAGUA-UAZ, 2015.** Programa de Medidas Preventivas y de Mitigación de la Sequía del Consejo de Cuenca Lerma-Chapala (PMPMS-CCLCH). Universidad Autónoma de Zacatecas. SEMARNAT-CONAGUA.
- [8] **CONAGUA, 2021.** Vulnerabilidades Económica, Social y Ambiental en los municipios de la República Mexicana, Subdirección General Técnica.
- [9] **CONAGUA, 2021.** Gobierno de México - Calidad del Agua en México. From Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) :
<https://www.gob.mx/conagua/articulos/calidad-del-agua>
- [10] **DOF, 2023.** ACUERDO por el que se actualiza la disponibilidad media anual de agua subterránea de los 653 acuíferos de los Estados Unidos Mexicanos, mismos que forman parte de las regiones hidrológico-administrativas que se indican.
- [11] **GAIN, 2016.** Water security for growth and development. Gain A. K., Giupponi, C. & Wada, Y.
- [12] **IMPLAN, 2023.** Actualización del Atlas de Riesgo de la ciudad de Morelia, Michoacán.
- [13] **IMTA, 2005.** Estudio del manejo de aguas pluviales en la zona urbana de la ciudad de Morelia, OOAPAS.
- [14] **IMTA, 2022.** Introducción a la seguridad hídrica. IMTA. Colección Investigación. Alberto Rojas Rueda y Velitchko G. Tzatchkov (Coordinadores)
- [15] **INEGI, 2024.** Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Uso del suelo y vegetación, escala 1:250 000, serie III, serie VI y serie VII (Conjunto nacional): <https://www.inegi.org.mx/temas/ususuelo/#Descargas>
- [16] **INEGI, 2020.** Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Censo de Población y Vivienda 2020:
<https://www.inegi.org.mx/programas/ccpv/2020/#microdatos>
- [17] **ORTEGA-GAUCIN, 2018.** Peligro, vulnerabilidad y riesgo por sequía en el contexto del cambio climático en México. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, Jiutepec, Mor. Ortega-Gaucin, D.; de la Cruz B., J., Castellano B., H.V.
https://www.imta.gob.mx/biblioteca/libros_html/ccambio-climatico/agua-cambio-climatico.pdf
- [18] **SMN-CONAGUA, 2021.** Monitor de Sequía en México - Intensidad de sequía por municipios. From Servicio Meteorológico Nacional de México (SMN) - Comisión Nacional del Agua (CONAGUA):
<https://smn.conagua.gob.mx/es/climatologia/monitor-de-sequia/monitor-de-sequia-en-mexico>
- [19] **UN-WATER, 2013.** Water security and the global water agenda. A UN-Water Analytical Brief. Hamilton, Ontario L8P 0A1 Canada: United Nation University.

9. Hoja de ruta 2024-2050



► 9.1 Políticas, estrategias y acciones

De acuerdo con el análisis de la problemática de seguridad hídrica y los hallazgos sobre los riesgos asociados, así como con el objeto de asegurar una correcta implementación de los proyectos que fueron identificados para garantizar el agua para Morelia al 2050, es necesario impulsar un conjunto de políticas públicas debidamente articuladas en cuatro ejes complementarios (**Figura 9.1**); esto es: el manejo de los riesgos y sus impactos; el mejoramiento del sistema de abastecimiento; la gestión integral del agua; y la sustentabilidad ambiental.

Figura 9.1. Ejes de la seguridad hídrica al 2050



Fuente: Elaboración propia

El elemento común de las distintas políticas propuestas es hacer el mejor uso del recurso hídrico y aumentar la oferta. Esto sólo es posible mediante la protección y conservación de las microcuencas y en consecuencia de la cuenca hasta el lago de Cuitzeo, lo que implica una serie de políticas, estrategias y acciones orientadas a seguir manteniendo la infraestructura natural donde se genera y recarga el agua superficial y subterránea con un valor preponderante en términos de su localización, características potenciales para el abastecimiento, disponibilidad actual y futura de agua, mejoramiento de la infraestructura de suministro actual y condiciones administrativas y legales, así como implicaciones políticas y sociales, mismas que se organizan en los cuatro ejes de trabajo.

Políticas, estrategias y acciones vinculadas con el manejo de los riesgos e impactos identificados.

En consideración de la valoración del riesgo en términos temporales y de magnitud para el eje de Manejo de Riesgos, se identificaron dos conceptos (sequías e inundaciones) y para cada uno los respectivos objetivos, estrategias, políticas y acciones recomendadas para mitigar o evitar dichos riesgos y sus respectivos impactos (**Tabla 9.1**).

Tabla 9.1. Eje de manejo de riesgos (MR)

CONCEPTO	OBJETIVO	POLÍTICAS	ESTRATEGIAS	ACCIONES
SEQUIÁS				
Manejo de riesgos de sequía	Reducir el nivel de vulnerabilidad ante sequías	MR.1 Fomentar la Gestión integral de la sequía y cultura de prevención en la ZdE	MR.1.1 Integrar un programa de medidas preventivas y de mitigación de la sequía (PMPMS) para la ZdE	● Planificación e integración del PMPMS ● Crear nuevas reservas de agua (LAN) ● Realizar campañas de sensibilización a la población para el buen uso del agua ● Capacitación a usuarios del agua (incluye difusión del PMPMS) ● Aseguramiento agrícola ante daños por sequía ● Racionamiento en la distribución del agua a la ciudad y al riego durante las diversas fases de la sequía ● Racionamiento en la distribución del agua a la ciudad y al riego.
			MR.1.2 Desarrollar e implementar un sistema de alerta temprana ante sequías	● Fortalecer los sistemas de información hidrológica y meteorológica * ● Mejorar la confiabilidad y la oportunidad de los pronósticos meteorológicos. ● Desarrollo e implementación de productos y servicios sectoriales ● Desarrollo e implementación de protocolos de acción (incluye capacitación y difusión)
INUNDACIONES				
Manejo de riesgos de inundación.	Reducir la vulnerabilidad y el riesgo ante inundaciones	MR.2 Impulsar la Gestión integral y cultura de prevención y protección ante inundaciones	MR.2.1 Desarrollar infraestructura considerando soluciones basadas en la naturaleza.	● Plan de acción para la reducción de la vulnerabilidad y la protección de la población, sus bienes y los ecosistemas ante inundaciones ● Desarrollo de capacidades para el monitoreo y pronóstico de las inundaciones
			MR.2.2 Desarrollar infraestructura considerando soluciones basadas en la naturaleza.	● Desarrollar, construir y mantener proyectos para la construcción, operación y mantenimiento de infraestructura en cauces, priorizando medidas de ABE y de infraestructura verde
			MR.2.3 Fortalecer las capacidades para proteger los centros de población y zonas productivas para reducir las pérdidas de vidas humanas y daños materiales derivadas de inundaciones	● Identificar y proteger zonas naturales que permiten regular escurrimientos y mitigar el impacto de inundaciones, ● Conservar y rehabilitar el equipamiento para la atención de emergencias ● Ampliar la capacidad de los Centros Regionales de Atención de emergencias, ● Brindar servicios de agua potable, alcantarillado y saneamiento de manera emergente y temporal a las poblaciones que lo requieran

Fuente: Elaboración propia

Políticas, estrategias y acciones para mejorar el sistema de abastecimiento.

En cuanto al eje de Mejoramiento en el sistema de abastecimiento de la capital del estado, se identifican dos conceptos: el de eficiencia (disminución de pérdidas) y el de eficiencia física (más agua entregada), los cuales se orientan a optimizar la operación, mantenimiento, y modernización del sistema mediante la identificación y aplicación de prácticas y tecnologías innovadoras en el sector agua y relacionadas y para ello se fijan sus respectivos objetivos. Políticas, estrategias y acciones (**Tabla 9.2**).

Tabla 9.2. Eje de mejoramiento en el sistema de abastecimiento de la capital del estado (SAB)

CONCEPTO	OBJETIVO	POLÍTICAS	ESTRATEGIAS	ACCIONES
EFICIENCIA – DISMINUCIÓN DE PÉRDIDAS				
Mejoramiento de eficiencia (disminución de pérdidas)	Que el OOAPAS de Morelia reduzca las pérdidas físicas en la red del servicio	SAB.1 Establecer un marco conceptual para la gestión integral y prioritaria de las incidencias de fugas en la red de distribución	SAB.1.1 Medición de caudales y presiones	• Construcción (sustitución) de la conducción de agua de la Presa Cointzio a la Planta Potabilizadora Vista Bella, con una longitud de 13 km y diámetro de 36 pulgadas. • Sustitución de línea de conducción (Canal Manantial San Miguel a Planta Potabilizadora Ocolusen. • Sustitución de líneas de distribución en distritos hidrométricos. La extensión de la red es de 190 km de diversos diámetros. • Sustitución de 47,329 tomas domiciliarias con problemas de fugas. • Sustitución de la línea de 6 pulgadas del rebombero San Pascual con longitud de 3 km, por una tubería de 8 pulgadas (la actual presenta problemas de fugas recurrentes). • Operación de fuentes de suministro y control de niveles de agua en tanques por sistema de telemetría desde un centro de control. • Reposición de los 40 macromedidores ubicados en las fuentes de suministro que se encuentran dañados.
EFICIENCIA – MÁS AGUA ENTREGADA				
Mejoramiento de Eficiencia Física (más aguas entregadas)	Que el OOAPAS de Morelia aumente la oferta de agua a los usuarios en el servicio	SAB.2 Promover la sectorización y balance de presiones en la red de distribución y ampliación de capacidades de almacenamiento y captación	SAB.2.1 Sectorizar e implementar distritos hidrométricos	• Terminación del Aquaférico (Tramo salida a Charo - Salida a Mil Cumbres) • Construcción, interconexión, equipamiento de válvulas, medidores de presión, de gasto y telemetría de distritos hidrométricos • Red de refuerzo para el mejoramiento de la operación. Se requieren 16.52 km. • Número de cortes de tubería para delimitar los nuevos distritos hidrométricos. No. de cortes 288. • Suministro e instalación de macromedidores y registros de control de medición: 37 sitios. • Actualización del Catastro técnico de la red de distribución con equipo de video inspección de tuberías: En los sectores: 1, 8 y 4, con un total de red de 399 km; y un total de tomas activas de 50,308. • Adquisición de equipos de cómputo (2) de alta capacidad para el manejo del modelo hidráulico de la red. • Automatización de 17 fuentes de suministro para apagado y arranque, así como de nivel en tanques. • Banco de prueba de medidores domiciliarios • Banco de pruebas de macromedidores incluye remodelación de oficina y adecuación de área en que se ubicará el banco de pruebas. • Incrementar la capacidad de almacenamiento del cárcamo de bombeo La Mintzita a 11,000 m³ e incrementar la capacidad del rebombero. • Incrementar la capacidad de almacenamiento en la Planta potabilizadora Vista Bella a 11,000 m³. El Tanques 1 y 2 ubicados en la Planta Potabilizadora Vista Bella tienen capacidad para almacenar en su conjunto un volumen de 8,100 m³. • Proyecto para mejorar el desalojo de los depósitos de partículas en los tanques sedimentadores de la Planta Potabilizadora La Mintzita. • Estudio Geohidrológico del acuífero que aporta agua al manantial la Mintzita

Fuente: Elaboración propia

Políticas, estrategias y acciones para la gestión integral del agua.

El reemplazo de fuentes, la mitigación de los impactos de la sobreexplotación y mejorar la calidad del agua son los conceptos que orientan las políticas y estrategias de la gestión integral de las aguas en la ZdE.

El reto hídrico de asegurar el agua para la capital al 2050 implica manejar conjuntamente el agua superficial y subterránea de manera diferente. Los proyectos de reúso e intercambio son emblemáticos como los descritos de manera detallada en el capítulo 6 de análisis prospectivo. Estos proyectos deben de incluir además de los aspectos técnicos y operativos las acciones adicionales de gobernanza, de estudios y proyectos de saneamiento. La instrumentación de la cuenca para mantener actualizado el balance hidrológico para gestionar las aguas subterráneas y superficiales es indispensable, así como mejorar la calidad del agua mediante la separación de las aguas pluviales de las residuales, mismas que deben sanearse a través de la modernización de la infraestructura de tratamiento. Los incentivos para reusar el agua en la industria (economía circular) también contribuye al manejo conjunto de las aguas (**Tabla 9.3**).

Tabla 9.3. Eje de gestión integral de las aguas (GIA)

CONCEPTO	OBJETIVO	POLÍTICAS	ESTRATEGIAS	ACCIONES
MAXIMIZAR APROVECHAMIENTO DE AGUA				
Reemplazo de fuentes de agua	Maximizar el aprovechamiento del agua existente en la cuenca para consumo humano sin afectar a otros usos	GIA.1 Promover el manejo integrado de las aguas superficiales y subterráneas para garantizar el suministro sostenible para consumo humano	GIA.1.1 Mantener actualizado el balance de agua de la cuenca para adecuar la política de distribución y asignación de agua de las fuentes de abastecimiento de Morelia	Instrumentar la cuenca para medir el ciclo hidrológico completo
			GIA.2.1 Ampliar la capacidad de conducción de agua residual municipal	- Terminación de Colectores hasta conexión al Colector Marginal Derecho: Arroyo de Jesús del Monte, Santa María, Arroyo blanco - Terminación de Colectores hasta su conexión al Emisor de Aguas residuales: Canal Torreón Nuevo, En medio.
			GIA.2.2 Ampliar la capacidad de tratamiento de la PTAR de Atapaneo, para ofertarla conducida al riego tecnificado	- Ampliar la capacidad de tratamiento de la PTAR Atapaneo en 600 lps - Construir un módulo de tratamiento terciario en la PTAR Atapaneo
		GIA.2 Promover un enfoque de intercambio intersectorial del agua para fomentar una gestión sostenible y equitativa de los recursos hídricos	GIA.2.3 Llevar agua tratada de calidad agrícola a los módulos II, III y IV del DR020 a través de conducciones cerradas, para evitar las pérdidas de conducción	Construir una línea de conducción para un gasto del orden de 600 lps para un volumen anual de 18.92 Hm³
			GIA.3.1 Entregar agua tratada de la PTAR Itzicuaros a papelera, con nivel de conductividad requerido	Construir un módulo adicional de ultrafiltración (Ósmosis Inversa) en la PTAR Itzicuaros
			GIA.3 Establecer un marco integral para el reúso directo del agua tratada	
		GIA.4 Reúso indirecto del agua	GIA.4.1 Asegurar una mayor oferta y de mejor calidad de aguas tratadas (Atapaneo)	Ampliar la PTAR Atapaneo, con un cárcamo de bombeo y una línea "morada" de conducción de agua tratada hacia la Zona de Ciudad Industrial
			GIA.4.2 Aumentar la oferta de Agua Potable a los habitantes de la ciudad	- Construir un tanque de aireación y mezclado da aguas tratadas y de primer uso. - Construir una Planta Potabilizadora aguas abajo de PTAR Atapaneo, para potabilizar aguas mezcladas, - Perforar 5 pozos profundos (para mezclar con agua tratada) - Construir línea de conducción y conexión a Aquaférico.

MITIGAR SOBRE-EXPLOTACIÓN DE ACUÍFEROS				
Mitigar el impacto de la sobreexplotación de acuíferos	Reducir el impacto de la sobreexplotación del acuífero en la explotación actual de agua subterránea para consumo humano	GIA.5 Promover el manejo sostenible de los recursos hídricos de la zona urbana, evitando la creación de conos de abatimiento a través de una adecuada gestión de la infraestructura de extracción de agua subterránea	GIA.5.1 Adecuar la ubicación de la infraestructura de extracción de agua subterránea	Relocalizar pozos para consumo humano en la zona urbana
		GIA.6 Fomentar prácticas sostenibles que minimicen las descargas municipales e industriales a los cuerpos de agua garantizando la protección de los recursos hídricos de Morelia	GIA.6.1 Reglamentar el acuífero y las aguas superficiales de manera conjunta	Realizar y publicar los estudios justificativos y proyecto de decreto para la reglamentación
			GIA.6.2 Crear la gobernanza para desarrollar e implementar la reglamentación de las aguas	Crear la Comisión de Cuenca para conducir el ordenamiento
MEJORAR LA CALIDAD DEL AGUA				
Mejorar la calidad del agua de las	Sanear el río Grande de Morelia	GIA.7 Fomentar prácticas sostenibles que minimicen las descargas municipales	GIA.7.1 Separar las aguas pluviales de las del drenaje sanitario	- Construir infraestructura pluvial para captar y aprovechar el agua en Morelia - Rehabilitar el sistema de alcantarillado y colectores marginales a los ríos Grande y Chiquito
corrientes de la cuenca		e industriales a los cuerpos de agua, garantizando la protección de los recursos hídricos de Morelia	GIA.7.2 Mejorar el nivel de tratamiento de las aguas residuales municipales para su reúso y no descargar en el río Grande	Modernizar las plantas de tratamiento de aguas residuales
			GIA.7.3 Incentivar el reúso del agua municipal e industrial	Implementar un programa de economía circular en los parques industriales e industrias aisladas

Fuente: Elaboración propia

Políticas, estrategias y acciones en materia de sustentabilidad ambiental.

Desde un enfoque sistémico e integral para la restauración, protección y el pleno aprovechamiento de la infraestructura natural de las diferentes microcuencas y corrientes en la zona con el propósito de contribuir a la seguridad hídrica, se considera relevante el desarrollo e implementación de objetivos, políticas, estrategias y acciones específicas para contribuir a la sustentabilidad ambiental mediante los siguientes cuatro conceptos: las soluciones basadas en la naturaleza (recarga artificial y natural de acuíferos) en las microcuencas, la protección de las zonas de recarga, las áreas naturales protegidas y el aprovechamiento del agua pluvial en la capital (**Tabla 9.4**).

Tabla 9.4. Eje de sustentabilidad ambiental (SA)

CONCEPTO	OBJETIVO	POLÍTICAS	ESTRATEGIAS	ACCIONES
RECARGA DE ACUÍFEROS				
Soluciones basadas en la naturaleza (SBN)	Incrementar la infiltración de agua	SA.1 Fomentar la utilización de todos los cauces naturales como espacios para la infiltración de agua, promoviendo la sostenibilidad hídrica de la región. SA.2 Fomentar el desarrollo de capacidades locales en SBN.	SA.1.1 Convenir con las comunidades locales para la instalación y mantenimiento de SBN para infiltrar agua	Establecer e implementar el programa metropolitano de recarga
			SA.2.1 Formar técnicos y habitantes de las comunidades en el diseño y mantenimiento de SBN	- Crear y operar un programa de capacitación sobre diseño, construcción y mantenimiento de SBN - Desarrollar y publicar manuales de SBN
Protección de zonas de recarga	Proteger y restaurar las zonas de recarga	SA.3 Promover la conservación y uso sostenible de zonas de vegetación natural para la recarga hídrica.	SA.3.1 Convenir con las comunidades locales para la protección y mantenimiento de la zona de recarga	Delimitar y emitir declaratorias de protección para las zonas de recarga
	Restaurar las zonas identificadas para conservación	SA.4 Recuperar administrativamente las zonas por conservar	SA.4.1 Oficializar los POEL como obligatorios	Actualizar y vigilar el cumplimiento de los POEL
		SA.5 Fomentar la protección de las áreas destinadas a conservación, promoviendo su permanencia frente a presiones de cambio de uso del suelo	SA.5.1 Establecer mecanismos económicos que estimulen la protección de las áreas para conservación	Implementar un programa de incentivos para recuperar las zonas para conservación
ÁREAS NATURALES PROTEGIDAS				
Áreas Naturales Protegidas	Ampliar, restaurar y proteger las áreas naturales	SA.6 Promover la gestión sostenible de las Áreas Naturales Protegidas, integrando su conservación con prácticas productivas ambientalmente responsables.	SA.6.1 Convenir con las comunidades locales para la declaración y el mantenimiento de las áreas naturales protegidas	- Realizar acuerdos con las comunidades donde se encuentran las ANP's - Decretar áreas naturales protegidas
			SA.6.2 Todas las ANP deben ser sustentables ambiental y financieramente	Generar modelos de negocio para las ANP con fondos nacionales e internacionales
Aprovechamiento de agua pluvial en la capital	Aprovechar el agua de lluvia para infiltración y mitigación de inundaciones	SA.7 Promover la integración de los parques urbanos como sistemas de captación y aprovechamiento de aguas pluviales en la planificación urbana.	SA.7.1 Ampliar el número de parques urbanos y áreas verdes	Actualizar los códigos urbanos para desarrollar áreas urbanas, impacto hidrológico 0
			SA.7.2 Formar técnicos y habitantes de las comunidades en el diseño y mantenimiento de sistemas de captación y aprovechamiento de agua de lluvia	- Crear y operar un programa de capacitación sobre diseño, construcción y mantenimiento de obras de captación y aprovechamiento de agua de lluvia - Desarrollar y publicar manuales para el diseño, construcción, operación y mantenimiento de obras de captación y aprovechamiento de agua de lluvia
			SA.7.3 Promover la captación y aprovechamiento de agua de lluvia entre los proveedores de materiales y servicios	Apoyar la formación de empresas e industrias proveedoras de materiales y servicios para captar y aprovechar el agua de lluvia

Fuente: Elaboración propia

Conforme a la tabla anterior, el desarrollo del proyecto “Programa de Metropolitano de Recarga”, es la acción más relevante en cuanto al incremento en la oferta de agua subterránea buscando equilibrar el déficit existente y su impacto en los aprovechamientos actuales. Sin embargo, requiere de muchas otras acciones desde la perspectiva de sustentabilidad ambiental que requieren ejecutarse para lograr la seguridad hídrica. Dichas acciones se refieren al ámbito legal, administrativo, técnico, social y operativo (capacitación).

Es decir, la seguridad hídrica se logra con la protección desde el ámbito legal y administrativo incluyendo la vigilancia del cumplimiento, así como el establecer acuerdos con los propietarios asegurando no solo la garantía social sino su colaboración en el cuidado y mantenimiento de las áreas naturales protegidas y las zonas de recarga.

► 9.2 Presupuesto y Financiamiento

Conforme a las acciones identificadas para cada uno de los cuatro ejes de trabajo, se estableció el costo de implementación al corto (2030), mediano (2040) y largo (2050) plazos. Esta determinación permite visualizar que la mayoría de las acciones, y en particular aquellas orientadas hacia aumentar la oferta de agua para la capital, no son solo construir la infraestructura, sino también mantenerlas operando a través de mantenimiento y actualización. Esto último es más relevante en las acciones que se relacionan con la generación de nuevas normatividades o manuales y la formación de capacidades. El principio que está detrás de alcanzar la seguridad hídrica al 2050 es la mejora e innovación continua además de la inversión en mantenimiento.

Es así como el monto total de la inversión asciende a \$22.4 miles de millones de pesos. El eje de gestión de los riesgos ocupa el 9% del total del presupuesto, al igual que la mejora del sistema de abastecimiento, seguidos del eje de sustentabilidad ambiental con el 12%; en tanto que el eje de gestión integral del agua representa el mayor porcentaje con 69%, del cual la mayor proporción se desembolsaría en el mediano plazo (74%).

Presupuesto 2025-2050

Manejo de los riesgos e impactos (MR)

La inversión necesaria en el eje MR asciende a \$2.1 miles de millones de pesos, con un ritmo de desembolso mayor en el mediano y largo plazo; es decir, el 73.2% de ese monto a ser desembolsado entre el 2030 y el 2050.

Tabla 9.4. Presupuesto para el eje de manejo de los riesgos (MR)

ACCIONES	PRESUPUESTO [en mdp]			
	2030	2040	2050	TOTAL
SEQUIÁS	209.00	397.00	407.00	1,013.00
MR.1.1.1 Planificación e integración del PMPMS	9.00	17.00	17.00	43.00
MR.1.1.2 Crear nuevas reservas de agua (LAN)	10.00		10.00	20.00
MR.1.1.3 Realizar campañas de sensibilización a la población para el buen uso del agua	10.00	20.00	20.00	50.00
MR.1.1.4 Capacitación a usuarios del agua (incluye difusión del PMPMS)	5.00	10.00	10.00	25.00
MR.1.1.5 Aseguramiento agrícola ante daños por sequía	150.00	300.00	300.00	750.00
MR.1.1.6 Racionamiento en la distribución del agua a la ciudad y al riego durante las diversas fases de la sequía	10.00	20.00	20.00	50.00
MR.1.2.1 Fortalecer los sistemas de información hidrológica y meteorológica (ver GIA.1.1.1)				-
MR.1.2.2 Mejorar la confiabilidad y la oportunidad de los pronósticos meteorológicos.	5.00	10.00	10.00	25.00
MR.1.2.3 Desarrollo e implementación de productos y servicios sectoriales (incl. capacitación)	5.00	10.00	10.00	25.00
MR.1.2.4 Desarrollo e implementación de protocolos de acción (incl. capacitación y difusión)	5.00	10.00	10.00	25.00
INUNDACIONES	365.00	372.00	372.00	1,109.00
MR.2.1.1 Plan de acción para la reducción de la vulnerabilidad y la protección de la población	9.00	17.00	17.00	43.00
MR.2.1.2 Desarrollo de capacidades para el monitoreo y pronóstico de las inundaciones	7.50	15.00	15.00	37.50
MR.2.2.1 Construcción, operación y mantenimiento de infraestructura en cauces (ABE e infraestructura verde)	150.00	200.00	200.00	550.00
MR.2.3.1 Identificar y proteger zonas naturales para regular escurrimientos y mitigar el impacto de inundaciones	10.00	10.00	10.00	30.00
MR.2.3.2 Conservar y rehabilitar el equipamiento para la atención de emergencias	50.00	50.00	50.00	150.00
MR.2.3.3 Crear y mantener la capacidad del Centro Regional de Atención de emergencias	120.00	60.00	60.00	240.00
MR.2.3.4 Brindar servicios de agua potable emergente y temporal a las poblaciones que lo requieran	10.00	20.00	20.00	50.00
TOTAL	565.50	769.00	779.00	2,113.50

Fuente: Elaboración propia

Mejoramiento del sistema de abastecimiento (SAB)

La inversión necesaria en el eje de trabajo de mejoramiento del sistema de abastecimiento a \$2.1 miles de millones de pesos, de los cuales el 56.7% corresponde a acciones para aumentar el volumen de agua entregada mejorando la eficiencia física del sistema; en tanto que el 43.3% restante se relaciona con la disminución de pérdidas. Dada la prioridad de fortalecer y mejorar el estado actual y manejo del sistema de abastecimiento, el 56.3% del presupuesto en este sentido sería ejecutado dentro de los primeros cinco años (2025-2030).

Tabla 9.6. Presupuesto para el eje de mejoramiento del sistema de abastecimiento (SAB)

ACCIONES	PRESUPUESTO [en mdp]			
	2030	2040	2050	TOTAL
EFICIENCIA - DISMINUCIÓN DE PÉRDIDAS	678.85	115.24	115.23	909.32
SAB.1.1.1 Línea de conducción P. Cointzio - Planta Potabilizadora Vista Bella (longitud: 13 km, diámetro: 36")	379.02			379.02
SAB.1.1.2 Sustitución de línea de conducción (Canal Manantial San Miguel a Planta Potabilizadora Ocolusen.	27.54			27.54
SAB.1.1.3 Sustitución de líneas de distribución en distritos hidrométricos (longitud 190 km de diversos diámetros)	115.24	115.24	115.23	345.71
SAB.1.1.4 Sustitución de 47,329 tomas domiciliarias en Distritos hidrométricos con problemas de fugas.	61.67			61.67
SAB.1.1.5 Sustitución de la línea de 6 pulgadas del rebombeo San Pascual (longitud de 3 km diámetro 8 ")	4.69			4.69
SAB.1.1.6 Operación telemétrica de fuentes de suministro y control de niveles de agua en tanques	54.41			54.41
SAB.1.1.7 Reposición de los 40 macromedidores	36.28			36.28
EFICIENCIA – MÁS AGUA ENTREGADA	501.64	249.94	436.75	1,188.33
SAB.2.1.1 Terminación del Acuaférico (Tramo salida a Charo - Salida a Mil Cumbres)	70.00			70.00
SAB.2.1.2 Construcción, interconexión, equipamiento de distritos hidrométricos	190.00	190.00	190.00	570.00
SAB.2.1.3 Red de refuerzo para el mejoramiento de la operación. Se requieren 16.52 km.	25.83			25.83
SAB.2.1.4 Número de cortes de tubería para delimitar los nuevos distritos hidrométricos. No. de cortes 288.	0.45			0.45
SAB.2.1.5 Suministro e instalación de macromedidores y registros de control de medición: 37 sitios.	185.00		212.75	397.75
SAB.2.1.6 Actualización del Catastro técnico de la red de distribución	5.90			5.90
SAB.2.1.7 Adquisición de equipos de cómputo (2) para el manejo del modelo hidráulico de la red.	0.13			0.13
SAB.2.1.8 Automatización de 17 fuentes de suministro para apagado y arranque, así como de nivel en tanques.	17.00		34.00	51.00
SAB.2.1.9 Banco de prueba de medidores domiciliarios	0.48			0.48
SAB.2.1.10 Banco de pruebas de macromedidores	2.61			2.61
SAB.2.1.11 Incrementar la capacidad de almacenamiento del cárcamo de bombeo La Mintzita		45.61		45.61
SAB.2.1.12 Incrementar la capacidad de almacenamiento en la Planta potabilizadora Vista Bella		14.33		14.33
SAB.2.1.13 Proyecto para mejora de tanques sedimentadores de la Planta Potabilizadora La Mintzita.	0.59			0.59
SAB.2.1.14 Estudio geohidrológico del acuífero que aporta agua al manantial la Mintzita	3.65			3.65
	1,180.49	365.18	551.98	2,097.65

Fuente: Elaboración propia

Gestión integral de las aguas (GIA)

La inversión necesaria en el eje de trabajo de gestión integral de las aguas asciende a \$15.4 miles de millones de pesos, de los cuales el mayor porcentaje (73.9%) sería ejecutado entre los años 2031 y 2040.

Tabla 9.7. Presupuesto para el eje de gestión integral de las aguas (GIA)

ACCIONES	PRESUPUESTO [en mdp]			
	2030	2040	2050	TOTAL
MAXIMIZAR APROVECHAMIENTO DE AGUA	2,017.50	140.00	634.00	2,791.50
GIA.1.1.1 Instrumentar la cuenca para medir el ciclo hidrológico completo (medición hidrométrica)	28.00	140.00	150.00	318.00
GIA.2.1.1 Terminación de colectores hasta Colector Marginal Derecho	200.00	-	-	200.00
GIA.2.1.2 Terminación de Colectores hasta Emisor de Aguas residuales del Canal	150.00	-	-	150.00
GIA.2.2.1 Ampliar la capacidad de tratamiento (lps) de la PTAR Atapaneo en 600 lps	954.00	-	-	954.00
GIA.2.2.2 Construir un módulo de tratamiento terciario en la PTAR Atapaneo	190.00	-	-	190.00
GIA.2.3.1 Construir una línea de conducción para un gasto del orden de 600 lps	236.50	-	-	236.50
GIA.3.1.1 Construir un módulo adicional de ultrafiltración (Osmosis Inversa) en la PTAR Itzicuaros	160.00	-	-	160.00
GIA.4.1.1 Ampliación PTAR Atapaneo: cárcamo de bombeo, línea de conducción "morada" ART hacia CIMO	99.00	-	-	99.00
GIA.4.2.1 Construir un tanque de aireación y mezclado da aguas tratadas y de primer uso.			45.00	45.00
GIA.4.2.2 Construir una Planta Potabilizadora aguas abajo de PTAR Atapaneo, para potabilizar aguas mezcladas			200.00	200.00
GIA.4.2.3 Perforar 5 pozos profundos (para mezclar con agua tratada)			135.00	135.00
GIA.4.2.4 Construir línea de conducción y conexión a Acuaférico.			104.00	104.00
MITIGAR SOBRE-EXPLOTACIÓN DE ACUÍFEROS	608.50	30.00	512.00	1,150.50
GIA.5.1.1 Relocalizar pozos para consumo humano en la zona urbana	488.50	10.00	492.00	990.50
GIA.6.1.1 Realizar y publicar los estudios justificativos y proyecto de decreto para la reglamentación	115.00	10.00	10.00	135.00
GIA.6.2.1 Crear la Comisión de Cuenca para conducir el ordenamiento	5.00	10.00	10.00	25.00
MEJORAR LA CALIDAD DEL AGUA	55.50	11,225.00	195.00	11,475.50
GIA.7.1.1 Construir infraestructura pluvial para captar y aprovechar el agua en Morelia	23.50	4,105.00	105.00	4,233.50
GIA.7.1.2 Rehabilitar el sistema de alcantarillado y colectores marginales a los ríos Grande y Chiquito	12.00	7,080.00	50.00	7,142.00
GIA.7.2.1 Modernizar las PTAR (ver GIA 2.2.1, GIA.2.2.2, GIA.3.1.1, GIA.4.1.1)				-
GIA.7.3.1 Implementar un programa de economía circular en los parques industriales e industrias aisladas	20.00	40.00	40.00	100.00
	2,681.50	11,395.00	1,341.00	15,417.50

Fuente: Elaboración propia

Sustentabilidad ambiental

La inversión necesaria en el eje de trabajo de sustentabilidad ambiental asciende a \$2.8 miles de los cuales el 35.7% se ejecutarán durante los próximos cinco años (2025 al 2030), el 22% entre el 2031 y el 2040 y el 42.3% restante del 2041 al 2050.

Tabla 9.8. Presupuesto para el eje de sustentabilidad ambiental (SA)

ACCIONES	PRESUPUESTO [en mdp]			
	2030	2040	2050	TOTAL
RECARGA DE ACUÍFEROS	867.25	365.00	930.00	2,160.25
SA.1.1.1 Establecer e implementar el programa metropolitano de recarga	858.50	350.50	917.50	2,126.50
SA.2.1.1 Crear y operar un programa de capacitación sobre diseño, construcción y mantenimiento de SBN	7.25	12.50	12.50	32.25
SA.2.1.2 Desarrollar y publicar manuales de SBN	1.50			1.50
PROTECCIÓN DE ZONAS DE RECARGA	40.90	65.50	70.70	177.10
SA.3.1.1 Delimitar y emitir declaratorias de protección para las zonas de recarga	2.70	20.00	15.00	37.70
SA.4.1.1 Actualizar y vigilar el cumplimiento de los POEL	19.70	30.50	37.20	87.40
SA.5.1.1 Implementar un programa de incentivos para recuperar las zonas para conservación	18.50	15.00	18.50	52.00
ÁREAS NATURALES PROTEGIDAS	27.00	51.50	50.50	129.00
SA.6.1.1 Realizar acuerdos con las comunidades donde se encuentran las ANP's	4.00	15.50	15.50	35.00
SA.6.1.2 Decretar áreas naturales protegidas	3.00	20.00	15.00	38.00
SA.6.2.1 Generar modelos de negocio para las ANP con fondos nacionales e internacionales	20.00	16.00	20.00	56.00
APROVECHAMIENTO DE AGUA PLUVIAL	65.00	135.00	132.00	332.00
SA.7.1.1 Actualizar los códigos urbanos para desarrollar áreas urbanas, impacto hidrológico 0	3.00	20.00	15.00	38.00
SA.7.2.1 Crear y operar un programa de capacitación sobre aprovechamiento de agua de Lluvia	50.00	100.00	100.00	250.00
SA.7.2.2 Desarrollar y publicar manuales para el aprovechamiento de agua de lluvia	2.00		2.00	4.00
SA.7.3.1 Apoyar la formación de empresas e industrias proveedoras para captar y aprovechar el agua de lluvia	10.00	15.00	15.00	40.00
	1,000.15	615.00	1,183.20	2,798.35

Fuente: Elaboración propia

Resumen presupuestal 2025-2050

El presupuesto total asciende a un monto de \$22.4 miles de millones de pesos a ser ejecutado entre el 2025 y el 2050.

ACCIONES	PRESUPUESTO [en mdp]			
	2030	2040	2050	TOTAL
MANEJO DE LOS RIESGOS E IMPACTOS	565.50	769.00	779.00	2,113.50
Sequías	209.00	397.00	407.00	1,013.00
Inundaciones	356.50	372.00	372.00	1,100.50
MEJORAMIENTO DEL SISTEMA DE ABASTECIMIENTO	1,180.49	365.18	551.98	2,097.65
Eficiencia - Disminución de Pérdidas	678.85	115.24	115.23	909.32
Eficiencia - Más Aguas Entregadas	501.64	249.94	436.75	1,188.33
GESTIÓN INTEGRAL DE LAS AGUAS	2,681.50		1,341.00	
		11,395.00		15,417.50
Maximizar Aprovechamiento de Agua	2,017.50	140.00	634.00	2,791.50
Mitigar Sobre-Explotación de Acuíferos	608.50	30.00	512.00	1,150.50
Mejorar La Calidad del Agua	55.50		195.00	
		11,225.00		11,475.50
SUSTENTABILIDAD AMBIENTAL	1,000.15	615.00	1,183.20	2,798.35
Recarga de Acuíferos	867.25	363.00	930.00	2,160.25
Protección de Zonas de Recarga	40.90	65.50	70.70	177.10
Áreas Naturales Protegidas	27.00	51.50	50.50	129.00
Aprovechamiento de Agua Pluvial	65.00	135.00	132.00	332.00
	5,427.64	13,144.18	3,855.18	22,427.00

Fuente: Elaboración propia

Fuentes de financiamiento

La suma de inversión necesaria para implementar las acciones de los cuatro ejes representa un costo significativo, que puede esperarse estar por encima de los presupuestos regulares de los municipios de la ZdE, y en algunos casos incluso más allá de las capacidades del gobierno estatal y federal, dada la escala de las inversiones que pueden ser necesarias. Así, la cooperación dentro de los tres niveles de gobierno y con los actores internacionales será fundamental para tomar las medidas necesarias. El estado enfrenta importantes obstáculos legales y administrativos para recibir y operar estos fondos, por lo que la cooperación con socios implementadores de los sectores privado y aquellos sin fines de lucro puede permitir el acceso a una amplia gama de recursos.

Los fondos existentes del gobierno federal incluyen presupuesto fiscal de SEMARNAT, CONAGUA, CONAFOR y SADER en sus propios programas sectoriales anuales y en el Especial de Cambio Climático. Otras fuentes de financiación están relacionadas con el presupuesto estatal para proyectos específicos y relevantes. El financiamiento multilateral del Banco Mundial, el Banco Interamericano de Desarrollo y el Fondo de la Corporación Andina han sido fuentes clave para proyectos prioritarios nacionales, que pueden derivarse a la zona de estudio. En casos específicos, la financiación internacional de las agencias de cooperación alemana, japonesa, sueca, española, estadounidense y francesa ha apoyado no sólo la cooperación social y técnica, sino también infraestructuras y tecnologías específicas. Es claro que, salvo el municipio de Morelia, se puede obtener menos financiación de los presupuestos municipales. Es importante generar los recursos etiquetados como seguridad hídrica 2050 para armar un paquete y estructura financiera *ad hoc* para el programa.

► 9.3 Indicadores de evaluación, seguimiento y control

Para el seguimiento en la implementación del Plan de Seguridad Hídrica 2050 el principal indicador es el índice de seguridad hídrica adaptado (ISHA), ya que nos permite evaluar de manera integral sus diferentes componentes. Como se mencionó anteriormente, se requiere todavía realizar esfuerzos para mejorar las fuentes de información tanto en términos de la cantidad como de la calidad de los datos, de tal forma que el ISHA pueda reflejar claramente la situación de seguridad o inseguridad hídrica.

Asimismo, y conforme al objetivo, a las políticas y a las estrategias de los cuatro ejes de trabajo se requieren indicadores de desempeño e impacto para las distintas acciones previstas. Los primeros se relacionan con el avance en el cumplimiento de las acciones traducidas en metas y los segundos con la cuantificación de los impactos de las acciones.

El monitoreo de dichos indicadores de seguimiento debe realizarse mediante un tablero a cargo del IMPLAN, donde las distintas instituciones municipales y estatales informen del avance e impacto de las acciones realizadas. Esto requiere de un instrumento legal (e.g. acuerdos de coordinación o convenios interinstitucionales) que permita el flujo continuo de la información necesaria para validar lo realizado por cada actor involucrado conforme a sus atribuciones legales y administrativas.

La gobernanza para la implementación del Programa de Seguridad Hídrica 2050 debe fundarse en el marco legal municipal articulado con la legislación estatal y así lograr un monitoreo efectivo y eficaz.

Manejo de los riesgos e impactos

Los indicadores de desempeño se relacionan principalmente con la medición del número de hectáreas, equipos y pronósticos acertados, en cambio los indicadores de impacto se refieren a los cambios permanentes en las actividades y conductas de las personas ante eventos y reducción de la vulnerabilidad (**Tabla 9.9**).

Mejoramiento del sistema de abastecimiento

Los indicadores que miden el mejoramiento del sistema de abastecimiento se refieren a volúmenes recuperados, ampliación de coberturas, eficiencias incrementadas y volúmenes tratados aptos para reúso o intercambiados (**Tabla 9.10**).

Gestión integral de las aguas

Los indicadores para medir los avances de la gestión para el uso, explotación o aprovechamiento de las aguas superficiales y subterráneas se refieren no solo a los volúmenes reusados o intercambiados correspondientes de los proyectos emblemáticos. Indicadores adicionales en esta componente se relacionan con los volúmenes de agua pluvial captados y aprovechados, así como la reglamentación de las aguas superficiales y subterráneas, y los volúmenes descargados que cumplen con la norma y que no llegan al río Grande (**Tabla 9.11**).

Sustentabilidad ambiental

Los indicadores que permiten dar el seguimiento al eje de sustentabilidad ambiental se refieren fundamentalmente al volumen de agua realmente infiltrado, a los proyectos SBN ejecutados, a los instrumentos legales de planeación implementados, a la participación de las comunidades y funcionarios previamente capacitados y a las herramientas de capacitación desarrolladas y efectivamente usadas (**Tabla 9.12**)

Tabla 9.9. Indicadores de desempeño e impacto del eje de manejo de riesgos e impactos

CONCEPTO	OBJETIVO	POLÍTICAS	ESTRATEGIAS	ACCIONES	INDICADOR DE DESEMPEÑO	INDICADOR DE IMPACTO
SEQUÍA						
Manejo de riesgos de sequía	Reducir el nivel de vulnerabilidad ante sequías	MR.1 Gestión integral de la sequía y cultura de prevención en la ZdE	MR.1.1 Integrar un programa de medidas preventivas y de mitigación de la sequía (PMPMS) para la ZdE e iniciar su implementación con algunas acciones prioritarias	Planificación e integración del PMPMS	Plan desarrollado de manera participativa / Evaluaciones y actualizaciones anuales realizadas	Plan(es) adoptado(s) institucionalmente y entre los diferentes involucrados
				Crear nuevas reservas de agua (LAN)	Acuerdo de reserva publicado e implementado	Volúmenes reservados acumulados
				Realizar campañas de sensibilización a la población para el buen uso del agua	Número de campañas realizadas	Volumen de agua ahorrado por casa habitación
				Capacitación a usuarios del agua (incluye difusión del PMPMS)	Número de usuarios capacitados	Cambios positivos en la actitud de cuidar el agua
				Aseguramiento agrícola ante daños por sequía	Número de hectáreas aseguradas	Reducción pérdidas económicas por productor asegurado
				Racionamiento en la distribución del agua a la ciudad y al riego durante las diversas fases de la sequía	Reducción de volumen suministrado	Mejor repartición del agua entre usuarios
			MR.1.2 Desarrollar e implementar un sistema de alerta temprana ante sequías	Fortalecer los sistemas de información hidrológica y meteorológica	Número de sistemas instalados y operando	Información y productos meteorológica emitidos y usados oportunamente
				Mejorar la confiabilidad y la oportunidad de los pronósticos meteorológicos.	Número de aciertos en los pronósticos hidrometeorológicos	Mejoría en la preparación y atención ante las sequías
				Desarrollo e implementación de productos y servicios sectoriales (incl. capacitación)	Número de productos desarrollados e implementados	Mejoría en la preparación y atención ante las sequías
				Desarrollo e implementación de protocolos de acción (incl. capacitación y difusión)	Protocolo de acción desarrollado e implementado	Mejoría en la preparación y atención ante las sequías
INUNDACIONES						
Gestión de riesgos por inundación	Reducir la vulnerabilidad y el nivel de riesgo por inundación	MR.2 Gestión integral y cultura de prevención y protección ante inundaciones	MR.2.1 Gestión integral y cultura de prevención y protección ante inundaciones	Plan de acción para la reducción de la vulnerabilidad y la protección de la población, sus bienes y los ecosistemas ante inundaciones	Plan desarrollado de manera participativa / Evaluaciones y actualizaciones anuales realizadas	Plan(es) adoptado(s) institucionalmente y entre los diferentes involucrados
				Desarrollo de capacidades para el monitoreo y pronóstico de las inundaciones	Número de productos desarrollados e implementados	Mejoría en la preparación y atención ante las inundaciones
			MR.2.2 Gestión integral y cultura de prevención y protección ante inundaciones	Desarrollar, construir y mantener proyectos para la construcción, operación y mantenimiento de infraestructura en cauces, priorizando medidas de ABE y de infraestructura verde	Número de proyectos ejecutivos realizados y construidos	% de reducción de áreas inundadas respecto de inundación histórica con Tr 100 años
				MR.2.3 Gestión integral y cultura de prevención y protección ante inundaciones	Identificar y proteger zonas naturales que permiten regular escurrimientos y mitigar el impacto de inundaciones	Número de acciones de control de inundaciones aplicadas
			Conservar y rehabilitar el equipamiento para la atención de emergencias		Número de equipos rehabilitados vs inventario total	Número de Habitantes beneficiados
			Crear y mantener la capacidad del Centro Regional de Atención de emergencias, concentrando esfuerzos en las microcuencas de Río Grande y río Chiquito		Centro Regional operando	Mayor oportunidad en la atención de emergencias
			Brindar servicios de agua potable, de manera emergente y temporal a las poblaciones que lo requieran		Número de servicios de camiones cisterna despachados	Número de habitantes beneficiados

Tabla 9.10. Indicadores de desempeño e impacto del eje de mejoramiento del sistema de abastecimiento

CONCEPTO	OBJETIVO	POLÍTICAS	ESTRATEGIAS	ACCIONES	INDICADOR DE DESEMPEÑO	INDICADOR DE IMPACTO
EFICIENCIA – DISMINUCIÓN DE PÉRDIDAS						
Mejoramiento de eficiencia (disminución de pérdidas)	Que el OOPAS de Morelia reduzca las pérdidas físicas en la red del servicio	SAB.1 Identificación y priorización de incidencias de fugas	SAB.1.1 Medición de caudales y presiones	Construcción (sustitución) de la línea de conducción de la Presa Cointzio a la Planta Potabilizadora Vista Bella	Reducción de pérdidas de conducción	Gasto entregado
				Sustitución de línea de conducción (Canal) Manantial San Miguel a Planta Potabilizadora Ocolusen.	Reducción de pérdidas de conducción	Gasto entregado
				Sustitución de líneas de distribución en distritos hidrométricos.	Longitud de red de distribución a sustituir	Longitud de red sustituida
				Sustitución de 47,329 tomas domiciliarias en Distritos hidrométricos con problemas de fugas.	Crecimiento de cobertura de micromedición	Cobertura de Micromedición
				Sustitución de la línea del rebombeo San Pascual	Reducción de pérdidas de conducción	Gasto entregado
				Operación de fuentes de suministro y control de niveles de agua en tanques por sistema de telemetría	Crecimiento de la cobertura de Operación Remota	Cobertura de Operación remota
				Reposición de los 40 macromedidores ubicados en las fuentes de suministro que se encuentran dañados.	Incremento de la Macromedición	Cobertura de Macromedición
EFICIENCIA – MÁS AGUA ENTREGADA						
Mejoramiento de Eficiencia Física (más aguas entregadas)	Que el OOPAS de Morelia, aumente la oferta de agua a los usuarios en el servicio	SAB.2 Promover la política de operación del servicio a través de la sectorización y balance de presiones	SAB.2.1 Sectorización, Implementación de distritos hidrométricos	Terminación del Acuaférico (tramo salida a Charo - salida a Mil Cumbres)	Incremento de tomas alimentadas por balance de Acuaférico	Cobertura de tomas servidas por Acuaférico
				Construcción, interconexión, equipamiento de válvulas, medidores de presión, de gasto y telemedición de distritos hidrométricos	Incremento de tomas alimentadas por balance de Distritos Hidrométricos	Cobertura de tomas servidas en Distritos Hidrométricos
				Red de refuerzo para el mejoramiento de la operación. Se requieren 16.52 km.	Reducción de pérdidas de conducción	Gasto entregado
				Número de cortes de tubería para delimitar los nuevos distritos hidrométricos. No. de cortes 288.	Ejecución de interconexiones	Avance de la ejecución de interconexiones
				Actualización del Catastro técnico de la red de distribución con equipo de video inspección de tuberías	Ejecución de Catastro Digital de Infraestructura	Avance de la ejecución de Catastro Digital de Infraestructura
				Adquisición de equipos de cómputo (2) de alta capacidad para el manejo del modelo hidráulico de la red.	Adquisición de equipos y licencias de software de modelación	Avance de la adquisición de equipos y sistema
				Banco de prueba de medidores domiciliarios	Adquisición de equipo	Avance de la adquisición de equipo
				Banco de pruebas de macromedidores incluye remodelación de oficina y adecuación de área en que se ubicará el banco de pruebas.	Adquisición de equipo	Avance de la adquisición de equipo
				Incrementar la capacidad de almacenamiento del cárcamo de bombeo La Mintzita a 11,000 m3. E incrementar la capacidad del rebombeo.	Ejecución de obra	Avance en la ejecución de la obra
				Incrementar la capacidad de almacenamiento en la Planta potabilizadora Vista Bella	Ejecución de obra	Avance en la ejecución de la obra
				Proyecto para mejorar el desalojo de los depósitos de partículas en los tanques sedimentadores de la Planta Potabilizadora La Mintzita	Ejecución de obra	Avance en la ejecución de la obra
				Estudio Geohidrológico del acuífero que aporta agua al manantial la Mintzita	Ejecución de estudio	Avance en la ejecución de estudio

Tabla 9.11. Indicadores de desempeño e impacto del eje de gestión integral de las aguas

CONCEPTO	OBJETIVO	POLÍTICAS	ESTRATEGIAS	ACCIONES	INDICADOR DE DESEMPEÑO	INDICADOR DE IMPACTO
MAXIMIZAR APROVECHAMIENTO DE AGUA						
Reemplazo de fuentes de agua Reemplazo de fuentes de agua	Maximizar el aprovechamiento del agua existente en la cuenca para consumo humano sin afectar a otros usos Maximizar el aprovechamiento del agua existente en la cuenca para consumo humano sin afectar a otros usos	GIA.1 Realizar un uso conjunto de las aguas superficiales y subterráneas para consumo humano	GIA.1.1 Mantener actualizado el balance de agua de la cuenca para adecuar la política de distribución y asignación de agua de las fuentes de abastecimiento de Morelia	Instrumentar la cuenca para medir el ciclo hidrológico completo	El sistema de medición del ciclo hidrológico es operativo y transmite la información en tiempo real	La distribución y asignación del agua se fundamenta en la información del sistema de medición
		GIA.2 Intercambio intersectorial del agua	GIA.2.1 Ampliar la capacidad de conducción de agua residual municipal	Terminación de Colectores Arroyo de Jesús del Monte, de Santa María, Arroyo blanco, hasta conexión al Colector Marginal Derecho	Volumen de agua residual colectada	Cobertura de Colección de Aguas Residuales
			GIA.2.2 Ampliar la capacidad de tratamiento de la PTAR de Atapaneo, para ofertarla conducida al riego tecnificado	Terminación de Colectores del Canal Torreón Nuevo, de En medio, hasta su conexión al Emisor de Agus residuales	Volumen de agua residual colectada	Cobertura de Colección de Aguas Residuales
			GIA.2.3 Llevar agua tratada de calidad agrícola a los módulos II, III y IV del DR020 a través de conducciones cerradas, para evitar las pérdidas de conducción	Ampliar la capacidad de tratamiento (lps) de la PTAR Atapaneo en 600 lps	Incremento de la capacidad	Cobertura de Tratamiento de Agua Residual Municipal
		GIA.3 Reúso directo del agua	GIA.3.1 Entregar agua tratada de la PTAR Itzicuaros a papelera, con nivel de conductividad requerido	Construir un módulo adicional de ultrafiltración (Osmosis Inversa) en la PTAR Itzicuaros	Incremento en la calidad de agua tratada	Gasto de Agua Residual filtrada
		GIA.4 Reúso indirecto del agua	GIA.4.1 Asegurar una mayor oferta y de mejor calidad de aguas tratadas (Atapaneo)	Habiendo ampliado la PTAR Atapaneo, con un cárcamo de bombeo y una línea "morada" de conducción de agua tratada hacia la Zona de Ciudad Industrial	Conducción de Agua Tratada para reúso	Gasto de Agua Residual Tratada para reúso
			GI.4.2 Aumentar la oferta de Agua Potable a los habitantes de la ciudad	Construir un tanque de aireación y mezclado da aguas tratadas y de primer uso.	Capacidad de Potabilización de Agua Tratada	Gasto de Agua Residual Tratada y Potabilizada
				Construir una Planta Potabilizadora aguas abajo de PTAR Atapaneo, para potabilizar aguas mezcladas, Perforar 5 pozos profundos (para mezclar con agua tratada) Construir línea de conducción y conexión a Acuaférico.		
MITIGAR SOBRE-EXPLOTACIÓN DE ACUÍFEROS						
Mitigar el impacto de la sobreexplotación de acuíferos	Reducir el impacto de la sobreexplotación del acuífero en la explotación actual de agua subterránea para consumo humano	GIA.5 Evitar la creación de nuevos conos de abatimiento en la zona urbana	GIA.5.1 Adecuar la ubicación de la infraestructura de extracción de agua subterránea	Relocalizar pozos para consumo humano en la zona urbana	Los pozos ya no se interfieren en la extracción	No hay conos de abatimiento en el acuífero en el área metropolitana de Morelia
		GIA.6 Ordenar las extracciones de agua subterránea en el área metropolitana de Morelia	GIA.6.1 Reglamentar el acuífero y las aguas superficiales de manera conjunta	Realizar y publicar los estudios justificativos y proyecto de decreto para la reglamentación	Estudios y decreto de reglamentación de las aguas publicadas	El reglamento de agua se ha consensuado con los actores locales
			GIA.6.2 Crear la gobernanza para desarrollar e implementar la reglamentación de las aguas	Crear la Comisión de Cuenca para conducir el ordenamiento	La Comisión de Cuenca se ha instalado y cuenta con un plan de gestión	La aplicación del reglamento de distribución y asignación de agua es vigilada por la Comisión de Cuenca
MEJORAR LA CALIDAD DEL AGUA						
Mejorar la calidad del agua de las corrientes de la cuenca Mejorar la calidad del agua de las corrientes de la cuenca	Sanear el río Grande de Morelia Sanear el río Grande de Morelia	GIA.7 Evitar descargas municipales e industriales a los cuerpos de agua GIA.7 Evitar descargas municipales e industriales a los cuerpos de agua	GIA.7.1 Separar las aguas pluviales de las del drenaje sanitario	Construir infraestructura pluvial para captar y aprovechar el agua en Morelia	La infraestructura pluvial está construida	40 millones de metros cúbicos de aguas pluviales son aprovechadas o recargadas al acuífero
			GIA.7.2 Mejorar el nivel de tratamiento de las aguas residuales municipales para su reúso y no descargar en el río Grande	Rehabilitar el sistema de alcantarillado y colectores marginales a los ríos Grande y Chiquito	Se ha rehabilitado el sistema de alcantarillado y colectores marginales	No hay descargas de agua residual a los ríos o al acuífero
			GIA.7.3 Incentivar el reúso del agua municipal e industrial	Modernizar las plantas de tratamiento de aguas residuales	Las plantas de tratamiento han sido modernizadas	Las descargas de aguas residuales cumplen los estándares para reúso potable
			GIA.7.1 Separar las aguas pluviales de las del drenaje sanitario	Implementar un programa de economía circular en los parques industriales e industrias aisladas	Existen incentivos para el programa de economía circular	Toda el agua residual industrial es reusada y no es descargada a los cuerpos de agua

Tabla 9.12. Indicadores de desempeño e impacto del eje de sustentabilidad ambiental

CONCEPTO	OBJETIVO	POLÍTICAS	ESTRATEGIAS	ACCIONES	INDICADOR DE DESEMPEÑO	INDICADOR DE IMPACTO
RECARGA DE ACUÍFEROS						
Soluciones basadas en la naturaleza (SBN)	Incrementar la infiltración de agua	SA.1 Aprovechar todos los cauces naturales para infiltrar	SA.1.1 Convenir con comunidades locales para la instalación y mantenimiento de SBN	Establecer e implementar el programa metropolitano de recarga	Número de obras de retención construidas	Volumen de agua infiltrado
		SA.2 Crear capacidades locales en SBN	SA.2.1 Formar técnicos y habitantes de las comunidades en el diseño y mantenimiento de SBN	Crear y operar un programa de capacitación sobre diseño, construcción y mantenimiento de SBN	Número de profesionales y habitantes capacitados	Número de proyectos SBN diseñados o mantenidos
				Desarrollar y publicar manuales de SBN	Número de manuales publicados	Número de manuales utilizados en proyectos SBN
PROTECCIÓN DE ZONAS DE RECARGA						
Protección de zonas de recarga	Proteger y restaurar las zonas de recarga	SA.3 Aprovechar con fines de recarga todas las zonas con vegetación natural	SA.3.1 Convenir con las comunidades locales para la protección y mantenimiento de la zona de recarga	Delimitar y emitir declaratorias de protección para las zonas de recarga	Declaratorias publicadas	Declaratorias implementadas (vigiladas)
	Restaurar las zonas identificadas para conservación	SA.4 Recuperar administrativamente las zonas por conservar	SA.4.1 Oficializar los POEL como obligatorios	Actualizar y vigilar el cumplimiento de los POEL	POEL publicados como obligatorios Hectáreas recuperadas para conservación	POEL implementados (vigilados) Hectáreas recuperadas y restauradas
		SA.5 Evitar que las áreas para conservación se reduzcan y cambien a usos económicos	SA.5.1 Establecer mecanismos económicos que estimulen la protección de las áreas para conservación	Implementar un programa de incentivos para recuperar las zonas para conservación	Número de beneficiarios del programa de incentivos	Hectáreas recuperadas por los beneficiarios del programa
ÁREAS NATURALES PROTEGIDAS						
Áreas Naturales Protegidas	Ampliar, restaurar y proteger las áreas naturales	SA.6 Darle un sentido ambientalmente productivo a las Áreas Naturales Protegidas	SA.6.1 Convenir con las comunidades locales para la declaración y el mantenimiento de las áreas naturales protegidas SA.6.2 Todas las ANP deben ser sustentables ambiental y financieramente	Realizar acuerdos con las comunidades donde se encuentran las ANP's	Acuerdos con comunidades firmados	Comunidades realizan actividades de mantenimiento
				Decretar áreas naturales protegidas	ANP declaradas	ANP implementadas
				Generar modelos de negocio para las ANP con fondos nacionales e internacionales	ANP con modelo de negocio desarrollado	ANP con modelo de negocio implementado
APROVECHAMIENTO DE AGUA PLUVIAL						
Aprovechamiento de agua pluvial en la capital	Aprovechar el agua de lluvia para infiltración y mitigación de inundaciones	SA.7 Aprovechar todos los parques urbanos para captar las aguas pluviales	SA.7.1 Ampliar el número de parques urbanos y áreas verdes SA.7.2 Formar técnicos y habitantes de las comunidades en el diseño y mantenimiento de sistemas de captación y aprovechamiento de agua de lluvia	Actualizar los códigos urbanos para desarrollar áreas urbanas, impacto hidrológico 0	Códigos urbanos actualizados publicados	Códigos urbanos actualizados implementados
				Crear y operar un programa de capacitación sobre diseño, construcción y mantenimiento de obras de captación y aprovechamiento de agua de Lluvia	Número de profesionales y habitantes capacitados	Número de proyectos de captación y aprovechamiento de agua pluvial construidos o mantenidos
			SA.7.3 Promover la captación y aprovechamiento de agua de lluvia entre los proveedores de materiales y servicios	Desarrollar y publicar manuales para el diseño, construcción, operación y mantenimiento de obras de captación y aprovechamiento de agua de lluvia	Número de manuales publicados	Número de manuales utilizados en obras por los capacitados
			Apoyar la formación de empresas e industrias proveedoras de materiales y servicios para captar y aprovechar el agua de lluvia	Número de eventos y publicaciones de promoción realizados	Número de empresas e industrias nuevas que operan en la zona de estudio	

10. Conclusiones y recomendaciones



► 10.1 Conclusiones

Caracterización física y socioeconómica

La **Zona de Estudio** (ZdE) abarca completamente los **municipios** de Morelia, Tarímbaro, Charo y Álvaro Obregón y parcialmente los municipios de Acuitzio, Chucándiro, Huaniqueo, Huiramba, Indaparapeo, Lagunillas, Pátzcuaro, Quiroga, Tzintzuntzan y Tzitzio.

La ZdE comprende parcialmente **4 cuencas hidrológicas** siendo la Lago de Cuitzeo, Cutzamala, río Angulo y río Tacámbaro, correspondiendo la segunda y la cuarta a la región hidrológica del Balsas y las otras dos a la Lerma Chapala. La superficie total es de 2,521.13 km².

Hay **28 microcuencas** en la zona de estudio y las tres más grandes son Río Grande, Lagunillas y Charo 5, la mayoría drenan hacia el Lago de Cuitzeo; sin embargo, hay 6 microcuencas que drenan hacia afuera de la ZdE, es decir no son tributarias a la microcuenca del río Grande.

En la ZdE predominan **las rocas ígneas extrusivas** con 83% del área total. Dentro de estas, sobresale el tipo Basalto con 736.23 km², seguido de Andesita-Brecha volcánica intermedia y Toba ácida, con 326.81 y 295.27 km² respectivamente.

La mayor superficie está dedicada a la **agricultura o cubierta con selva baja y bosque**, donde hay 10 áreas naturales protegidas siendo *Pico Azul-La Escalera*, la más importante. La mayor extensión urbana en la ZE es la capital del estado. En menor medida en el periodo reciente (2015 a 2020) pero desde 2011 la tasa de cambio de uso de suelo de vegetación nativa y forestal a asentamientos humanos y uso agrícola fue acelerado.

La ZdE comprende **598 localidades**, de las cuales el 95% es de tipo urbano (mayores de 2,500 habitantes), siendo las principales: Morelia, Fraccionamiento Galaxia, Álvaro Obregón, Fraccionamiento Metrópolis II, Fraccionamiento Hacienda del Sol, Acuitzio del Canje e Indaparapeo.

La microcuenca del **río Grande es la de mayor número de localidades con 117** (de las cuales el 91% son urbanas), seguido por Charo_5 y Lagunillas con 75 y 73 localidades, respectivamente.

Dentro de la ZdE se asienta una **población 1,046,826 habitantes** (2020). El municipio que concentra la mayor población es el de Morelia con 849,053 habitantes. El 90% de la población está asentada en localidades urbanas (29) y sólo el 10% en localidades rurales (569).

A nivel de microcuencas, **la mayor concentración de la población se encuentra en río Grande**, con 715,506 habitantes (68.4% del total), seguido río Chiquito con 121,903 (11.6% del total).

Conforme a la proyección de **la población, al 2050 habrá 1,533,671 habitantes** de los cuales el 92% será urbana y el resto rural.

Las viviendas en localidades urbanas (34,795) cuentan con una **cobertura promedio de agua potable del 94.3%**, mientras que aquellas en localidades rurales (58,797 viviendas), solamente tienen un promedio del 70.4%. La **cobertura de alcantarillado en promedio es de 94.3%** para las localidades urbanas y de 68.7% en las localidades rurales.

Sistema hidrometeorológico y climático

En términos de corrientes, sobresalen el río Grande de Morelia, Tupátaro, El Tejocote y Los Sauces. **Destaca entre estos el río Grande de Morelia, dada su importancia por el escurrimiento principal de la cuenca del Lago de Cuitzeo** y su relevancia

para el sistema de abastecimiento de agua potable y de agua para riego. Las zonas de mayor infiltración y recarga son Capula y Cuto de la Esperanza. La presa Cointzio es la mayor presa (68.6 hm³ de almacenamiento) y vinculada al abastecimiento de la capital.

En la ZdE subyacen **5 formaciones acuíferas**: Zacapu, Huetamo, Tacámbaro-Turicato, Lagunillas-Pátzcuaro y Morelia-Queréndaro y esta última es donde se asientan la mayor parte de las microcuencas (20 de 28 – 75.54% de la superficie total de la ZdE).

La **precipitación media anual fue de 871.6 mm** en el periodo 1990 -2020. Los valores más elevados corresponden a las estaciones: El Temazcal (C16045) con 1,351.2 mm anuales, ubicada en la cuenca del río Cutzamala a una altitud de 2,200 m.s.n.m. y Jesús del Monte (C16055) en la cuenca del lago de Cuitzeo con 1,040 mm anuales. Los valores de precipitación anual varían de 647.2 a 1,351.2 mm.

Por otra parte, la **temperatura media anual es de 18.2 °C**, oscila entre los 16.9 y los 19.9 °C. Asimismo, la temperatura mínima desciende hasta los 8.1 °C anuales, mientras que la máxima se eleva hasta los 29.6 °C.

En el periodo comprendido **entre 2014 y 2023, el 84% de los informes quincenales del monitor de sequía reportó algún grado de esta** y en cuando menos uno de los 22 municipios que se encuentran dentro y alrededor de la ZdE. De estos, 166 (70%) reportaron una condición anormalmente seca (D0); 111 (47%) con sequía moderada (D1); 46 (19%) con sequía severa (D2); y 24 (10%) con sequía extraordinaria (D3). Ninguno reportó sequía excepcional (D4), y solamente en 37 de los 238 informes ningún municipio estuvo sequía.

Las **inundaciones ocurren hacia las partes bajas en la cuenca del Lago de Cuitzeo**, y asociadas al Río Grande con una dirección SO-NE y dividiendo a la ciudad de Morelia en dos partes, y al Río Chiquito en la cañada de Jesús del Monte con una dirección SE-NO y terminando en la confluencia con el Río Grande.

Entre el **2000 y el 2023 se emitieron 111 declaratorias por fenómenos hidrometeorológicos** afectando uno o varios de los municipios; 57% por contingencias climatológicas, 28% por desastres y 15% por emergencias, siendo el 2013 el año con el mayor número de incidencias.

Las afectaciones más comunes han sido causa de las lluvias y las sequías (ambas con el 36%), seguidas por las nevadas, heladas o granizadas (15%), las heladas (6%), las inundaciones (4%) y las temperaturas extremas (3%). Los municipios con más declaratorias son Morelia con 17, Álvaro Obregón con 11, y Huaniqueo y Tarímbaro, ambos con 10.

Usos del agua

El uso principal del agua es agrícola (53.69%), el segundo lugar lo ocupa el público urbano (40.21%) y en menor medida los demás usos (6.1%). La extracción de agua subterránea de acuerdo con la estimación del censo es de 162.2 hm³/año.

Hay un total de **364 concesiones de agua superficial**, 183 para uso agropecuario, 171 para agua potable, uno para generación de energía eléctrica y nueve para uso industrial. También se registra un total de **631 concesiones de agua subterránea**, 318 para uso agropecuario, 207 para agua potable y 106 para uso industrial.

Los **volúmenes tratados y las capacidades instaladas de saneamiento** para las principales dos plantas de tratamiento de aguas residuales son: Atapaneo con 1100 y 1200 lps, e Itzicuaros con 190 y 210 lps, respectivamente. Esto representa, hoy día, un volumen anual de 40.68 hm³ tratados e infraestructura de tratamiento para 44.47 hm³.

La **demanda de agua para uso de agua potable es de 102.21 hm³ /año**, donde la microcuenca río Grande representa el 72 % del volumen total demandado y donde se asienta Morelia.

Casi la totalidad de la **demanda de agua para riego agrícola** se vincula con el Distrito de Riego DR 020, Morelia-Queréndaro (15,014 hectáreas) que **asciende a 97 hm³/año**, de los cuales cerca del 90% se abastece de fuentes superficiales y el resto de

las concesiones de aguas subterráneas. A nivel de microcuenca, la demanda se concentra en río Grande y Charo 5. **La demanda total de para uso en riego agrícola en la ZdE es de 127.39 hm³ anuales.**

A Morelia lo abastece el OOAPAS Organismo Operador de Agua Potable Alcantarillado y Saneamiento, el cual proporciona el servicio de agua potable al 99.7% de las viviendas en el área urbana. Sin embargo, existen Juntas de agua potable que también abastecen de agua a diversas colonias de la ciudad. La cobertura de alcantarillado es de 99.81% y 99.24% de tratamiento para la capital.

El indicador de la eficiencia física del OOAPAS es de 48.73%. La continuidad en el servicio (43.85%) es muy baja, como evidencia de una gran cantidad de tandeos en el servicio, y sólo el 27.99% de las tomas tienen servicio continuo. Tiempo promedio de servicio es de 10.53 horas diarias. La relación de agua residual tratada respecto a agua potable facturada es 88.46%.

La calidad del agua del río Grande de Morelia muestra un alto nivel de contaminación. Sin embargo, las aguas de la presa Cointzio así como las del manantial de la Mintzita presentan niveles excelentes en su calidad del agua. La calidad del agua subterránea proveniente de pozos es de excelente calidad y se inyecta directamente a las redes de distribución para el consumo humano.

Balance hídrico

Dado que **la sobreexplotación del acuífero Morelia Queréndaro asciende a 39.90 hm³**, pero su área es mayor al de la ZdE, para el balance la oferta y la demanda de agua subterránea se consideró equivalente y se basa en los volúmenes de los títulos de concesión registrados. **Esto es 51.1 hm³ para agua potable y 48.5 hm³ para riego que en suma son 99.6 hm³.** El acuífero se encuentra en veda y por la nula disponibilidad legalmente no es posible otorgar nuevas concesiones.

El balance hídrico superficial tendencial en condiciones actuales a nivel de microcuenca muestra un relativo equilibrio. En dicho balance la aportación de agua al Lago de Cuitzeo es de 241.39 hm³ /año y 74.85 hm³ a otras cuencas fuera de la ZdE, esto es, existe 320.7 hm³ de recurso hídrico circulando por el sistema que pudiera aprovecharse mediante nueva infraestructura. Sin embargo, este posible aprovechamiento implica que el lago de Cuitzeo reciba una menor cantidad de agua que podría agravar aún más su situación hídrica actual ya que presenta niveles muy bajos de almacenamiento.

El balance hídrico futuro a nivel microcuenca muestra un descenso en las aportaciones al lago de Cuitzeo ya que se reduce a un volumen medio anual de 222.82 hm³/año y 67.50 hm³ fuera de la ZdE.

El balance hídrico a nivel microcuenca bajo el escenario medio RCP 4.5 del IPCC, reduce la aportación al lago de Cuitzeo a 196.23 hm³/año y 59.91 hm³ fuera de la ZdE.

Por último, **el balance hídrico a nivel microcuenca bajo el escenario pesimista RCP 8.5 del IPCC reduce aún más la aportación hacia el Lago de Cuitzeo** de 166.81 hm³/año y 49.66 hm³ fuera de la ZdE. Es decir que el volumen que circula en la ZdE se reduce de 320.70 hm³ en condiciones actuales a 220.16 hm³ con el escenario 8.5 del IPCC.

La conclusión general del balance en condiciones actuales es que, para aprovechar agua para consumo humano de manera tradicional, esto solo es viable a costa de reducir el volumen de agua con fines ambientales. Sin embargo, de ser certeros los escenarios de cambio climático, las reducciones al Lago de Cuitzeo son crecientes respecto del valor de condiciones actuales y al tendencial.

Es decir, **para contar con disponibilidad de agua a futuro para consumo humano aún en condiciones climáticas pesimistas futuras las alternativas más recomendables son aprovechar el agua residual tratada, intercambiar agua de fuentes superficiales (incluidas las residuales) o bien infiltrar agua en las partes altas de las microcuencas** al acuífero Morelia-Queréndaro equilibrando su sobreexplotación y reservando este volumen para su posterior extracción con fines domésticos o de abastecimiento para consumo humano.

Análisis prospectivo

La aparente falta de agua en las casas de Morelia en estiaje o sequía es un tema de percepción. Ello debido a:

- Las fuentes actuales de abastecimiento son fundamentalmente subterráneas (80% y razonablemente estables aún con la sobreexplotación de 40 hm³ en todo el acuífero) y en menor medida superficiales (20%).
- La mala gestión de los recursos hídricos e infraestructura de abastecimiento, dado que el OOAPAS reporta pérdidas de agua en su captación y distribución del 40% que son casi equivalentes al volumen de sobreexplotación del acuífero Morelia-Queréndaro.

La opción tradicional para asegurar el abastecimiento de agua al 2050 es la compra de derechos de agua y la recuperación de pérdidas de agua en la ciudad pero que mantiene los niveles de sobreexplotación y depende de presupuesto y voluntad política para mejorar la eficiencia global dadas las finanzas del OOAPAS.

Las **propuestas para realmente asegurar el abastecimiento de agua para el 2050** que maximizan el aprovechamiento del agua existente en la ZE y que modifican las condiciones hidro y geohidrológicas son:

1. Intercambio intersectorial de agua

- Alternativa I: MINTZITA-ITZÍCUAROS-OOAPAS. Considera los recursos disponibles del manantial de La Mintzita y la PTAR Itzícuaros para intercambiarse por agua subterránea actualmente concesionada a OOAPAS, en beneficio del acuífero Morelia-Queréndaro.
- Alternativa II: ATAPANEO-DR020-COINTZIO. Considera la capacidad ampliada de la PTAR Atapaneo para modificar el volumen de abastecimiento en la concesión del DR020, incrementando el volumen de aprovechamiento de aguas residuales tratadas y disminuyendo el volumen de aguas superficiales (concesionados de la presa Cointzio).

2. Reúso industrial o potable indirecto de agua residual tratada

- Escenario I: Reúso Directo de agua tratada en uso comercial o industrial. Tres pozos profundos, operados por la Junta Local Municipal de Ciudad Industrial Morelia (CIMO) a cambio de 180 lps (5.5 hm³/año).
- Escenario II: Reúso indirecto de Agua tratada. Agua tratada de nivel terciario de 231 lps (7.3 hm³ anuales), para sumarse gradualmente con volúmenes de extracción de los pozos profundos del llamado "Acuífero Atapaneo" localizado aguas abajo de la derivadora Atapaneo del DR 020 Morelia-Queréndaro.

3. Recarga artificial de acuíferos

- Programa Metropolitano de Recarga mediante soluciones basadas en la naturaleza. A largo plazo para infiltrar 40 hm³ considerando el uso de infraestructura verde (presas de geo costal, piedra acomodada y gavión en cauces y arroyos intermitentes) iniciando por las microcuencas con valores mayores de 2 hm³ de infiltración.

En el balance hídrico actual y futuro con las opciones de abasto adicional a base de intercambio de agua tienen el mismo impacto en las entradas al lago de Cuitzeo y agua fuera de la ZE que sin ellas. Esto es, que a pesar del incremento en la demanda de agua y su satisfacción al 2050, el descenso en los niveles de agua que ingresan al lago de Cuitzeo son los mismos que si no se instrumentaran las alternativas.

En el caso de las alternativas de **reúso**, en la **alternativa industrial hay un cambio positivo en el balance subterráneo** al reducirse la extracción de agua subterránea industrial o mantenerse sin cambio al usarse el agua para consumo humano en la capital.

En la alternativa de **reúso potable directo de las aguas residuales tratadas a nivel terciario de la capital, el balance no muestra impacto** diferente al actual en las entradas al Lago de Cuitzeo.

En el caso de la alternativa del **programa de recarga de agua subterránea**, el **balance subterráneo si tiene una modificación positiva globalmente**, pero se reduce no en la misma proporción el agua superficial al final de la cuenca.

Las tendencias de estos resultados prevalecen en los balances en condiciones futuras, lo cual señala que el agua es mejor aprovechada y que el impacto en el lago es producto de la reducción de precipitación derivada de los distintos escenarios de cambio climático.

Los costos y beneficios de estas opciones varían significativamente y su programación en el tiempo conforme a prioridades no los hace incompatibles entre sí. Es decir, las decisiones de desarrollar las distintas alternativas las hacen complementarias y la prioridad se basa en los tiempos necesarios que los arreglos institucionales que cada opción requiera puedan llevarse a la realidad.

Conforme al **índice de seguridad hídrica** que evalúa 4 criterios y 8 subcriterios la ZdE se encuentra en **riesgo medio**, es decir, no se encuentra en peligro, pero puede cambiar si hay un retraso en el desarrollo de fuentes de agua, empeoramiento de la calidad del agua, incremento en la tasa de cambio de uso de suelo, un mayor problema de inundaciones por falta de infraestructura o una sequía que impacte las fuentes de agua superficial significativamente.

Las **inundaciones y la sequía como criterios de riesgo en el corto plazo no son menores**. En el primer caso se ha observado un incremento de impactos y en el segundo un aumento en la intensidad.

Se identifican **4 grandes retos hídricos**: la atención a riesgos e impactos por eventos hidrometeorológicos y climáticos, el mejoramiento de la eficiencia y el desarrollo de nuevas fuentes de agua para el sistema de abastecimiento, el mejoramiento del uso y aprovechamiento de las aguas superficiales y subterráneas, y la atención la cuenca desde una perspectiva de sustentabilidad ambiental. Cada uno de estos retos tiene conceptos, objetivos, políticas, estrategias y acciones definidos y articulados, mismos que requieren ser implementados para realmente lograr la seguridad hídrica al 2050. Es decir, no basta ejecutar aisladamente las alternativas de proyectos que ofrecen más agua recomendados. Estos deben ser parte de un esquema de planeación y gobernanza del agua integral.

RETOS	CONCEPTOS			
Riesgos e Impactos	Manejo de Inundaciones	Gestión de Sequías	Cultura de prevención y protección	
Mejorar la eficiencia del sistema de abastecimiento	Mejoramiento de eficiencia (disminución de pérdidas)	Mejoramiento de Eficiencia Física (más aguas entregadas)		
Mejorar el uso y aprovechamiento de las aguas superficiales y subterráneas	Reemplazar fuentes subterráneas por fuentes de agua superficial para consumo humano (incluyendo Intercambio y reúso)	Mitigar el impacto de la sobreexplotación por el aprovechamiento para consumo humano	Mejorar la calidad del agua de las corrientes de la cuenca	
Materia de sustentabilidad ambiental	Soluciones basadas en la naturaleza (recarga de acuíferos) en las microcuencas	Protección de zonas de recarga	Áreas Naturales Protegidas	Aprovechamiento de agua pluvial en la capital

Los objetivos asociados con los conceptos:

RIESGOS E IMPACTOS		
Inundaciones	Reducir el nivel de peligro por inundación en los municipios con categoría de riesgo alto.	Proteger los centros de población y zonas productivas para reducir las pérdidas de vidas humanas y daños materiales derivadas de inundaciones
Sequías	Reducir el nivel de vulnerabilidad ante sequías	
MEJORAMIENTO DEL SISTEMA DE ABASTECIMIENTO		
Mejoramiento de eficiencia (disminución de pérdidas)	Que el OOAPAS de Morelia, reduzca las pérdidas físicas en la red del servicio	
Mejoramiento de Eficiencia Física (más agua entregada)	Que el OOAPAS de Morelia, aumente la oferta de agua a los usuarios en el servicio	

MEJORAR EL APROVECHAMIENTO INTEGRADO DE LAS AGUAS		
Reemplazar fuentes subterráneas por fuentes de agua superficial para consumo humano	Maximizar el aprovechamiento del agua existente en la cuenca para consumo humano sin afectar a otros usos	
Mitigar el impacto de la sobreexplotación por el aprovechamiento para consumo humano	Reducir el impacto de la sobreexplotación del acuífero en la explotación actual de agua subterránea para consumo humano	
Mejorar la calidad del agua de las corrientes de la cuenca	Sanear el río Grande de Morelia	
SUSTENTABILIDAD AMBIENTAL		
Soluciones basadas en la naturaleza (recarga de acuíferos) en las microcuencas	Incrementar la infiltración de agua	
Protección de zonas de recarga	Proteger y restaurar las zonas de recarga	Restaurar las zonas identificadas para conservación
Áreas Naturales Protegidas	Ampliar, restaurar y proteger las áreas naturales	
Aprovechamiento de agua pluvial en la capital	Aprovechar el agua de lluvia para infiltración y mitigación de inundaciones	

Las acciones y sus respectivos **indicadores de desempeño y de impacto** que implementan los objetivos tienen que ver desde aspectos de gobernanza que son importantes para la implementación y seguimiento hasta acuerdos con comunidades para la realización y mantenimiento de obras en las partes altas de las microcuencas. Otras acciones van desde la instrumentación de una red de medición del ciclo hidrometeorológico y la realización de estudios que justifiquen la necesidad de reservar agua en el marco de la Ley de Aguas Nacionales hasta el diseño, construcción y operación de infraestructura gris para el abastecimiento y el control de inundaciones.

La conclusión general del estudio es **que la ZdE cuenta con recursos hídricos suficientes para lograr la seguridad hídrica al 2050**, pero requiere cambiar la estructura de fuentes de abastecimiento para dar mayor flexibilidad y resiliencia en el sistema de abastecimiento para consumo humano. Asimismo, la ineficiencia en la distribución del agua, el cambio de uso del suelo en las partes medias y altas de las microcuencas, la ocurrencia creciente de tormentas que causan inundaciones por una vulnerabilidad creciente en el desarrollo urbano y las sequías más intensas representan las mayores amenazas.

► 10.2 Recomendaciones

Para efectivamente lograr la seguridad hídrica al 2050 se recomiendan los siguientes pasos:

- **El programa de seguridad hídrica al 2050 no es solamente las alternativas de abasto, sino un conjunto integral organizado de temas hídricos prioritarios, conceptos, objetivos, estrategias, acciones e indicadores.** Por tal motivo se recomienda aclarar esto a la sociedad y tomadores de decisiones en todos los niveles para una correcta adaptación al cambio climático y resiliencia hídrica al 2050 mediante un amplio programa de divulgación y educación.
- Dado que las **alternativas de manejo agua para la capital no son mutuamente excluyentes y su priorización debe basarse en una evaluación integral de costos y beneficios ambientales, sociales y económicos** cuando se tenga información suficiente a nivel de proyecto de factibilidad, la recomendación es estudiar y desarrollar todas las alternativas en paralelo.
- Las alternativas de **intercambio y reúso de agua** son de impacto inmediato, pero esta última tiene **mayor potencial en el futuro (más allá del 2050) mediante el aprovechamiento de toda el agua residual tratada.**
- **Desarrollar e implementar el programa metropolitano de recarga** gradualmente y complementado con las acciones legales para asegurar que el agua sea reservada.
- **El ordenamiento, restauración y protección al medio ambiente (uso de suelo) de las microcuencas debe ser prioritario** y su fondeo debe provenir de quienes se benefician del agua de primer uso.
- **Sanear financieramente el OOAPAS para que la recuperación de agua perdida o no contabilizada en la red de distribución sea la prioridad en el corto plazo**, dando el tiempo necesario de estudio, diseño, construcción y puesta en marcha de las alternativas planteadas.
- **Trabajar en la educación sobre el ciclo hidrológico** en la cuenca para cambiar la percepción social en la capital sobre la falta de agua en las casas clarificando el origen del agua del sistema de abastecimiento.
- **Desarrollo de capacidades en torno al monitoreo y pronóstico de eventos extremos**, mediante el fortalecimiento de las diferentes redes de medición del ciclo hidrológico y la integración y recuperación de series de datos e información; del mejoramiento de capacidades para pronóstico y para el desarrollo de productos sectoriales que apoyen la planificación y la toma de decisiones. Esto incluye también el desarrollo e implementación de SAT que cierren la cadena de producción y aseguren los medios para que la información sea oportuna para la toma de decisiones de acuerdo con las necesidades de los usuarios finales.
- **Establecer un sistema de planificación y monitoreo asociado a la seguridad hídrica**, que contribuya al desarrollo de propuestas a nivel ejecutivo para fines de su implementación, así como incorpore datos e información que faciliten su monitoreo y evaluación en torno al logro de los objetivos y en consideración de los cambios sociopolíticos y ambientales que se presenten en el futuro.
- **Desarrollar un mapeo específico para identificar aliados estratégicos** (públicos y privados) no sólo en términos de financiamiento, sino para el desarrollo de capacidades en los diferentes ámbitos y componentes de la seguridad hídrica (monitoreo y control, planificación, capacitación, etc.)

