

Gaceta Municipal de Zapotlán

MEDIO OFICIAL DE DIFUSIÓN Y DIVULGACIÓN DEL
GOBIERNO MUNICIPAL DE ZAPOTLÁN EL GRANDE

AÑO 15 NÚM. 412 03 DE OCTUBRE DE 2023

**Plan Maestro de la Cuenca
Endorreica de Zapotlán el Grande,
Jalisco**

C. Alejandro Barragán Sánchez, Presidente Municipal Constitucional del Municipio de Zapotlán el Grande, Jalisco, en cumplimiento a lo dispuesto en los artículos 42 fracción IV y V, y 47 fracción V de la Ley del Gobierno y la Administración Pública Municipal del Estado de Jalisco, a todos los habitantes del Municipio de Zapotlán, **HAGO SABER**:

Que el Ayuntamiento de Zapotlán el Grande, Jalisco, en pleno ejercicio de sus atribuciones en la Sesión Ordinaria de Ayuntamiento número 40 cuarenta, en el punto número 21 veintiuno del orden del día, de fecha 25 veinticinco de septiembre del año 2023 dos mil veintitrés, tuvo a bien aprobar por mayoría absoluta (15 votos a favor) los siguientes:

R E S O L U T I V O S:

PRIMERO: Se apruebe por este Pleno del Ayuntamiento el reconocimiento de la existencia del **PLAN MAESTRO DE LA CUENCA ENDORREICA DE ZAPOTLÁN EL GRANDE, JALISCO**, como un instrumento de que busca integrar acciones de las condiciones naturales y antrópicas actuales de la cuenca y la Laguna, con herramientas para orientar el rumbo y objetivos hacia su sostenibilidad de largo plazo en el Municipio.

SEGUNDO: Se autorice la publicación en la Gaceta Oficial de Zapotlán el Grande, Jalisco, el PLAN MAESTRO DE LA CUENCA ENDORREICA DE ZAPOTLÁN EL GRANDE, JALISCO.

TERCERO: Se instruya a la Secretaría de Gobierno Municipal, para que realice la publicación en la Gaceta Oficial de Zapotlán el Grande, Jalisco, el PLAN MAESTRO DE LA CUENCA ENDORREICA DE ZAPOTLÁN EL GRANDE, JALISCO, de conformidad al artículo 42 fracción IV y V de la Ley del Gobierno y la Administración Pública Municipal del Estado de Jalisco.

CUARTO: Se notifique a la Dirección de Medio Ambiente y Desarrollo Sustentable del Medio Ambiente para su conocimiento del PLAN MAESTRO DE LA CUENCA ENDORREICA DE ZAPOTLÁN EL GRANDE, JALISCO, para los efectos administrativos y operativos a que haya lugar.



*Mientras la ven los volcanes
desde su casa de rocas,
en el cristalino espejo,
miramos la luna hermosa*

Laguna de Zapotlán
María de la O Villalobos Santana
(fragmento)

Zapotlán el Grande, Jalisco, 2021

1. INTRODUCCIÓN	7
2. DIAGNÓSTICO TERRITORIAL.....	11
2.1. CARACTERIZACIÓN DE LA CUENCA ENDORREICA DE LA LAGUNA DE ZAPOTLÁN	11
2.1.1. HIDROLOGÍA SUPERFICIAL	15
2.1.2. GEOMORFOLOGÍA.....	22
2.1.3. UN SISTEMA HIDROGEOLÓGICO ÚNICO Y SÍSMICAMENTE SENSIBLE	29
2.1.4. UNIDADES LITOLÓGICAS	37
2.1.5. LAS GRANDES ESTRUCTURAS DEL RELIEVE REGIONAL	40
2.2. HIDROLOGÍA SUBTERRÁNEA	43
2.2.1. DETERIORO DE LOS SERVICIOS ECOSISTÉMICOS DEL AGUA SUBTERRÁNEA	47
ANÁLISIS HIDROGEOQUÍMICOS Y LOS POTENCIALES RIESGOS A LA SALUD DE LA EXTRACCIÓN INTENSIVA DE AGUA.....	53
2.2.2. CONDICIÓN Y PRESIONES SOBRE EL AGUA SUBTERRÁNEA EN LA CUENCA	56
2.2.3. INSUFICIENCIA E IMPACTO DE LA DELIMITACIÓN DE “ACUÍFEROS ADMINISTRATIVOS DE CONAGUA” COMO UNIDADES DE ADMINISTRACIÓN DE PUNTOS DE EXTRACCIÓN	58
2.2.4. BALANCE HÍDRICO (OFICIAL) DE LOS ACUÍFEROS ADMINISTRATIVOS EN LA CUENCA	61
2.2.5. TENDENCIAS OBSERVADAS A PARTIR DEL ANÁLISIS HIDROLÓGICO	66
DESCONOCIMIENTO COMO CAUSA DEL ACAPARAMIENTO Y DETERIORO DEL AGUA SUBTERRÁNEA: ¿ES INTENCIONAL LA AUSENCIA DE MONITOREO HIDROGEOLÓGICO?.....	73
2.3. ANÁLISIS DE INFRAESTRUCTURA DE AGUA	76
2.4. ANÁLISIS DE CALIDAD DEL AGUA.....	83
2.4.1. ANÁLISIS DE RESULTADOS PREVIOS DE CALIDAD DEL AGUA	83
2.4.2. RESULTADOS DE ANÁLISIS DE MUESTRAS REALIZADAS PARA EL PLAN MAESTRO	89
2.4.3. RECOMENDACIONES.....	101
2.5. ANÁLISIS AGROPECUARIO.....	103
2.5.1. EL SECTOR AGRÍCOLA	109
2.5.2. EL SECTOR PECUARIO	122
2.6. ANÁLISIS FORESTAL	129
2.7. ANÁLISIS URBANO Y DE INSTRUMENTOS DE PLANEACIÓN TERRITORIAL	137
3 AGENDA TERRITORIAL	154
3.1. METODOLOGÍA DE ELABORACIÓN.....	154
3.2. ANÁLISIS DE INVOLUCRADOS	159
3.3. ÁRBOL DE PROBLEMAS SEGÚN ÁREA DE ENFOQUE: LA LAGUNA DE ZAPOTLÁN PRESENTA PROBLEMAS DE CONTAMINACIÓN QUE AFECTAN LA SALUD HUMANA, LA BIODIVERSIDAD Y LOS SERVICIOS ECOSISTÉMICOS.....	172
3.3.1. CAUSAS ESTRUCTURALES Y SUS RESPECTIVAS CAUSAS SUBYACENTES:.....	172
3.3.2. ÁRBOLES DE OBJETIVOS Y MEDIOS.....	175
3.3.3. ESTRUCTURA ANALÍTICA Y PROPUESTAS DE ALTERNATIVAS.....	177

3.4. ÁRBOL DE PROBLEMAS SEGÚN POBLACIÓN AFECTADA: LOS HABITANTES DE LOS MUNICIPIOS DE LA CUENCA DE LA LAGUNA DE ZAPOTLÁN AFECTADOS EN FORMA DESIGUAL EN SUS DERECHOS HUMANOS AL AGUA, AL SANEAMIENTO Y A UN AMBIENTE SANO.	183
3.4.1. CAUSAS ESTRUCTURALES Y SUS RESPECTIVAS CAUSAS SUBYACENTES.....	183
3.4.2. ÁRBOLES DE OBJETIVOS Y MEDIOS.	186
3.4.3. ESTRUCTURA ANALÍTICA Y PROPUESTAS DE ALTERNATIVAS.....	189
4 BANCO INTEGRADO DE PROYECTOS.	195
4.1. EL SENTIDO DEL QUEHACER DEL BIP-ZAPOTLÁN	195
4.2. CICLO DE VIDA DE LOS PROYECTOS Y PROGRAMAS	195
ESQUEMA DE FICHA DE INFORMACIÓN BÁSICA DEL BIP-ZAPOTLÁN	197
SIGUIENTES PASOS DESDE EL ENFOQUE DE LA PLANIFICACIÓN ORIENTADA A RESULTADOS	202
ERRORES QUE DEBEN EVITARSE EN EL DISEÑO INDICADORES	204
5. BIBLIOGRAFÍA.....	205

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1 PORCENTAJES Y ÁREAS MUNICIPALES EN LA CUENCA	14
TABLA 2 COBERTURAS, SUPERFICIES Y PORCENTAJES RESPECTIVOS DEL SUELO EN LA CUENCA	26
TABLA 3 TIPOS DE POLÍTICA TERRITORIAL, SUPERFICIES Y PORCENTAJES EN LA CUENCA	28
TABLA 4. DISPONIBILIDAD MEDIA ANUAL DE ACUÍFEROS ADMINISTRATIVOS DE INTERÉS (HM ³ /AÑO)	62
TABLA 5 COMPOSICIÓN TÍPICA DEL AGUA RESIDUAL DOMÉSTICA SIN TRATAR	85
TABLA 6 PESTICIDAS, HERBICIDAS, SOLVENTES Y TRIHALOMETANOS CONSIDERADOS POR LA NOM-127-SSA1-1994	100
TABLA 7. DISTRIBUCIÓN DE UNIDADES ECONÓMICAS CON AGRICULTURA PROTEGIDA EN LA CUENCA (TOTAL MUNICIPAL)	116
TABLA 8 TASAS DE CRECIMIENTO MEDIA ANUAL DE LOS PRINCIPALES PRODUCTOS AGRÍCOLAS EN LA REGIÓN (2006/2020)	118
TABLA 9 VOLUMEN DE LA PRODUCCIÓN DE PRINCIPALES PRODUCTOS AGRÍCOLAS EN GÓMEZ FARÍAS EN TONELADAS (TON) 2003-2020.	118
TABLA 10 VOLUMEN DE LA PRODUCCIÓN DE PRINCIPALES PRODUCTOS AGRÍCOLAS EN SAN GABRIEL EN TONELADAS (TON) 2003-2020.	119
TABLA 11 VOLUMEN DE LA PRODUCCIÓN DE PRINCIPALES PRODUCTOS AGRÍCOLAS	119
TABLA 12 TASAS DE CRECIMIENTO MEDIA ANUAL DE LOS PRINCIPALES PRODUCTOS PECUARIOS (2006/2020)	123
TABLA 13 UNIDADES ECONÓMICAS PECUARIAS SEGÚN MUNICIPIO, ESPECIE Y TERRENOS EN LA CUENCA	127
TABLA 14 EMISIONES DE GASES EFECTO INVERNADERO POR ACTIVIDAD EN EL SECTOR AGROPECUARIO DE ZAPOTLÁN.	128
TABLA 15 EMISIONES DE GASES EFECTO INVERNADERO POR ACTIVIDAD EN EL SECTOR AGROPECUARIO DE GÓMEZ FARÍAS.	128
TABLA 16 EMISIONES DE GASES EFECTO INVERNADERO POR TIPO DE GAS PARA EL SECTOR AGROPECUARIO EN ZAPOTLÁN Y GÓMEZ FARÍAS	128
TABLA 17 DISTRIBUCIÓN DE UNIDADES ECONÓMICAS SEGÚN SUPERFICIE FORESTAL (TOTAL MUNICIPAL)	132
TABLA 18 INSTRUMENTOS DE PLANEACIÓN EXISTENTES Y SU ESTATUS	138
TABLA 19 EVALUACIÓN DE LA ALINEACIÓN, ARMONIZACIÓN Y CONGRUENCIA, CON BASE EN LOS INSTRUMENTOS DE PLANEACIÓN TERRITORIAL	139
TABLA 20 INSTRUMENTOS DE PLANEACIÓN EXISTENTES Y SU ESTATUS	141

TABLA 21 COMPARATIVA DE LA ESTRUCTURA TERRITORIAL POR INSTRUMENTO DE DESARROLLO URBANO	142
TABLA 22 POBLACIÓN ACTUAL Y PROYECCIONES EN LA CUENCA	148
TABLA 23 HECTÁREAS REQUERIDAS DE SUELO Y VIVIENDA PARA USO URBANO	149
TABLA 24 VIVIENDAS REQUERIDAS A CORTO, MEDIANO Y LARGO PLAZOS	149
TABLA 25 SÍNTESIS DE DATOS DEL SISTEMA URBANO-RURAL DE LOS MUNICIPIOS PRINCIPALES DE LA CUENCA DE LA LAGUNA DE ZAPOTLÁN	153
TABLA 26 ANÁLISIS DE INVOLUCRADOS EN LA SUSTENTABILIDAD DE LA LAGUNA Y SU CUENCA.	161
TABLA 27. AFECTACIONES SECTORIALES MÁS SIGNIFICATIVAS POR LOS IMPACTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO	168
TABLA 28. EMISIÓNES POR TIPO DE GAS PARA EL SECTOR DESECHOS.	171

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

ILUSTRACIÓN 1. MAPA BASE CON DELIMITACIÓN GEOGRÁFICA DE LA CUENCA.	12
ILUSTRACIÓN 2. UBICACIÓN Y BIOGEOGRAFÍA DE LA LAGUNA DE ZAPOTLÁN.	13
ILUSTRACIÓN 3. SUPERFICIES ADMINISTRATIVAS MUNICIPALES SOBRE DELIMITACIÓN GEOGRÁFICA DE LA CUENCA.	15
ILUSTRACIÓN 4 DELIMITACIÓN DE LA LAGUNA DE ZAPOTLÁN	16
ILUSTRACIÓN 5 INFRAESTRUCTURA AZUL	18
ILUSTRACIÓN 6. PAISAJE DEL VALLE Y LAGUNA DE ZAPOTLÁN EL GRANDE.	19
ILUSTRACIÓN 7. RED HIDROGRÁFICA JERARQUIZADA DE LA CUENCA ZAPOTLÁN.	21
ILUSTRACIÓN 8. GRANDES MORFOESTRUCTURAS REGIONALES Y LA CUENCA DE ZAPOTLÁN	22
ILUSTRACIÓN 9. VISTA REGIONAL DE LAS ZONAS DE RELLENO SEDIMENTARIO DEL BLOQUE HUNDIDO DEL GRABEN DE COLIMA, EN LOS QUE SE OBSERVAN LOS CENTROS DE POBLACIÓN DE Cd. GUZMÁN, SAYULA Y ATOYAC.	23
ILUSTRACIÓN 10. GRANDES MORFOESTRUCTURAS REGIONALES Y RASGOS DE LA GEOMORFOLOGÍA EROSIVA FLUVIAL (AL CENTRO EL COMPLEJO VOLCÁNICO DE COLIMA Y LA CUENCA DE ZAPOTLÁN).	24
ILUSTRACIÓN 11 USO DE SUELO Y VEGETACIÓN EN LA CUENCA	25
ILUSTRACIÓN 12 INFRAESTRUCTURA VERDE	27
ILUSTRACIÓN 13 UNIDADES DE GESTIÓN AMBIENTAL POR POLÍTICA	28
ILUSTRACIÓN 14 AGRICULTURA	29
ILUSTRACIÓN 15. PLACAS Y GRANDES ESTRUCTURAS REGIONALES RELACIONADAS CON EL BLOQUE JALISCO (CG ES CIUDAD GUZMÁN EN LA FIGURA)	31
ILUSTRACIÓN 16. MARCO TECTÓNICO Y PRINCIPALES ESTRUCTURAS VOLCÁNICAS EN EL OCCIDENTE DE MÉXICO. ESTRUCTURAS CON GRAN INFLUENCIA EN LA EVOLUCIÓN DEL PAISAJE E HIDROGEOLOGÍA REGIONAL PARA EL TERRITORIO EN ESTUDIO (VER LAGO DE CHAPALA, GRABEN DE COLIMA (C), NEVADO DE COLIMA (7) Y VOLCÁN COLIMA (8) COMO REFERENCIAS EN LA FIGURA	31
ILUSTRACIÓN 17. MAPA DE PELIGROS VOLCÁN DE FUEGO DE COLIMA	34
ILUSTRACIÓN 18 RIESGOS NATURALES EN LA CUENCA ZAPOTLÁN	36
ILUSTRACIÓN 19 GEOLOGÍA DE LA CUENCA ZAPOTLÁN	38
ILUSTRACIÓN 20. AFLORAMIENTOS GEOLÓGICOS, INCLUYENDO LA ZONA DEL GRABEN DE COLIMA, AL NORTE DE ZAPOTLÁN.	39
ILUSTRACIÓN 21 UNIDADES LITOLÓGICAS SUBSUPERFICIALES CON PERMEABILIDAD SECUNDARIA DIFERENCIAL EN LA CUENCA ZAPOTLÁN	46
ILUSTRACIÓN 22. UBICACIÓN DE NORIAS Y POZOS DE EXTRACCIÓN SEGÚN COORDENADAS DEL REGISTRO DE CONCESIONES DE USO DE AGUA SUBTERRÁNEA DEL REPDA, SIN DIFERENCIAR VOLUMENES CONCESIONADOS	48
ILUSTRACIÓN 23 DISTRIBUCIÓN GEOGRÁFICA DE LAS MAYORES CONCESIONES DE USO DE AGUA SUBTERRÁNEA, POR TIPO DE USO Y VOLUMEN DE EXTRACCIÓN DE AGUA (M ³). SE OBSERVA LA TENDENCIA A LA CONCENTRACIÓN DE LOS POZOS CON LAS MAYORES CONCESIONES PARA RIEGO AL SUROESTE DE LA CUENCA, COINCIDENTE CON LA TASA MAYOR DE CAMBIO DE USO DEL SUELO A AGRICULTURA PROTEGIDA Y HUERTOS DE AGUACATE.	49

ILUSTRACIÓN 24 DISTRIBUCIÓN TERRITORIAL DE LAS GRANDES CONCESIONES DE EXTRACCIÓN Y USO DE AGUA SUBTERRÁNEA EN LA CUENCA (VOLUMEN ANUAL CONCESIONADO DE AGUA (M ³)	51
ILUSTRACIÓN 25 DELIMITACIÓN DEL ACUÍFERO ADMINISTRATIVO 1406 CIUDAD GUZMÁN, JAL.	64
ILUSTRACIÓN 26 DISPONIBILIDAD MEDIA ANUAL (DMA) DE AGUA SUBTERRÁNEA DEL ACUÍFERO ADMINISTRATIVO CIUDAD GUZMÁN. CALCULADO DE ACUERDO CON LA NOM-011-CNA-2015.....	65
ILUSTRACIÓN 27 TIPOS DE DATOS QUE SE REQUIEREN PARA INICIAR LA GESTIÓN SOSTENIBLE DEL AGUA SUBTERRÁNEA	74
ILUSTRACIÓN 28 REGLAS BÁSICAS PARA LOGRAR PROGRAMAS DE MONITOREO DEL AGUA SUBTERRÁNEA EXITOSOS	76
ILUSTRACIÓN 29. INVENTARIO DE NÚMERO DE TOMAS Y COBERTURA DE MEDICIÓN POR CLASIFICACIÓN (SAPAZA, 2020).....	78
ILUSTRACIÓN 30. INFRAESTRUCTURA DE CONDUCCIÓN Y DISTRIBUCIÓN SAPAZA (2020)	78
ILUSTRACIÓN 31. PROPORCIÓN DE COBERTURA DE CATASTRO PARA LA RED DE AGUA POTABLE Y ALCANTARILLADO EN ZAPOTLÁN EL GRANDE.	79
ILUSTRACIÓN 32 CONCENTRACIÓN DE DBO ₅ EN EL AFLUENTE A LAS PTAR 1 Y 2 DE ZAPOTLÁN EL GRANDE EN 2019 Y 2020.	85
ILUSTRACIÓN 33 CONCENTRACIÓN DE NITRÓGENO TOTAL EN EL AFLUENTE A LAS PTAR 1 Y 2 DE ZAPOTLÁN EL GRANDE EN 2019 Y 2020.....	86
ILUSTRACIÓN 34 CONCENTRACIÓN DE FÓSFORO TOTAL EN EL AFLUENTE A LAS PTAR 1 Y 2 DE ZAPOTLÁN EL GRANDE EN 2019 Y 2020.....	86
ILUSTRACIÓN 35 COMPOSICIÓN DE SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES EN EL EFLUENTE DE LAS PTAR 1 Y 2 DE ZAPOTLÁN EL GRANDE EN 2019 Y 2020.	87
ILUSTRACIÓN 36 COMPOSICIÓN DE DBO ₅ EN EL EFLUENTE DE LAS PTAR 1 Y 2 DE ZAPOTLÁN EL GRANDE EN 2019 Y 2020.	87
ILUSTRACIÓN 37 COMPOSICIÓN DE NITRÓGENO TOTAL EN EL EFLUENTE DE LAS PTAR 1 Y 2 DE ZAPOTLÁN EL GRANDE EN 2019 Y 2020.....	88
ILUSTRACIÓN 38 COMPOSICIÓN DE FÓSFORO TOTAL EN EL EFLUENTE DE LAS PTAR 1 Y 2 DE ZAPOTLÁN EL GRANDE EN 2019 Y 2020.....	88
ILUSTRACIÓN 39 LOCALIZACIÓN DE PUNTOS DE MUESTREO DE AGUAS SUPERFICIALES Y SUBTERRÁNEAS ANALIZADOS BAJO LA NOM-127-SSA1-1994 EN ZAPOTLÁN EL GRANDE.	91
ILUSTRACIÓN 40 CONCENTRACIÓN DE MICROORGANISMOS PATÓGENOS EN MUESTRAS DE AGUA SUBTERRÁNEA Y SUPERFICIAL COLECTADAS EN EL MES DE JUNIO DE 2021 EN ZAPOTLÁN EL GRANDE Y GÓMEZ FARÍAS.	94
ILUSTRACIÓN 41 CONCENTRACIÓN DE HIERRO Y MANGANESO EN MUESTRAS DE AGUA SUBTERRÁNEA Y SUPERFICIAL DE ZAPOTLÁN EL GRANDE Y GÓMEZ FARÍAS, JALISCO	95
ILUSTRACIÓN 42 PRESENCIA DE HIERRO Y MANGANESO EN MUESTRAS DE AGUA SUBTERRÁNEA Y SUPERFICIAL COLECTADAS EN EL MES DE JUNIO DE 2021 EN ZAPOTLÁN EL GRANDE Y GÓMEZ FARÍAS.....	96
ILUSTRACIÓN 43 CONCENTRACIÓN DE CLORUROS EN MUESTRAS DE AGUA SUBTERRÁNEA Y SUPERFICIAL DE ZAPOTLÁN EL GRANDE Y GÓMEZ FARÍAS, JALISCO	97
ILUSTRACIÓN 44 PRESENCIA DE CLORUROS EN MUESTRAS DE AGUA SUBTERRÁNEA Y SUPERFICIAL COLECTADAS EN EL MES DE JUNIO DE 2021 EN ZAPOTLÁN EL GRANDE Y GÓMEZ FARÍAS.	98
ILUSTRACIÓN 45 CONCENTRACIÓN DE NITRÓGENO AMONIACAL EN MUESTRAS DE AGUA SUBTERRÁNEA Y SUPERFICIAL DE ZAPOTLÁN EL GRANDE Y GÓMEZ FARÍAS, JALISCO	99
ILUSTRACIÓN 46 PRESENCIA DE NITRÓGENO AMONIACAL EN MUESTRAS DE AGUA SUBTERRÁNEA Y SUPERFICIAL COLECTADAS EN EL MES DE JUNIO DE 2021 EN ZAPOTLÁN EL GRANDE Y GÓMEZ FARÍAS.....	99
ILUSTRACIÓN 47 PRESENCIA DE TRIHALOMETANOS EN MUESTRAS DE AGUA SUBTERRÁNEA Y SUPERFICIAL COLECTADAS EN EL MES DE JUNIO DE 2021 EN ZAPOTLÁN EL GRANDE Y GÓMEZ FARÍAS.....	101
ILUSTRACIÓN 48 PROBLEMÁTICAS AMBIENTALES RELACIONADAS CON EL SECTOR AGROALIMENTARIO	104
ILUSTRACIÓN 49 SOLUCIONES A LAS PROBLEMÁTICAS AMBIENTALES DESDE EL SECTOR AGROALIMENTARIO	105
ILUSTRACIÓN 50. UNIDADES ECONÓMICAS DE GRAN MAGNITUD EN LA ZONA DE ESTUDIO.....	106
ILUSTRACIÓN 51 ESTRATOS DE SUPERFICIE AGROPECUARIA Y CONDICIONES CLIMATOLÓGICAS.....	107
ILUSTRACIÓN 52 ACCIONES PARA IMPULSAR LA AGROINDUSTRIA.....	108
ILUSTRACIÓN 53 BUENAS PRÁCTICAS AGROALIMENTARIAS	108
ILUSTRACIÓN 54 MOTIVOS DE INTERÉS EN CERTIFICACIONES AGROALIMENTARIAS	109

ILUSTRACIÓN 55 ALMACENAMIENTO DE AGUA A CIELO ABIERTO (OLLAS) POR PENDIENTES.....	111
ILUSTRACIÓN 56 AGRICULTURA DE RIEGO Y DE TEMPORAL EN LA CUENCA.....	113
ILUSTRACIÓN 57 SUPERFICIE DESTINADA A HUERTAS DE AGUACATE, Y APROVECHAMIENTO DE AGUAS	114
ILUSTRACIÓN 58. SUPERFICIE OCUPADA POR INVERNADEROS POR AÑO (2000-2015)	115
ILUSTRACIÓN 59. MAPA DE COBERTURA Y USO DE SUELO EN ZAPOTLÁN EL GRANDE (2005 Vs 2015).....	116
ILUSTRACIÓN 60 VOLUMEN DE LA PRODUCCIÓN DE CARNE EN MUNICIPIOS DE LA CUENCA ZAPOTLÁN EN TONELADAS (TON) 2006-2020	123
ILUSTRACIÓN 61 VOLUMEN DE LA PRODUCCIÓN DE GANADO EN PIE EN MUNICIPIOS DE LA CUENCA ZAPOTLÁN EN TONELADAS (TON) 2006-2020	124
ILUSTRACIÓN 62 VOLUMEN DE LA PRODUCCIÓN DE HUEVO PLATO EN MUNICIPIOS DE LA CUENCA ZAPOTLÁN EN TONELADAS (TON) 2006-2020	124
ILUSTRACIÓN 63 VOLUMEN DE LA PRODUCCIÓN DE LECHE EN MUNICIPIOS DE LA CUENCA ZAPOTLÁN EN TONELADAS (MILES DE LITROS) 2006-2020.....	125
ILUSTRACIÓN 64 VOLUMEN DE LA PRODUCCIÓN DE MIEL EN MUNICIPIOS DE LA CUENCA ZAPOTLÁN EN TONELADAS (TON) 2006-2020	125
ILUSTRACIÓN 65 VOLUMEN DE LA PRODUCCIÓN DE CERA EN MUNICIPIOS DE LA CUENCA ZAPOTLÁN EN TONELADAS (TON) 2006-2020	126
ILUSTRACIÓN 66 INCENDIOS FORESTALES REGISTRADOS.....	135
ILUSTRACIÓN 67 SUPERFICIE FORESTAL AFECTADA POR INCENDIOS FORESTALES (HA).....	135
ILUSTRACIÓN 68 PROPIEDAD SOCIAL EN LA CUENCA	144
ILUSTRACIÓN 69 INFRAESTRUCTURA GRIS EN LA CUENCA	145
ILUSTRACIÓN 70 INFRAESTRUCTURA DE COMUNICACIÓN EN LA CUENCA.....	146
ILUSTRACIÓN 71 CLASIFICACIÓN DE LOCALIDADES EN LA CUENCA	148
ILUSTRACIÓN 72 EQUIPAMIENTO EN LA CUENCA	151
ILUSTRACIÓN 73 INDUSTRIAS EN LA CUENCA	151
ILUSTRACIÓN 74 ELEMENTOS MÍNIMOS DEL CICLO DE GESTIÓN PÚBLICA	156
ILUSTRACIÓN 75. PRINCIPALES SECTORES INVOLUCRADOS EN LA SUSTENTABILIDAD DE LA CUENCA	161
ILUSTRACIÓN 76 PASOS PARA REALIZAR LAS INICIATIVAS DE INVERSIÓN PÚBLICA	197

ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS.

FOTOGRAFÍA 1 CONJUNTO FOTOGRÁFICO DE INFRAESTRUCTURA DE TRATAMIENTO DE AGUAS EN ZAPOTLÁN EL GRANDE.....	80
FOTOGRAFÍA 2 CONJUNTO FOTOGRÁFICO DE LA PTAR CON HUMEDAL DE ATEQUIZAYÁN	81
FOTOGRAFÍA 3 CONJUNTO FOTOGRÁFICO DE LAS OBRAS EN LA PTAR DE SAN SEBASTIÁN DEL SUR	82
FOTOGRAFÍA 4 CONJUNTO FOTOGRÁFICO DE LA PTAR DE SAN ANDRÉS IXTLÁN.....	83
FOTOGRAFÍA 5 CUSTODIA DE MUESTRAS DE CAMPAÑAS DE MUESTREO DE AGUAS SUBTERRÁNEAS Y SUPERFICIALES PARA VALIDEZ Y CALIDAD, 28 Y 30 DE JUNIO DE 2021	89
FOTOGRAFÍA 6 CAMPAÑAS DE MUESTREO DE AGUAS SUBTERRÁNEAS Y SUPERFICIALES, 28 Y 30 DE JUNIO DE 2021 (CONJUNTO FOTOGRÁFICO).....	92
FOTOGRAFÍA 7 LLENADO DE PIPA CON AGUA RESIDUAL TRATADA EN PTAR 2 DE ZAPOTLÁN	103
FOTOGRAFÍA 8 OLLA DE ALMACENAMIENTO DE AGUA PARA RIEGO DE AGUACATE EN GÓMEZ FARÍAS	112
FOTOGRAFÍA 9 LAGUNA E INVERNADEROS DESDE MANANTIAL EN GÓMEZ FARÍAS.....	117
FOTOGRAFÍA 10 BARCAS DE PESCA ARTESANAL Y MALEZAS ACUÁTICAS EN LA LAGUNA DE ZAPOTLÁN	121
FOTOGRAFÍA 11 INUNDACIÓN DE LIBRAMIENTO QUE CRUZA LA LAGUNA.....	147
FOTOGRAFÍA 12 INUNDACIONES EN SUR DE ÁREA URBANA DE ZAPOTLÁN.....	147
FOTOGRAFÍA 13 VISTA GENERAL DEL VERTEDERO DE ZAPOTLÁN EL GRANDE (EN OPERACIÓN)	169
FOTOGRAFÍA 14 VISTA GENERAL DEL VERTEDERO DE GÓMEZ FARÍAS (EN PROCESO DE CIERRE Y ABANDONO)...	170
FOTOGRAFÍA 15 ESCOMBRERA ILEGAL DE GRANDES DIMENSIONES QUE GANA TERRENO A LA LAGUNA.....	171

1. INTRODUCCIÓN

El Plan Maestro de la Cuenca endorreica de Zapotlán el Grande (en adelante Plan Maestro) se ha concebido como un instrumento de política territorial que busca integrar las condiciones naturales y antrópicas actuales de la cuenca y la Laguna, y orientar el rumbo hacia su sostenibilidad de largo plazo.

Un plan maestro es un instrumento de planeación territorial que cuenta con la suficiente flexibilidad para enfrentar los problemas complejos que presenta una determinada realidad socio ambiental. El largo plazo es el horizonte donde pretende impactar, ya que este tipo de planes tienen como propósito modificar prácticas para lograr la sustentabilidad del territorio (Lancellotti, 2017). Además, un plan maestro posibilita la conjunción de intereses y coadyuva a la construcción de una visión común en cuanto a la orientación de las acciones a llevarse a cabo para revertir la degradación que presenta el ecosistema (Chinchay et al., 2007).

El Objetivo General de este Plan Maestro es identificar acciones puntuales para el fortalecimiento de la sustentabilidad de las cadenas productivas, el fomento de la producción y el consumo sustentable, así como el mejoramiento y saneamiento socioambiental de la Laguna de Zapotlán el Grande y su cuenca, en la convicción de que su sustentabilidad hídrica y patrimonial representa un eje fundamental para la viabilidad del desarrollo y crecimiento de la región.

En tanto que sus objetivos específicos apuntan y primordialmente a:

1. Explorar las condiciones ambientales de la Laguna de Zapotlán y reconocer posibilidades para mejorarlas.
2. Establecer bases para la implementación de acciones, proyectos, programas y agendas sectoriales en proceso de implementación, y nuevas estrategias de acción.
3. Ofrecer alternativas de acción, cooperación y gestión que favorezcan la sustentabilidad de la Laguna a mediano y largo plazos.
4. Favorecer el establecimiento de puentes de comunicación entre los diversos actores del territorio que permitan potenciar acciones puntuales para el saneamiento y manejo sustentable de la Laguna de Zapotlán el Grande y su Cuenca.

Este Plan Maestro aborda el problema público que significan los impactos negativos de las actividades humanas en la cuenca, que es muy vulnerable a los mismos, y que son provocados por diversas y complejas problemáticas con múltiples causas. Actualmente, las actividades económicas son las que mayor incidencia tienen en los cambios en la calidad del agua en una cuenca. Por lo tanto, el foco del mejoramiento y saneamiento de la laguna de Zapotlán está en el análisis de las actividades económicas de los principales actores económicos de la cuenca endorreica. Por su parte, la visión de cuenca de este Plan Maestro implica tomar en cuenta las formas terrestres del ciclo hidrológico. Las características físicas y territoriales de las cuencas tienen íntima interdependencia entre los usos y usuarios, donde flora y fauna son afectados por la degradación de los ecosistemas. El efecto de los intereses económicos en el uso del agua en la cuenca es la principal determinante de los impactos ambientales (Dourojeanni et al., 2002).

Al tratarse de una cuenca endorreica, la cual implica un sistema cerrado, se tienen límites geográficos más definidos que una abierta, hecho que otorga la ventaja de poder identificar más

claramente los actores que inciden en la degradación de los ecosistemas. Sin embargo, una cuenca endorreica tiene la desventaja de concentrar la contaminación en un territorio cerrado, lo que se traduce en que cada afectación ambiental es más intensa en comparación de una cuenca abierta.

La metodología en la que se basa este plan maestro es la de marco lógico. Se busca la coherencia entre las causas de los problemas, los objetivos y las alternativas de solución. Cabe señalar que es un medio para lograr claridad y congruencia en el diseño, ejecución y evaluación de acciones. Después se valida la información con los actores involucrados, para afinar las estrategias más pertinentes y viables de corto, mediano y largo plazo (Ortegón et al., 2005). El principal obstáculo a la implementación de la metodología de marco lógico en México ha sido la brecha entre lo que establece la planeación y las reglas formales e informales de cada una de las dependencias involucradas en su ejecución (Culebro y Fernández, 2012). En este sentido, es fundamental que este Plan Maestro continúe promoviéndose entre los actores involucrados con el fin de que se implemente de forma efectiva.

Los componentes principales del Plan Maestro son:

- Diagnóstico Territorial, y con visión de cuenca.
- Agenda Territorial, de carácter estratégico, con alternativas puntuales para el manejo sustentable de la Laguna de Zapotlán y su cuenca a largo plazo, y que contempla un Banco de Proyectos diseñado para tal efecto.

El Diagnóstico Territorial es un análisis situacional con la caracterización de diversos subsistemas naturales y socioeconómicos, así como la identificación de prácticas, presiones acumulativas y sinérgicas en el uso de los recursos hídricos superficiales y subterráneos por parte de los actores e intereses económicos presentes en el territorio, que trata de contener la complejidad del contexto territorial de la cuenca de la Laguna de Zapotlán, y de mostrar una visión actualizada de las condiciones de su territorio. En el entendido de que lo territorial no responde a la clásica concepción geográfica, como espacio ecológico fijo, sino un espacio peculiar por su tejido sociocultural y formas propias de producción únicas. Un espacio que identifica una historia común y valores compartidos de actores y relaciones en torno a intereses dinámicos (Rojas, 2008).

A partir de esta identificación de problemas, se exponen una serie de posibles alternativas de solución, teniendo en cuenta el aprovechamiento de las potencialidades existentes en el territorio (Gómez, 2010). A partir del Diagnóstico Territorial se desprenden las políticas públicas encaminadas a articular las distintas aristas que confluyen en el área principal a mejorar (Vega, 2002), en este caso la laguna de Zapotlán.

El componente estratégico del Plan Maestro lo integran las actividades y productos que sirven de base a la Agenda Territorial y el Banco de Proyectos que apuntan al saneamiento de la laguna y al manejo sustentable de los factores concurrentes que afectan la cuenca endorreica de la Laguna de Zapotlán a largo plazo.

La Agenda Territorial refiere al planteamiento de soluciones en referencia a la complejidad de los intereses y relaciones históricas de los actores, en este caso en torno al mejoramiento y saneamiento de la Laguna de Zapotlán. Se concibe como elemento integrador de una visión sistémica de la Cuenca que permite identificar las estrategias más oportunas para el saneamiento de la laguna de Zapotlán a mediano y largo plazos, así como estrategias de

buenas prácticas, incorporar acuerdos intersectoriales e interinstitucionales, definir escenarios actuales y futuros, y proyectar las intervenciones necesarias que atiendan las causas de problemas complejos, bajo un esquema común de planeación, seguimiento y evaluación, en el marco de un proceso integral de gobernanza y gestión territorial de la Cuenca.

La Agenda Territorial refiere al conjunto de acciones de los actores involucrados, tomando en cuenta sus interdependencias y cooperación necesarias para resolver problemas complejos (Farinós, 2008).

Del mismo modo, lo anterior incide en al menos los siguientes objetivos y metas de la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible a los que apuntan las políticas locales, jaliscienses y nacionales:

- Proteger las fuentes de agua para consumo humano y mejorar la calidad del agua reduciendo su contaminación por químicos, y proteger y restablecer los ecosistemas hídricos (ODS6)
- Procurar desvincular el crecimiento económico de la degradación ambiental y social (ODS 8)
- Lograr la gestión sostenible y el uso eficiente de los bienes y recursos naturales (ODS 12)
- Evitar la degradación de suelos, la desertificación y rehabilitar o regenerar los suelos para actividades productivas y servicios de los ecosistemas (ODS 15)

Con base en dicha Agenda, se formula el Banco de Proyectos como herramienta que coadyuva a la planeación efectiva de las alternativas propuestas para el saneamiento de la laguna y el manejo sustentable de la cuenca endorreica de la Laguna de Zapotlán en el largo plazo. Es el esquema común para la cristalización en acciones concretas de lo identificado en el diagnóstico territorial (Castaño, 2000), donde se proyectan e incuban alternativas estratégicas en torno a un problema común, donde es fundamental establecer incentivos para la cooperación.

La efectividad del modelo conceptual del Banco de Proyectos se verá reflejada posteriormente su operatividad por parte de los actores involucrados y potenciales inversores o usuarios, con base en procesos más eficientes, verificables y transparentes para la asignación de recursos, y la claridad de necesidades para acceder a posibles fuentes de financiamiento.

El énfasis de sustentabilidad socioproductiva y territorial se orienta a reducir la vulnerabilidad económica y ecológica de la cuenca, y fortalecer la conservación de zonas productivas y cuerpos de agua que forman parte indisoluble de la historia y la identidad de la región. Esto además alineado al menos a los objetivos y estrategias de los Programas Municipales de Desarrollo y Gobernanza 2018-2021 de Zapotlán El Grande, Gómez Farías y San Gabriel en materia de sustentabilidad, conservación, y desarrollo económico. Asimismo, la vulnerabilidad ante efectos adversos del cambio climático en la región se muestra con firmeza en la alteración significativa de los ciclos socio hidrológicos, causa por la cual muchos cultivos se pierden sea por exceso de lluvia o por falta de ella (SAPAZA 2019).

Por ello este Plan Maestro debe funcionar como un instrumento de planeación del desarrollo basado en ecosistemas y en la cuenca, como mecanismo de adaptación al cambio climático, y transitar hacia una región sensible al agua, no solo en el ámbito urbano sino con intervenciones puntuales y progresivas en toda la Cuenca, con trascendencia y aplicación más allá de los períodos constitucionales entre administraciones locales.

Dado lo anterior, este Plan Maestro es un instrumento de política territorial que permite establecer convergencia y operatividad entre los ordenamientos ecológicos, territoriales y urbanos de la Cuenca y los sujetos involucrados en su aplicabilidad y cumplimiento. Representa un reto especial en términos de acción climática regional con enfoque de cuenca, a la vez que una oportunidad de integración de instrumentos de planeación y gestión territorial vigentes con visión sistémica desde el agua, como los planes de acción climática locales, los programas de ordenamiento ecológico local, planes municipales de desarrollo urbano, los atlas de riesgos; el programa de conservación y manejo de la Laguna de Zapotlán como Humedal de Relevancia Internacional Ramsar, y reconocido por el programa “living lakes”.

Diversos instrumentos de política ambiental y territorial vigentes para la Cuenca identifican, regulan y proyectan sus características y prospectiva, y dan cuenta de los impactos y presiones a los que se encuentra sometida, así como remiten a sus orígenes y repercusiones futuras en el ámbito público, privado y social en distintas dimensiones incipientemente exploradas y que requieren un fortalecimiento. Lo anterior se identifica en diversos capítulos y secciones analíticas y estratégicas de este Plan Maestro.

Por último, es necesario enfatizar en las implicaciones de la implementación del Plan Maestro, para la cual es básico que se de en un marco de comunicación constante, que vaya generando confianza en la cooperación de los actores involucrados ante los proyectos a desarrollar.

En el transcurso de las decisiones, los distintos actores deberán hacer sacrificios y concesiones porque este Plan Maestro implica cambiar prácticas y modificar patrones de decisión, tanto pública como privada. En este sentido, el Comité encargado de ejecutar este plan deberá incluir a la mayor cantidad de sectores y actores interesados de una u otra manera en la sustentabilidad de la laguna y su cuenca.

2. DIAGNÓSTICO TERRITORIAL

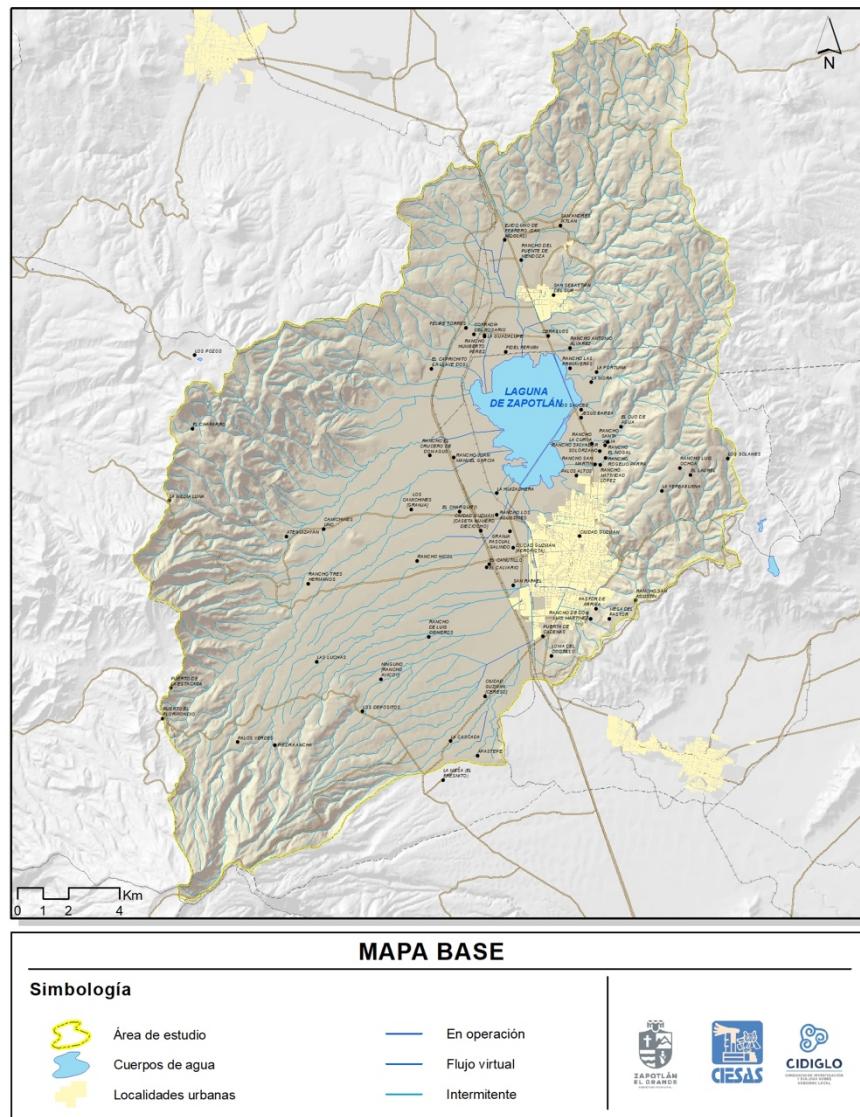
Se presenta a continuación un análisis de variables principales que acontecen en la cuenca, que forman parte de las circunstancias consideradas en la Agenda Territorial.

2.1. Caracterización de la cuenca endorreica de la Laguna de Zapotlán.

Este Plan Maestro se centra en el territorio delimitado por la propia subcuenca, con una superficie total de 460.15 km² y un perímetro aproximado de 111 km (ver representaciones gráficas en Ilustraciones 1 y 2) que “corresponde a una cuenca cerrada de forma alargada; delimitada hacia el oeste por la Sierra de la Media Luna y la Falda Septentrional del Nevado de Colima, hacia el noroeste por la Sierra de Usmajac, y hacia la parte noreste por las Sierras los Manzanillos y el Tigre.” (CONAGUA 2020)

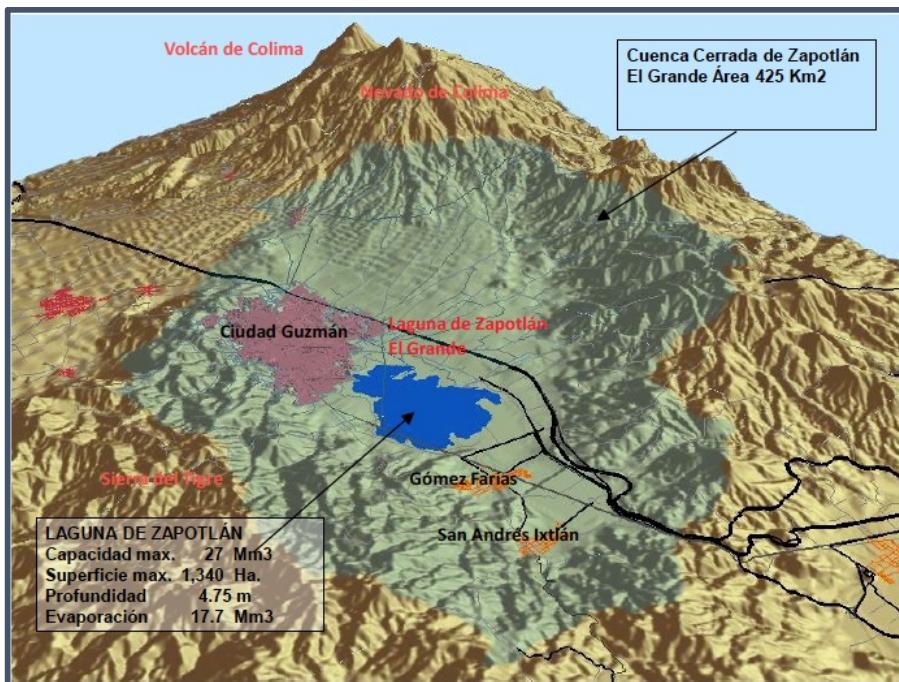
La Subcuenca Laguna de Zapotlán pertenece a la Región Hidrológica- Administrativa Lerma-Santiago (RH12), y forma parte de la cuenca hidrográfica Lerma-Chapala. La altitud máxima en la misma es de 3.880 metros sobre el nivel del mar (m.s.n.m.) en el parteaguas coincidente con el volcán Nevado de Colima, mientras que la mínima es de 1.488 m.s.n.m. a la altura del espejo de agua de la Laguna de Zapotlán.

Ilustración 1. Mapa base con delimitación geográfica de la Cuenca.



Fuente: Elaboración propia.

Ilustración 2. Ubicación y biogeografía de la Laguna de Zapotlán.



Fuente: Orendain 2010, retomado de Lago de Zapotlán sitio Ramsar. Universidad de Guadalajara.

La cuenca comprende de manera principal territorios de los municipios de Zapotlán el Grande, Gómez Farías y San Gabriel, municipios que son muy diversos en sus características territoriales, sociales, económicas y políticas, así como en sus capacidades institucionales para la protección y gestión ambiental y territorial.

Otros cuatro municipios cuentan con territorios en la cuenca de manera muy mínima, es el caso de Atoyac, Sayula, Zapotiltic y Zapotiltán de Vadillo, los cuales para efectos de este trabajo se tomarán en cuenta meramente a efectos enunciativos, al no haberse identificado algún asunto de consideración especial.

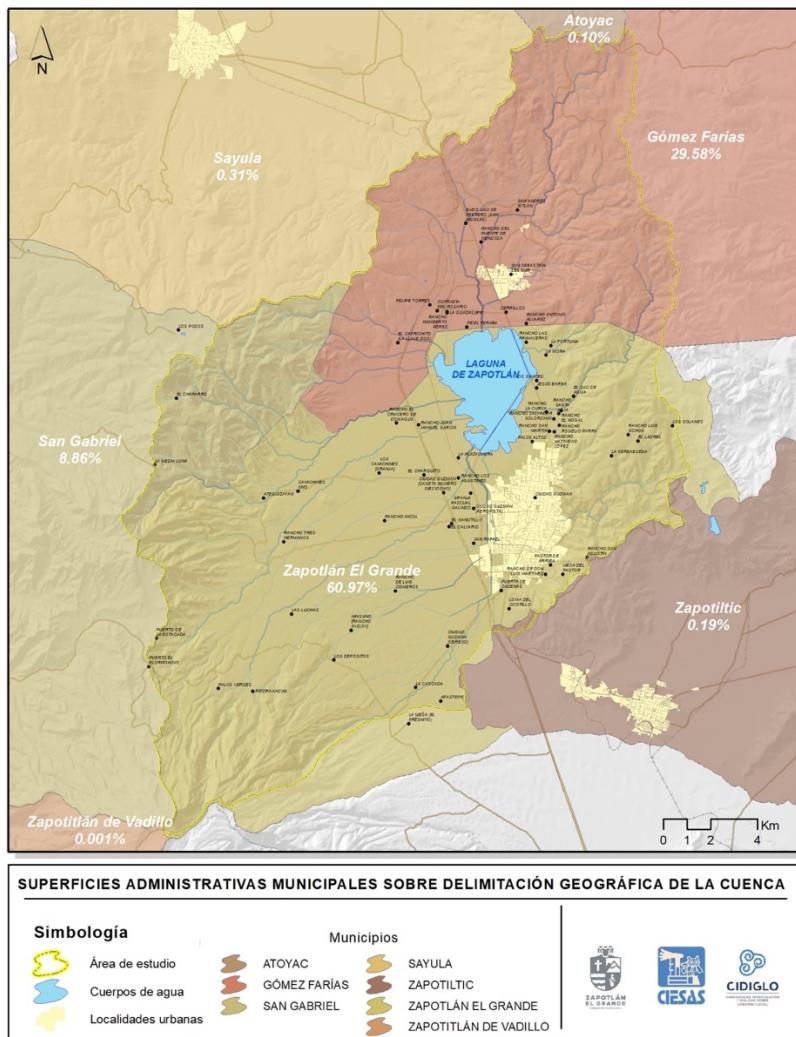
Tabla 1 Porcentajes y áreas municipales en la cuenca

Municipio	% de superficie de la cuenca	Área en Hectáreas
Zapotlán El Grande	60.97	28053.74
Gómez Farías	29.58	13609.97
San Gabriel	8.86	4075.14
Sayula	0.31	140.92
Zapotiltic	0.19	88.84
Atoyac	0.10	45.84
Zapotlán de Vadillo	0.00	0.94
Total	100%	46015.39

Fuente: Elaboración propia, según límites municipales del IIEG Jalisco.

Dichos porcentajes y extensiones tienen la siguiente representación geográfica según la delimitación administrativa de los municipios (Ilustración 2); la delimitación de la cuenca se muestra con la línea amarilla, aunque tanto en el caso de Zapotlán el Grande como de Gómez Farías existen diversos y complejos conflictos de delimitación oficial vigentes, principalmente hacia Zapotiltic y Tuxpan, los cuales sin embargo no se entienden como obstáculos para efectos de la delimitación de la cuenca en este caso.

Ilustración 3. Superficies administrativas municipales sobre delimitación geográfica de la Cuenca.



Fuente: Elaboración propia

2.1.1. Hidrología superficial

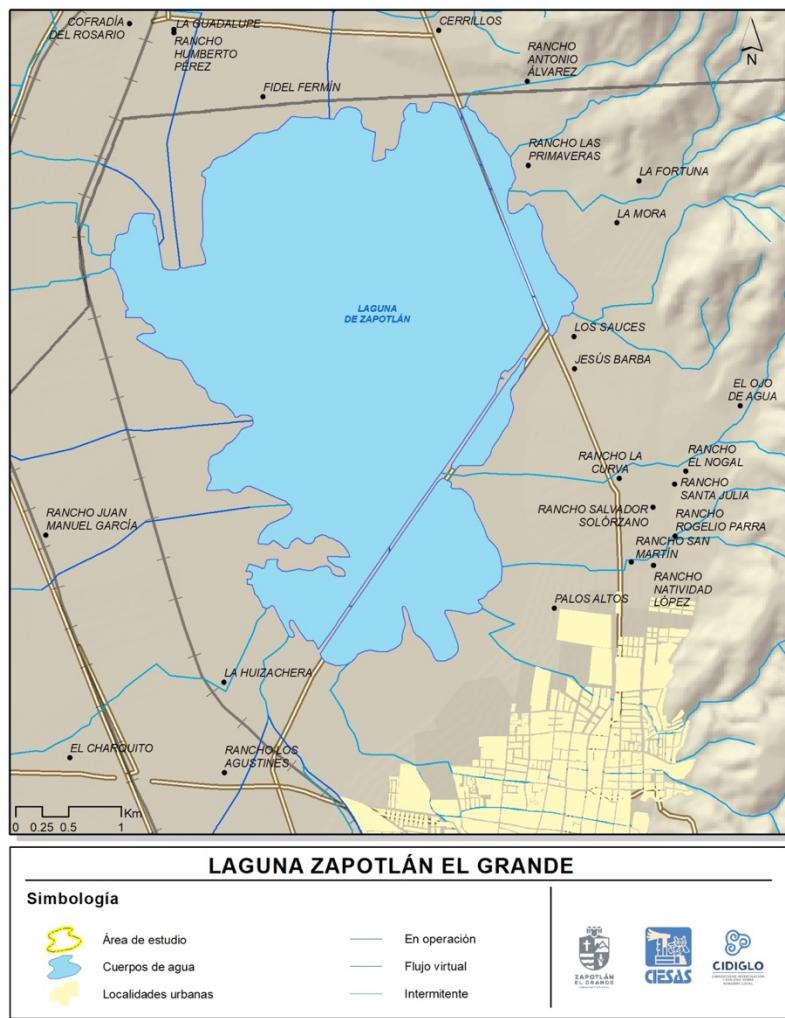
La cuenca por sus características hidrológicas tiene un activo central y de especial trato: La laguna de Zapotlán, pieza clave, dentro del sistema de humedales reconocidos a nivel internacional, con una tipología continental.

La laguna de Zapotlán está en la parte más baja de la Cuenca, está limitada al este por las pendientes de la Sierra del Tigre y la carretera estatal Ciudad Guzmán – Gómez Farías; al sur por Ciudad Guzmán; al oeste por la línea del Ferrocarril Guadalajara-Manzanillo y al Norte, por el área agrícola denominada los Cerrillos y la carretera Gómez Farías - la Cofradía (Michel Parra et. al. 2014:234)

Cuenta con una superficie de agua aproximada del espejo de agua de 1,376 ha (aunque ha oscilado en los últimos 25 años entre 1,340 y 1,600 ha), una profundidad promedio de 4 m y una capacidad de captación máxima conocida de 27 millones de m³.

El largo del espejo de agua tiene alrededor de 4.5 km por 3.5 km de ancho, con un perímetro aproximado de 15.8 km, según las diversas estaciones del año. En 1995 el polígono del sitio Ramsar midió 29.53 km² con una profundidad media de 4.5 m (Gobierno de Zapotlán et. al. 2021)

Ilustración 4 Delimitación de la laguna de Zapotlán



Fuente: Elaboración propia

“Por sus características y clasificaciones políticas la laguna de Zapotlán es propiedad federal, sin embargo el uso de suelo en la periferia de la laguna, además de resguardar y mantener ecosistemas naturales y sus especies residentes y migratorias de aves y otros grupos de fauna, es utilizada como área de pastoreo; otras áreas del límite del vaso son utilizadas para agricultura con predominio de alfalfares y praderas (...) y en una mayor

proporción es utilizada para pesca artesanal (...) así como una alta extracción de tule para el trabajo artesanal (...) representando una economía altamente significativa para el municipio de Gómez Farías y Zapotlán el Grande." (Michel et. al. RAMSAR 2005:11)

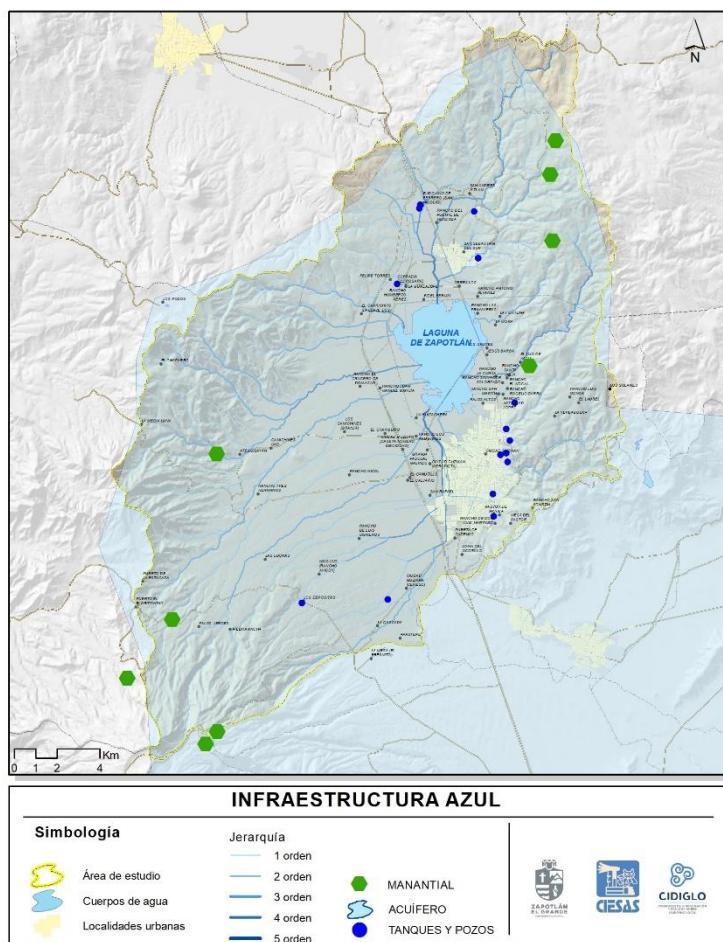
En el área de la cuenca del vaso lacustre se presentan cuatro tipos de vegetación natural principal: vegetación acuática, bosque espinoso, bosque subtropical caducifolio y bosque de pino-encino. Entre la vegetación acuática del lago predomina la comunidad vegetal de Tular. En cuanto a la fauna, se tiene a la fecha un inventario de 47 especies de aves acuáticas y 5 terrestres. Se presentan asimismo 40 especies de mamíferos, 6 de anfibios, 7 de peces y 13 de reptiles. El sitio representa una importante área productiva tanto pesquera como artesanal, agrícola y recreativa. Es importante destacar que es en la única parte del occidente del país donde se tiene un lago, un volcán de fuego y una montaña con nieve en determinadas épocas del año, lo que propicia condiciones de biodiversidad faunística y florística, así como atractivo paisajístico. (SEMARNAT, 2021)

La Laguna de Zapotlán forma parte del patrimonio cultural de la humanidad al igual que otros humedales que están ligados a creencias religiosas, cosmológicas, culturales, así como a áreas de descanso, ocio y observación de la belleza escénica; también es parte importante en los modos y formas de producción ancestrales locales como la pesca y artesanías del tule; es una fuente importante de agricultura con base en horticultura, ganadería, deportes acuáticos de remo, canotaje y kayak. Además, es un refugio de conservación para muchas especies de aves y otras especies de animales migratorios y en peligro de extinción, tal es el caso de grupos de murciélagos, aves y de la rana conocida como de "patas largas" (*Rana megapoda*) que es una especie endémica de gran importancia biológica, nutricional y socioeconómica en la región (Michel et. al. 2011).

El humedal desempeña funciones vitales como almacenamiento de agua dulce para proveer necesidades prioritarias, protección contra inundaciones, recarga y descarga de acuíferos, purificación del agua mediante la retención de nutrientes, sedimentos y contaminantes, la estabilización de las condiciones climáticas locales; el abastecimiento de agua dulce y productos pesqueros, transporte, posibilidades recreativas y de turismo, la periferia del humedal (zona somera), es hábitat de especies residentes y migratorias de aves, peces y ranas principalmente en la época de emparejamiento, reproducción y anidamiento (RAMSAR, Programa de conservación y manejo de la Laguna de Zapotlán.

En el siguiente mapa denominado Infraestructura azul (IN-A) se compilan los activos en materia de agua más representativos, que observan como elementos que valoriza el territorio respecto a los servicios ambientales que proveen para las actividades humanas.

Ilustración 5 Infraestructura Azul



Fuente: elaboración propia con base en el Conjunto de datos espaciales del Marco Geoestadístico del Censo de Población y Vivienda (2020) y Conjunto de datos vectoriales de información topográfica escala 1:50 000 serie III del INEGI, acuífero de Ciudad Guzmán (1406) de la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) y red hidrográfica escala 1:50 000 edición: 2.0, subcuenca hidrográfica RH12 de I. De Zapotlán /Cuenca I. Chapala /R.H. Lerma – Santiago

La IN-A identifica además el acuífero en su delimitación administrativa, y manantiales que se encuentran en áreas con políticas ecológicas preventivas. En cuanto a manantiales de acuerdo a CONAGUA (2020) existen tres: la Catarina (Cd. Guzmán), las Tubias (Gómez Farias) y del Nevado. Los manantiales existentes se localizan dos de ellos en la Sierra el Tigre, las Tubias y la Catarina; y el manantial del Nevado, en las faldas del Nevado de Colima.

Asimismo, respecto al agua como recurso de aprovechamiento, se observan los pozos y tanques que distribuidos en la áreas catalogadas como de agricultura, y concentrados en centro de población del municipio de Zapotlán El Grande.

La hidrología de la Cuenca consta de una gran multitud de arroyos y escurrimientos temporales o estacionales, no así perennes.

En el caso del municipio de Zapotlán se estima que los perennes son más del 50% de los mismos, entre los cuales se pueden mencionar como los más relevantes el de la Joya y el Leoncito que alimentan el acueducto de La Catarina. Además, se pueden señalar Los Guayabos, Chuluapan, El Chapulín, Salta de Cristo, Arroyo Hondo, Las Carboneras, Mendoza y otros de menor importancia (SAPAZA, 2019)

En la ilustración 6 se muestra una fotografía con el paisaje de parte de la cuenca, y una orientación similar a la mostrada en la ilustración 2.

Ilustración 6. Paisaje del Valle y Laguna de Zapotlán el Grande.



Fuente: Michelle Judd, en Escobar et al 2020.

Según CONAGUA (2020): “Los arroyos que alimentan la Laguna de Zapotlán llegan a ésta formando un modelo de drenaje de tipo radial centrípeta los cuales son de carácter intermitente y de tipo torrencial, conduciendo el agua solo durante el periodo de lluvias. En esta zona no se cuenta con ríos de tipo perenne, básicamente esta drenada por arroyos intermitentes y de manera secundaria por algunos otros de menor importancia”.

La misma fuente describe que los principales cursos de agua que alimentan la laguna de Zapotlán son:

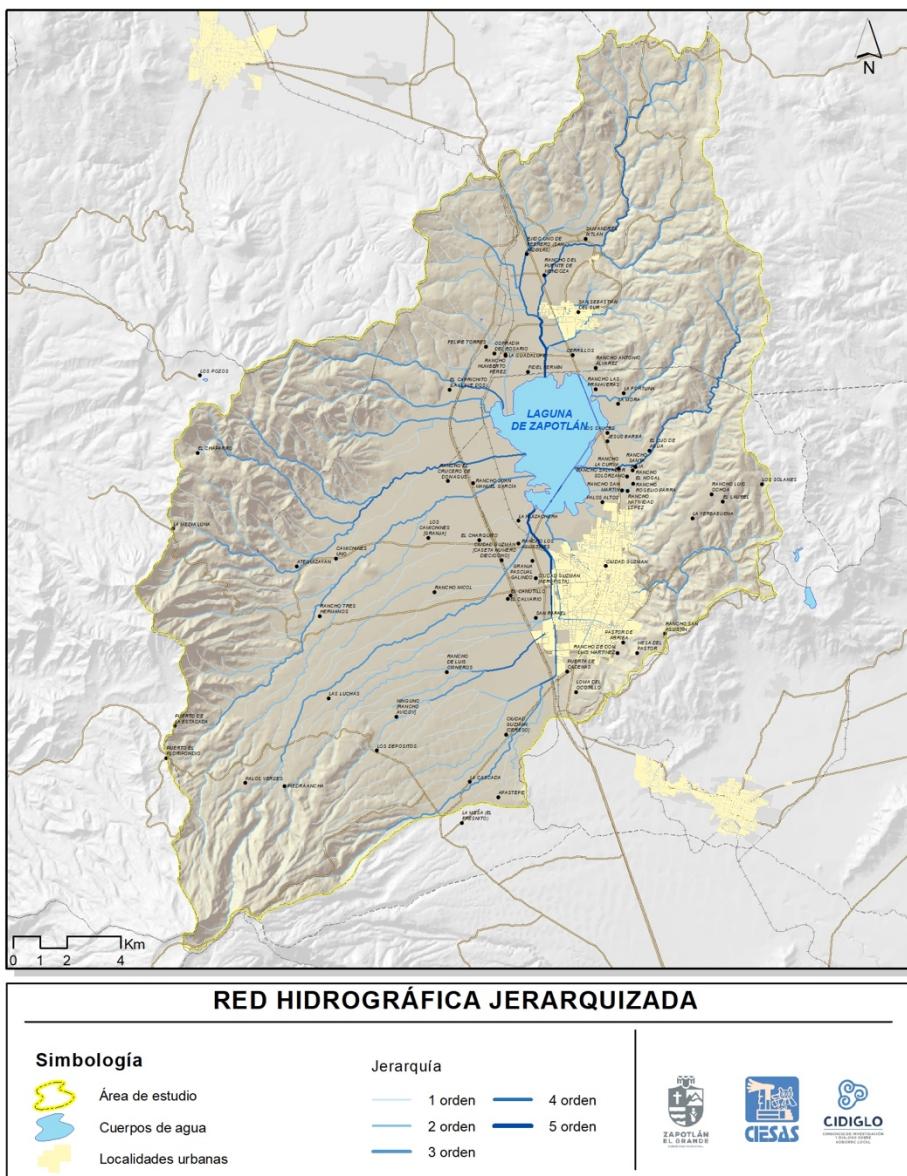
- el Arroyo La Chala, el cual nace en la sierra de los Manzanillos y que tienen una dirección hacia el S-SO¹ hasta llegar a la Laguna de Zapotlán por la parte occidental;
- el Arroyo Cuevitas es un tributario del Arroyo la Chala, proveniente de la sierra de los Manzanillos
- los Arroyos las Minas, la Catarina, Chuluapan y los Guayabos, los cuales provienen de la Sierra el Tigre y llegan a la Laguna con una dirección hacia el suroeste (destacándose que estos arroyos conservan cierto paralelismo entre ellos, durante su trayecto, un diseño característico de terrenos de elevada pendiente, energía del paisaje y friabilidad o erodabilidad de las rocas aflorantes);
- los Arroyos la Cuevitas y Agua Nueva, provenientes de la vertiente meridional de la Sierra de Usmajac (que también presentan cierto diseño de drenaje con paralelismo) y su dirección casi oeste-este.

Los arroyos la Llave, Delgado y las Carboneras drenan desde la Sierra de la Media Luna, presentan una estructura subdendrítica en la parte de la sierra, hacia la cuenca el drenaje es un poco paralelo, su dirección es hacia el noreste hasta llegar a la Laguna de Zapotlán; y finalmente los Arroyos la Tijera, el Agua, Piedra Ancha, Salto de Cristo y el Chapulín, nacen en la falda septentrional del Nevado de Colima, y al igual que los anteriores, también muestran cierto paralelismo en sus drenajes, con dirección hacia el noreste.

Además de los arroyos antes mencionados se encuentran otros de menor orden e importancia. La mayor cantidad de los escurrimientos hacia la laguna son originados en las Sierras de la Media Luna y de Manzanillos, mientras que el menor número de escurrimientos proviene de la Sierra de Usmajac (CONAGUA 2020)

¹ Descripto como S-SW en el original de CONAGUA

Ilustración 7. Red hidrográfica jerarquizada de la Cuenca Zapotlán.

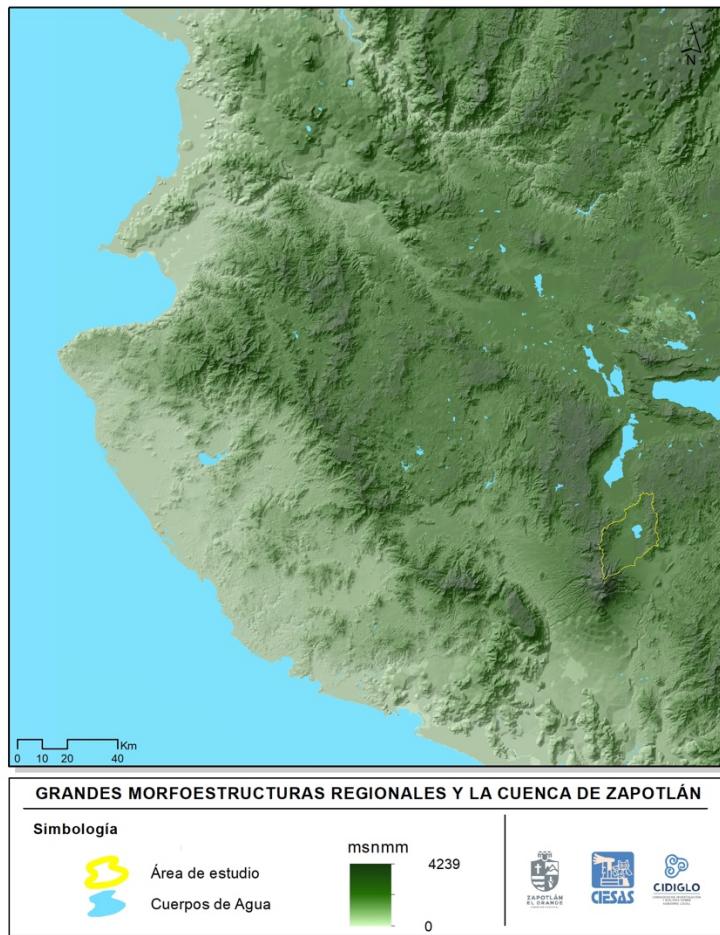


Fuente: elaboración propia con base en el Marco geoestadístico del Censo de Población y Vivienda (2020), Red Hidrográfica escala 1:50 000 edición: 2.0, subcuenca hidrográfica RH12DE laguna de Zapotlán /cuenca I. Chapala /RH Lerma – Santiago, Conjunto de datos vectoriales de información topográfica carta E13B15 (Sayula) y E13B25 (Ciudad Guzmán) escala 1:50 000 serie III del INEGI y Límites Municipales del Mapa General de Jalisco publicado en el Periódico Oficial El Estado de Jalisco, el 27 de marzo de 2012 y modificado por Decreto 26837/LXI/18 Mezquitic publicado en el Periódico Oficial El Estado de Jalisco, el 3 de junio de 2018 del IIEG.

2.1.2. Geomorfología

Desde un punto de vista geomorfológico de la acción del agua en el paisaje y del paisaje en el flujo subterráneo, las estructuras del relieve proporcionan el elemento básico sobre el que trabajan las fuerzas exógenas o morfoclimáticas que modelan las formas estructurales del relieve en la región, principalmente el agua. En la región domina un sistema de unidades de estructuras del relieve o de morfoestructuras, y se considera que éstas controlan entre otras cuestiones la evolución de la geomorfología fluvial de la cuenca cerrada de Zapotlán, por ejemplo.²

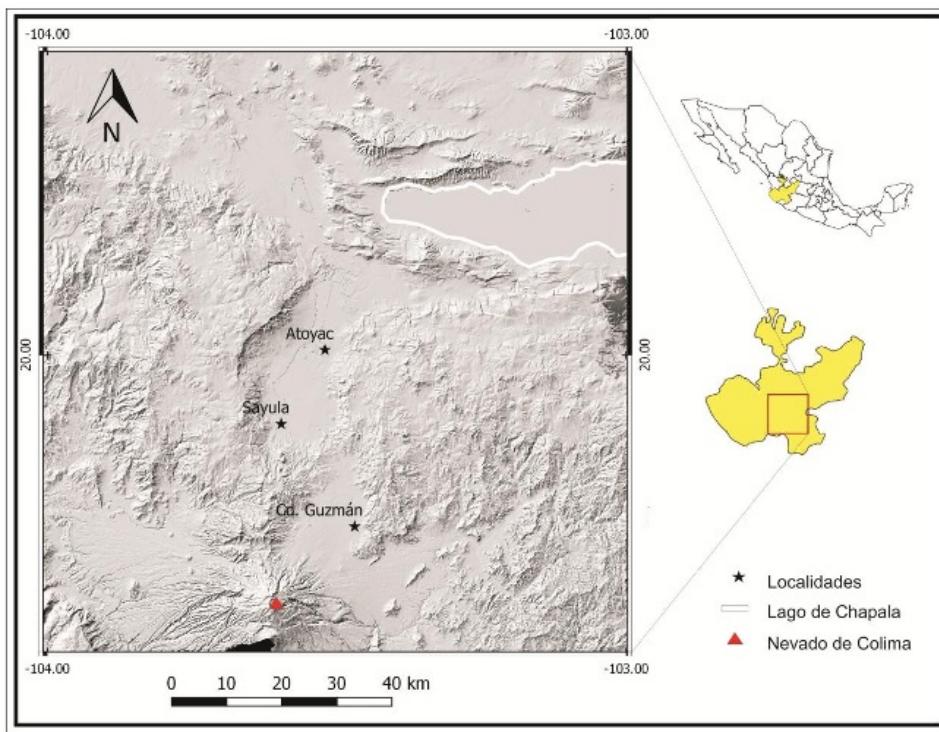
Ilustración 8. Grandes morfoestructuras regionales y la Cuenca de Zapotlán



Fuente: Elaboración propia

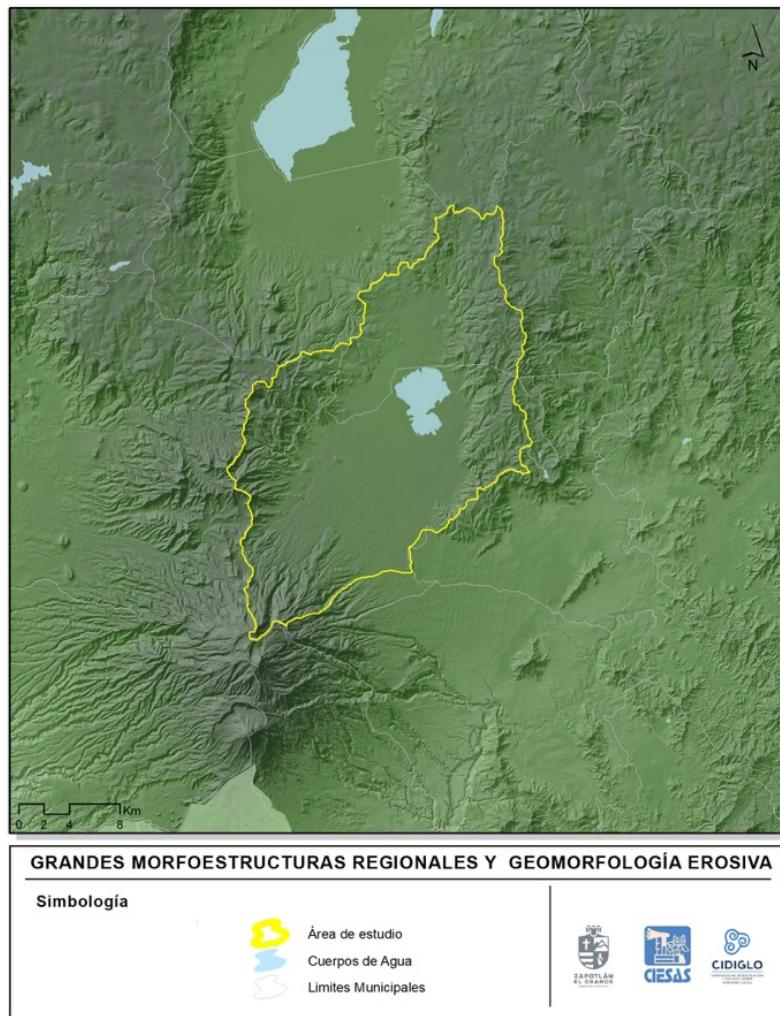
² la intención de entender la estructura del relieve difiere del concepto de estructura geológica o lineamientos estructurales en geofísica. Es común en geología reservar este término para algunos procesos físicos y geofísicos. Así, por ejemplo, los sistemas de diaclasas de las rocas son considerados como estructuras; los plegamientos de las areniscas plásticas y los micropliegues de los esquistos, las fallas y las fracturas son formas estructurales (Barrera, 1995).

Ilustración 9. Vista regional de las zonas de relleno sedimentario del bloque hundido del graben de Colima, en los que se observan los centros de población de Cd. Guzmán, Sayula y Atoyac.



Fuente: Rosas Palafox (2016)

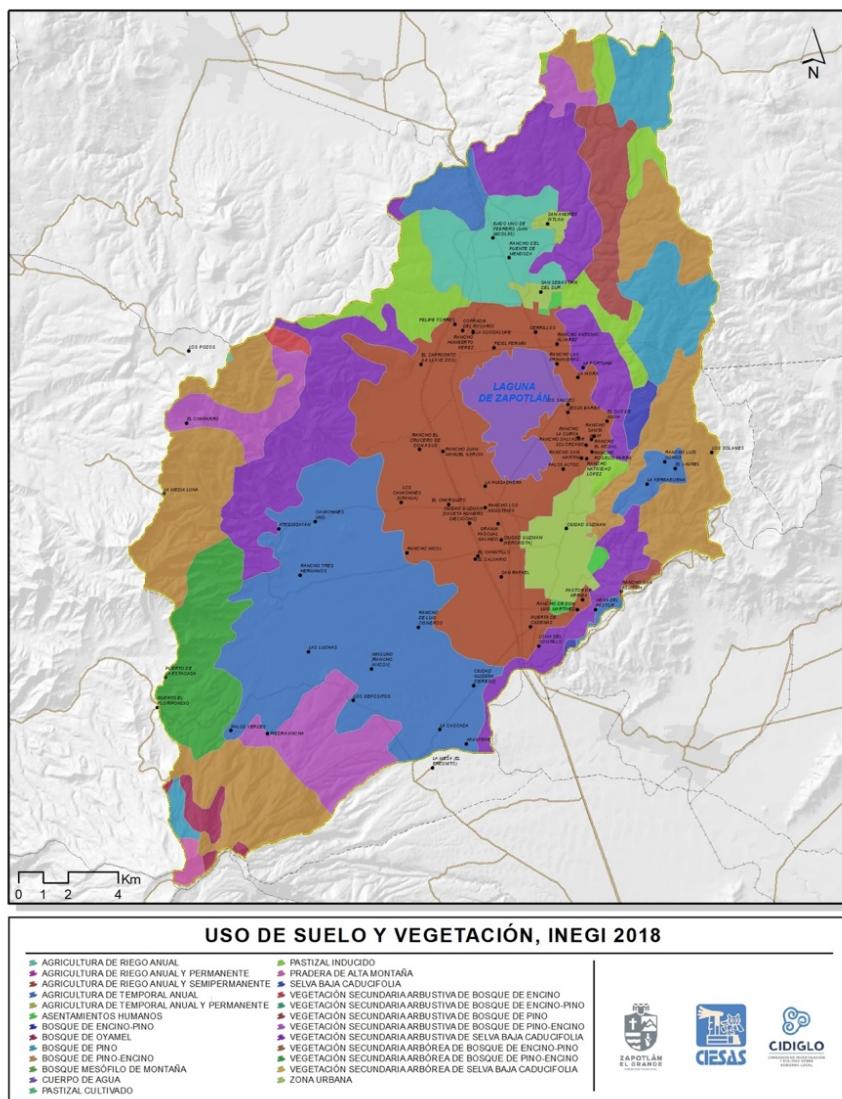
Ilustración 10. Grandes morfoestructuras regionales y rasgos de la geomorfología erosiva fluvial (al centro el Complejo Volcánico de Colima y la Cuenca de Zapotlán)



Fuente: Elaboración propia

El territorio correspondiente a la Cuenca tiene distintos usos de suelo y coberturas. En gradientes altitudinales más elevados predomina el bosque de pino, de pino-encino, e inclusive bosque mesófilo de montaña, con distribuciones principales en las sierras al norte, noreste y sur de la Cuenca, además de praderas de alta montaña. En áreas intermedias abunda vegetación secundaria arbustiva, tanto de bosque de pino-encino como de selva baja caducifolia. La zona baja se usa principalmente para la agricultura de riego con cultivos anuales y semipermanentes, así como la agricultura de temporal, también con cultivos anuales y permanentes. El área central baja se conforma por la laguna de Zapotlán, asentamientos humanos, y agricultura de riego anual y semipermanente.

Ilustración 11 Uso de suelo y vegetación en la Cuenca



Fuente: Elaboración propia, con datos de INEGI 2018.

Tabla 2 Coberturas, superficies y porcentajes respectivos del suelo en la Cuenca

TIPO DE COBERTURA	SUPERFICIE HA	%
BOSQUE	16,261.15	35%
SELVA	6,247.85	14%
PASTIZAL	2,050.97	4%
PRADERA	145.69	0.3%
VEGETACIÓN DENSA	13,408.28	29%
SUP. TOTAL CUENCA	46,015.39	100%

Fuente: elaboración propia con base en el Conjunto de datos vectoriales de uso del suelo y vegetación escala 1:250 000 serie V
Conjunto Nacional Colima del INEGI

En la Infraestructura Verde (IN-V) de la cuenca, que es representada respecto a la sumatoria de variables territoriales que representan un activo ambiental importante, el bosque representa el activo de mayor porcentaje respecto al total de la cuenca proporcionalmente en los tres municipios, y en donde se localiza gran densidad de vegetación; siguiéndole la selva ubicada mayormente en San Gabriel y Gómez Farías.

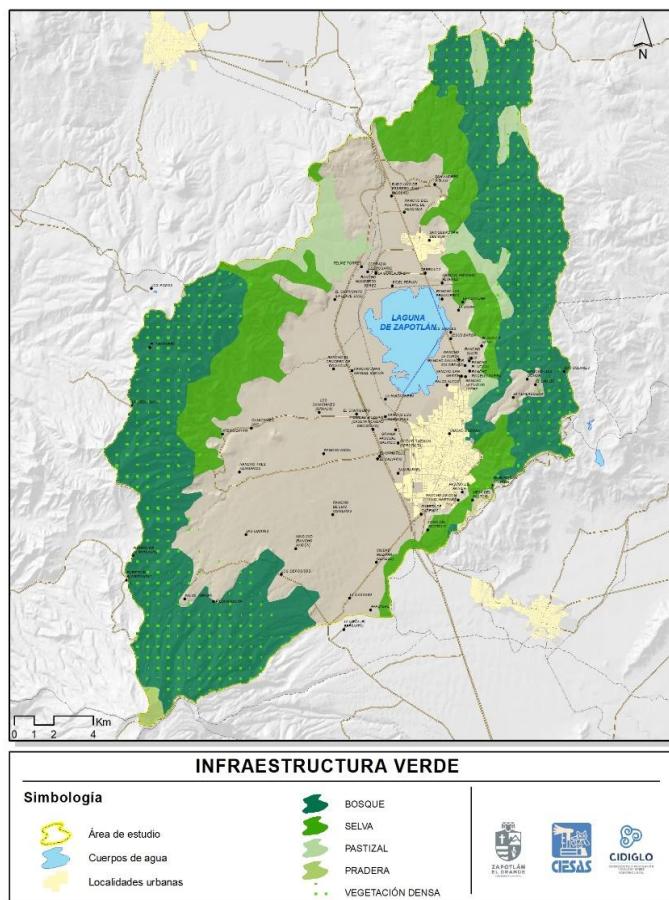
El pastizal y las praderas se ubican como manchones intermedios, en los que es necesario poner atención respecto a su inducción por especulación y cambio de vocacionamiento del suelo³.

La IN-V⁴ en la cuenca funge como un anillo periférico que en su conjunto representa un servicios ambiental destacable, toda vez que las áreas forestales son sumideros de carbono naturales; por lo que la conservación resulta sumamente importante respecto al valor natural y al potencial de aprovechamiento como figura de aprovechamiento para los municipios, susceptible de gestión de apoyos como activo ambiental, que en su momento debe considerarse como parte de las acciones de la agenda ambiental con perspectiva de cuenca, así como de los criterios estratégicos de los programas y planes que las integren.

³ Los cambios de uso de suelo de terrenos forestales son un problema severo para los municipios de la cuenca (aunque no les corresponde al municipio sino al gobierno federal) e inclusive un motivo de irregularidades. Hay bastante presión y presencia del sector aguacatero como una actividad invasiva.

⁴ Que en el presente Plan se establece con base en los atributos naturales que presenta el territorio, identificados a partir de su categoría como ecosistema o hábitat en las fuentes oficiales.

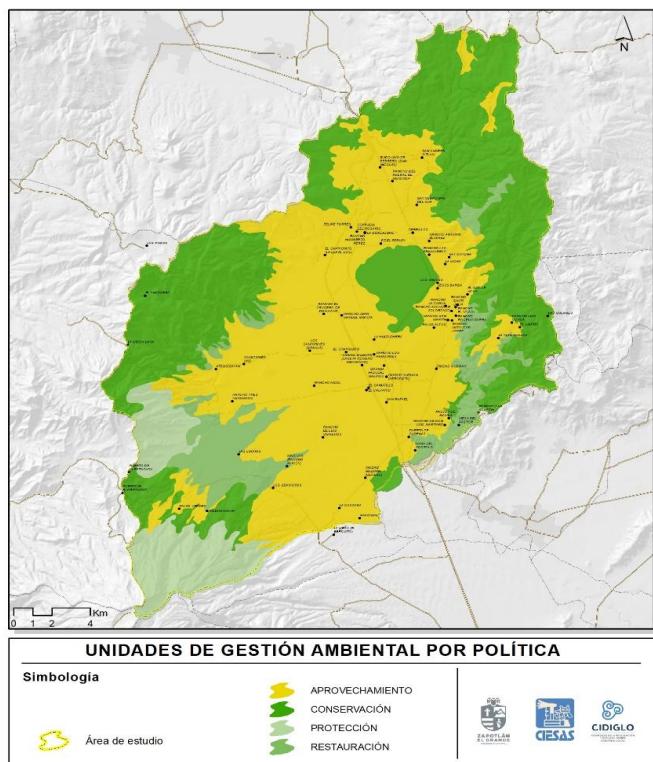
Ilustración 12 Infraestructura Verde



Fuente: elaboración propia con base en el Conjunto de datos vectoriales de uso del suelo y vegetación escala 1:250 000 serie V Conjunto Nacional Colima del INEGI

Asimismo, en la Ilustración 13 se observa la estrategia actual del Programa de Ordenamiento Ecológico de la Subcuenca de la Laguna de Zapotlán, cuyas políticas de conservación, protección y restauración empatan con el anillo de IN-V.

Ilustración 13 Unidades de gestión ambiental por política



Fuente: elaboración propia con base en el Programa de Ordenamiento Ecológico de la Subcuenca de la Laguna de Zapotlán.

Tabla 3 Tipos de política territorial, superficies y porcentajes en la Cuenca

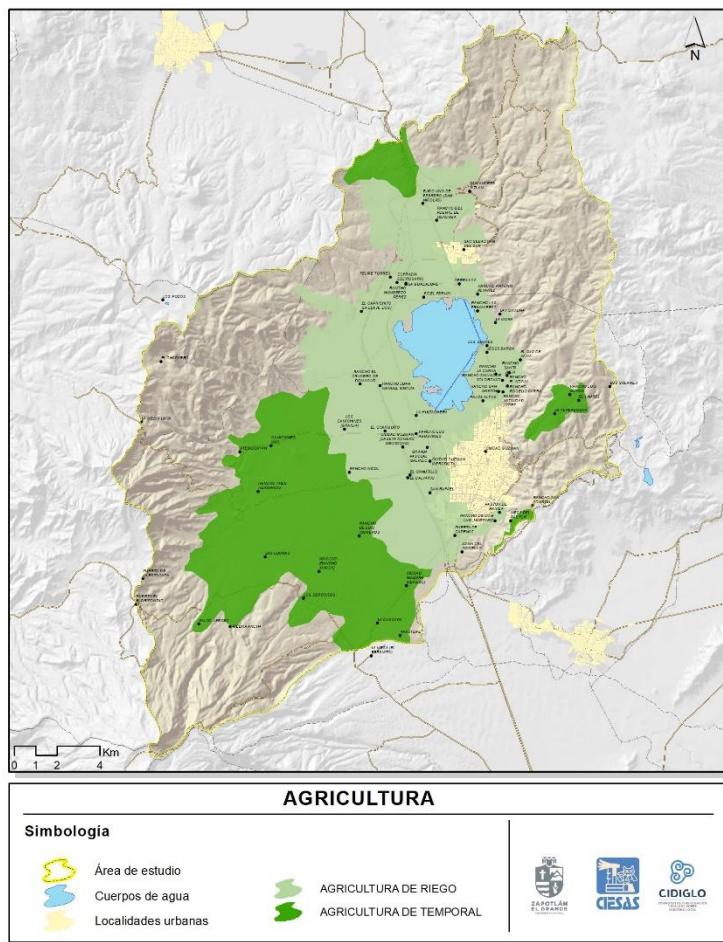
TIPO DE POLÍTICA	SUPERFICIE HA	%
APROVECHAMIENTO	20,872.69	45%
CONSERVACIÓN	17,691.14	38%
PROTECCIÓN	3,651.75	8%
RESTAURACIÓN	3,858.53	8%
SUP. TOTAL CUENCA	46,015.39	100%

Fuente: elaboración propia con base en el Programa de Ordenamiento Ecológico de la Subcuenca de la Laguna de Zapotlán.

Sin embargo, en la ilustración relacionada con la agricultura destaca al norte un área de agricultura temporal en un sitio catalogado como de conservación, mientras que al sur

hay empalme con áreas de protección y conservación⁵, no aptas por su impacto respecto a ser invasivas, pero también por los actuales daños al suelo por el uso de químicos, y con ello, una serie de problemáticas ambientales descritas.

Ilustración 14 Agricultura



Fuente: elaboración propia con base en el Marco Geo estadístico y principales resultados por localidad del Censo de Población y Vivienda (2020) del INEGI y al Programa de Ordenamiento Ecológico de la Subcuenca de la Laguna de Zapotlán.

2.1.3. Un sistema hidrogeológico único y sísmicamente sensible

El territorio de la cuenca tiene una historia tectónica y geológica muy particular; una historia y características que generan interés a nivel planetario por su unicidad, por la complejidad de la morfología del paisaje, el vulcanismo más activo de México y la

⁵ En donde se instalan pequeños poblados. Alrededor de las localidades rurales se observa la mayor promoción de agricultura, dadas las condicionantes de poca ocupación que promueve la utilización del suelo para agricultura de temporal. La cual actualmente no considera ciclos rotativos y con manejo de agroquímicos.
Ver más adelante mapa de clasificación de localidades.

necesidad de entender mejor los peligros geológicos e hidrosociales a los que está expuesta la población y las diversas infraestructuras.

Los procesos geológicos tectónicos determinaron e intervienen en la evolución del morfo-paisaje, los bloques y fracturamiento del graben, la topografía, la formación de la cuenca cerrada de la laguna de Zapotlán, las pendientes (y por ende, el drenaje fluvial, los procesos de erosión, la cobertura vegetal; entre otros), la hidrología superficial, el hidrotermalismo, el paquete sedimentario del relleno y sistema de flujo del agua subterránea, la hidrogeología regional y local, la actividad sísmica y volcánica en la cuenca de estudio. Nada menos.

La cuenca de la laguna de Zapotlán se inserta al sur del sector occidental del Cinturón Volcánico Transmexicano (CVT) o Franja Volcánica Transmexicana (FVT), inmediatamente al sur del punto triple unión de grandes fallas y estructuras de bloques hundidos (grábenes) en las que se estaría “separando” el denominado Bloque de Jalisco. El Bloque de Jalisco, el graben de Colima,⁶ el Complejo Volcánico de Colima⁷ y la cuenca cerrada de Zapotlán, son resultado de fuerzas, dinámicas de placas y una compleja interacción tectónica que le confieren a la región rasgos ambientales muy especiales, únicas a escala mundial y riesgosas. Es importante entender y diagnosticar estas características del territorio, para tomar mejores decisiones con base en evidencia.

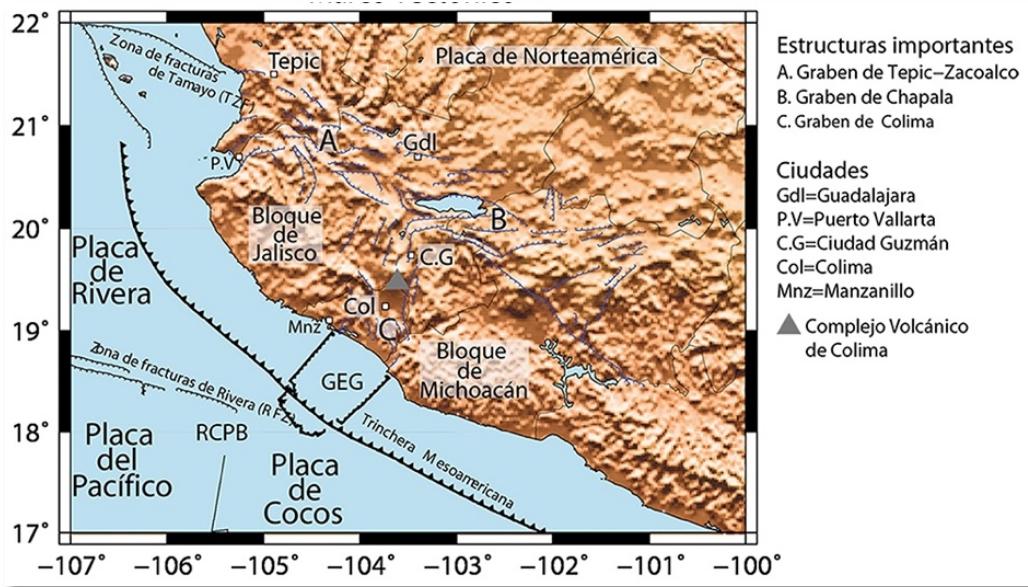
El Bloque Jalisco se describe limitado al norte y al este por la triple unión continental de tres zonas tensionales de *rift*⁸ caracterizadas por fallas normales y bloques con rotación: la zona de *rift* Tepic-Zacoalco, el graben de Colima (con su porción norte conocida como graben de Sayula) y el graben de Chapala. El Bloque limita al oeste y al sur por la trinchera Mesoamericana.

⁶ El término de origen alemán Graben describe a una morfoestructura o morfopaisaje, mapeada como conjunto de fallas normales paralelas con inclinación opuesta, en un ambiente tectónico expansivo (de “separación” lateral entre bloques, formando una depresión por una gran bloque hundido central, o fosa tectónica. El sector central se mueve descendentalmente respecto a los flancos. En el interior de una fosa tectónica afloran generalmente rocas más jóvenes, de relleno posterior a la tectónica expansiva. En general el relleno es de sedimentos transportados por ríos o cenizas y otros piroclastos, volcánicos. El tamaño de un graben puede ser cientos de metros (locales), decenas o más de 200 km, como ser el graben que dio origen al Lago de Chapala y el graben de Colima y el de Sayula que flanquean al Bloque Jalisco en la zona de estudio.

⁷ En la literatura especializada se incorpora al Volcán de Fuego, al Nevado de Colima y otros aparatos volcánicos menores asociados como parte del complejo volcánico interconectado, resultante de procesos geológicos y tectónicos comunes

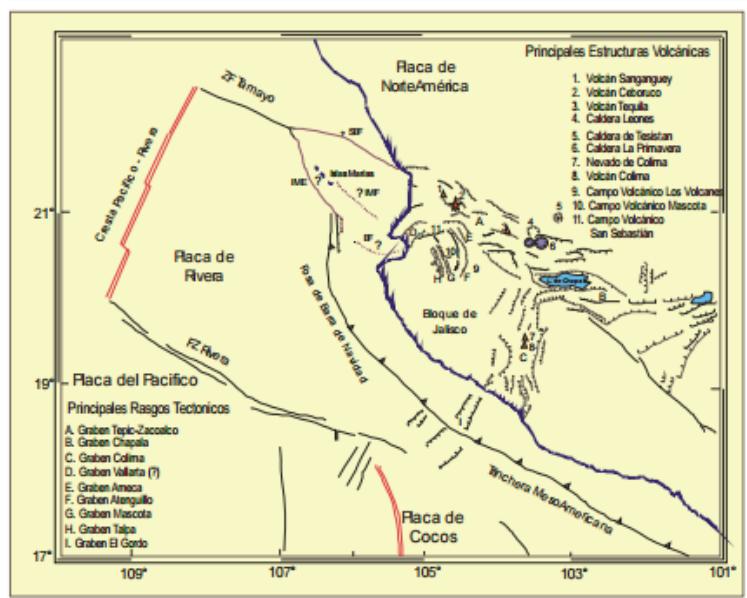
⁸ Las zonas de *rifts* se observan en el paisaje como fosas tectónicas alargadas donde la corteza terrestre está sufriendo divergencia y distensiones, producto del movimiento relativo de placas tectónicas. Si el *rift* está activo, la tectónica puede producir sismos y vulcanismo recurrente. Los *rifts* pueden tener dimensiones de centenares a miles de kilómetros de longitud. (Strahler, 1987). En las zonas de *rift* se pueden generar morfopaisajes y estructuras de graben.

Ilustración 15. Placas y grandes estructuras regionales relacionadas con el Bloque Jalisco (CG es Ciudad Guzmán en la figura)



Fuente: Universidad de Colima y Centro de Sismología y Vulcanología de Occidente (2011)

Ilustración 16, Marco tectónico y principales estructuras volcánicas en el occidente de México. Estructuras con gran influencia en la evolución del paisaje e hidrogeología regional para el territorio en estudio (ver Lago de Chapala, Graben de Colima (C), Nevado de Colima (7) y Volcán Colima (8) como referencias en la figura



Fuente: Universidad de Colima y Centro de Sismología y Vulcanología de Occidente (2011)

En el área del Bloque Jalisco, la tectónica extensional se encontraría sobreimpuesta a la tectónica compresional causada por la subducción de la Placa Rivera bajo la Placa Norteamericana: el bloque de Jalisco se localiza al oeste de la zona de interacción de las placas Rivera, Cocos y Norteamericana.

La Placa Rivera es convergente en aproximadamente 2.4 cm/año mientras que en la región del bloque de Jalisco, la parte NW de la placa de Cocos es convergente a una tasa de aproximadamente 4.8 cm/año (Pardo y Suárez, 1995).

En estos sectores del continente que tienden a separarse entre si, se forman grandes fosas tectónicas longitudinales (morfoestructuras tectónicas que se conocen también como *graben*), con fallas normales extensas y profundas, activas, que se observan en el paisaje con laderas de alto relieve relativo y pendiente, y que representan los límites del la microplaca que tienden a “separarse” del resto del territorio (Ferrari, Orozco-Esquivel, Manea, & Manea, 2012).

De acuerdo a interpretaciones paleomagnéticas y estructurales (Urrutia & Rosas, 1994), el desarrollo de este Bloque de Jalisco, como bloque tectónico independiente, acompaña con la evolución estructural del graben de Colima (Alatorre-Zamora et al., 2015), sistema estructural regional complejo y único en el planeta.

Este sistema estructural es fundamental en la evolución socioambiental y los riesgos que enfrenta la región, tanto a escala del paisaje como de los procesos urbanos del agua y los riesgos geológicos (sismos, subsidencia, remoción en masa, etc.) a los que está expuesta la infraestructura construida.

Por su parte, el complejo del Nevado y el volcán de Fuego o de Colima representan un sistema volcánico reciente y activo. De acuerdo a los investigadores que han publicado sobre la historia geológica y de las erupciones del volcán de Fuego de Colima es el volcán compuesto andesítico más activo de México (Luhr & Carmichael, 1980).

Sabiendo que la geotectónica regional y el proceso de subducción de la Placa Rivera bajo la Placa Norteamericana controlan la actividad volcánica, varios investigadores internacionales destacan que el Complejo Volcánico de Colima (CVC) se encuentra sólo a 150 km al norte de la Fosa de América Central en el extremo occidental del Cinturón Volcánico Mexicano⁹, más cerca de la fosa que cualquier otro volcán compuesto en México. Como lo resumen Komorowski, J.C; Navarro, C., et. al; (1997) en su publicación *The Colima Volcanic Complex*, traducida y divulgada por la Universidad de Colima (Centro Universitario de Estudios Vulcanológicos de la Universidad de Colima, 2017):

“El Complejo Volcánico de Colima (CVC) consiste en una cadena, orientada de norte a sur, de tres principales centros volcánicos, el más antiguo y erosionado **Volcán Cántaro** (2,900 m) al norte, el ahora extinto y gran volcán compuesto **Nevado de Colima** (4,240

⁹ El vulcanismo en el Cinturón Volcánico Mexicano está caracterizado por una variedad de edificios volcánicos (estratovolcanes, conos de lava, conos de escoria, maars, calderas y domos), estilos de actividad y composición de sus productos, los cuales son mayormente de carácter calco-alcalino; y que han disparado sucesivos depósitos de brechas, piroclastos y laharas en sus regiones de influencia (Cortés, Komorowski, Macías, Capra, & Layer, 2019).

m) al sur del Cántaro, y el activo estratovolcán **Volcán de Colima** (3,860 m) al sur y cercano (~170 km) a la zona de subducción en la Trinchera Mesoamericana. El Nevado de Colima y el Volcán de Colima forman una cadena de norte a sur de volcanes en pareja con el más reciente vulcanismo concentrado hacia el sur como el Iztaccíhuatl y Popocatépetl en la parte central del Cinturón Volcánico Transmexicano (CVT) y el Cofre de Perote y el activo Pico de Orizaba (Citlaltépetl) en el oriente del CVT. Otros pares de estratovolcanes andesíticos con el más activo localizado cerca a la trinchera han sido descritos en Guatemala por (Newhall et al, 1987), en Chile (Francis et al., 1972) y Japón (Nakamura, 1978)."¹⁰

El registro de “ciclos” de actividad intensiva del volcán de Colima que puedan generar cambios o eventos peligrosos para los habitantes en la cuenca. El CVC es el más activo de México, ha experimentado más de 30 períodos eruptivos en los últimos 500 años.

Ante la complejidad de factores que pueden influir en la actividad del sistema volcánico y los riesgos para la población en su zona de influencia, se han avanzado diversos estudios geofísicos, sismológicos, vulcanológicos, geomorfológicos -entre otras disciplinas concurrentes- que tratan de mejorar el conocimiento y comunicar los riesgos relacionados con el tectonismo regional, la actividad del rift de Colima, de los sistemas de grandes fallas profundas y concurrentes, y del CVC.

En los últimos veinte años se ha avanzado en un complejo sistema de monitoreo y análisis remoto,¹¹ que genera datos y alimenta modelos estructurales, geológicos, geofísicos, geodésicos y petrológicos. Prácticamente todos los años se publican nuevos resultados de las geociencias sobre el estado del arte en el conocimiento estructural y geológico del CVC y sobre la dinámicas y riesgos geológicos en la zona de influencia del Plan Maestro (Bandy, Mortera-Gutiérrez, Urrutia-Fucugauchi, & Hilde, 1995; Lopez-Loera, Urrutia-Fucugauchi, & Alva-Valdivia, 2010; Massaro et al., 2020; Gianluca Norini, Agliardi, Crosta, Groppelli, & Zuluaga, 2019; Pacheco et al., 2003; Serpa et al., 1992; Spica, Perton, & Legrand, 2017; Urrutia-Fucugauchi, Flores-Ruiz, Bandy, & Mortera-Gutiérrez, 1999; Zobin, González-Amezcua, & Reyes-Dávila, 2002).

Sin embargo, de acuerdo con diversos autores, la determinación y mitigación de la vulnerabilidad al vulcanismo habría quedado en un segundo plano (Cruz Solís, Padlog Schmoisman, Hernández-Calvento, Márquez Azúa, & Suárez Plascencia, 2003): “toda vez que en la actualidad, y desde la década de los ochenta del pasado siglo, se ha puesto un mayor énfasis por parte de los científicos y administraciones en el conocimiento de los parámetros físicos que controlan el vulcanismo”. Algunos trabajos se han orientado a los procesos de remoción en masa, dinámica del paisaje y erosión inducida en el CVC, que

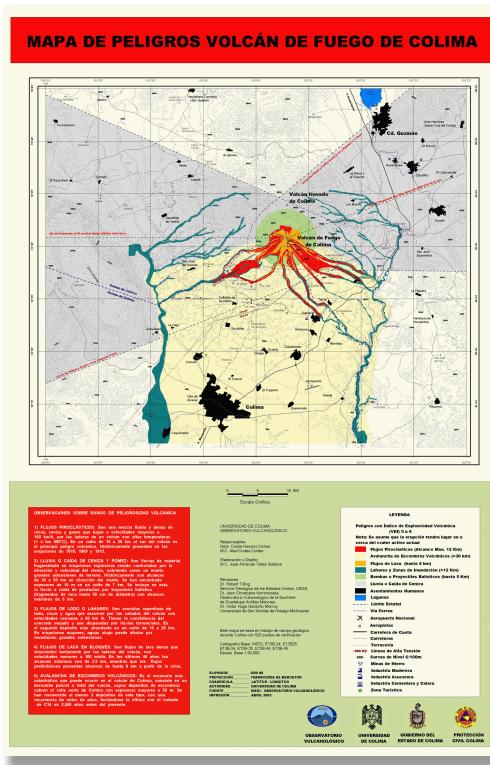
¹⁰ La migración del vulcanismo a lo largo de estas tres cadenas en el CVT ha servido para mantener un bien definido frente volcánico migratorio al sur a través del cuaternario. (Gill 1981) y otros notan que los frentes volcánicos relacionados con arcos de subducción típicamente yacen a aproximadamente 100 km arriba de la zona de Benioff a pesar del ángulo de subducción, implicando que la generación del magma es disparada por una reacción dependiente de la presión a esa profundidad. Por consiguiente, la migración en dirección a la trinchera del vulcanismo en el CVT puede reflejar un ángulo inclinado en la subducción de las placas Rivera o Cocos, sin embargo, no existen evidencias geofísicas que apoyen esta noción.

¹¹ como los que sostienen la Universidad de Colima y diversos institutos internacionales de investigación en geociencias.

dan pistas sobre enfoque de la mitigación del riesgo ambiental a partir de análisis de peligro y vulnerabilidad (Cortés, Komorowski, Macías, Capra, & Layer, 2019; Massaro et al., 2020).

La Universidad de Colima ha elaborado material comunicacional sobre peligros del CVC y respuestas de emergencia, del cual se incluye aquí un gráfico con carácter meramente ilustrativo. De acuerdo con la información que brinda la página del Centro Universitario de Estudios Vulcanológicos de la Universidad de Colima el mapa de peligros del CVC “fue elaborado como un medio informativo ante la eventualidad de una erupción del volcán de Colima, para ser consultado tanto por público en general, como por autoridades civiles, militares y académicos. El mapa muestra en colores la distribución y alcance máximo de las diferentes amenazas volcánicas. Por ejemplo, en rojo se muestra la canalización por las barrancas de los productos más peligrosos, los flujos piroclásticos. Igualmente canalizados se muestran tanto los flujos de lodo o lahares (verde) como los flujos de lava en bloque (naranja).

Ilustración 17. Mapa de peligros Volcán de fuego de Colima



Fuente: Centro Universitario de Estudios Vulcanológicos de la Universidad de Colima
https://portal.ucol.mx/cueiv/Mapa_de_peligro.htm. (Accesado: 1st February 2021)

Asimismo, dentro de la parábola E-NE se encuentra gran parte de la cuenca Zapotlán (ver territorios al NE del Mapa de Peligros), incluyendo la zona urbana de Ciudad Guzmán. El mapa de peligros del CVC indica que gran parte de la cuenca Zapotlán se

encuentra en zona de riesgo de caída de piedra pómex, cenizas y otros piroclastos de hasta 2 cm de diámetro, con acumulación estimada de hasta 10 cm de ceniza; en eventos de erupción importante entre noviembre y mayo, cuando domina un eje de dispersión aérea hacia el este-noreste del cráter, con velocidades del viento de 16 hasta 33 m/seg. (Centro Universitario de Estudios Vulcanológicos de la Universidad de Colima, 2004).

Los trabajos de Norini et al. (2010) permitieron la identificación de tres sistemas de fallas principales y la definición de las propiedades geométricas generales del sistema de flujo de magma hacia el volcán, resaltan la importancia y las evidencias del rol de las fallas del Rift de Colima, la falla de Tamazula y las estructuras de expansión del volcán, así como sus interacciones con el CVC. Los autores consideran que el avance en estas investigaciones son críticas, ya que las erupciones y la reactivación de la actividad de las grandes fallas en la región generan peligros potenciales y riesgos elevados para más de 500.000 personas (G. Norini et al., 2010), incluyendo a la población de la Cuenca Zapotlán.

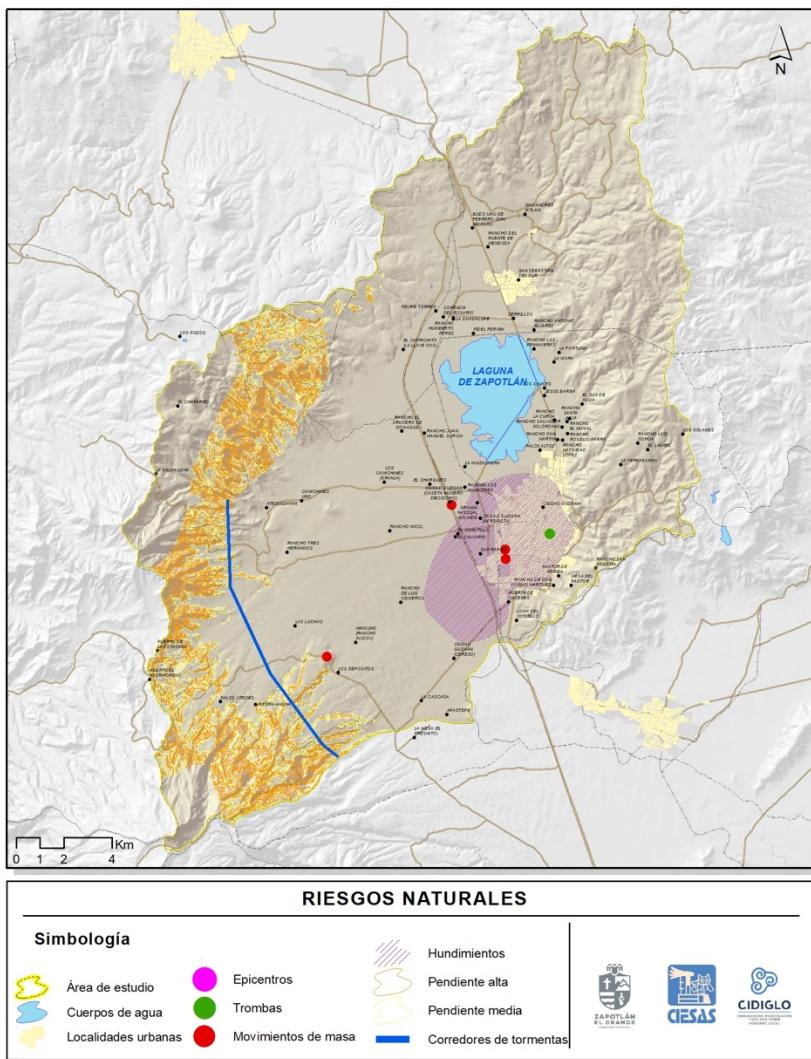
El graben Tepic-Zacoalco y el de Colima se unen con el graben de Chapala, en el límite NE del Bloque Jalisco, dando lugar a lo que es esencialmente un punto triple continental (UNOPS, 2017), de alta peligrosidad sísmica respecto a la aceleración de la gravedad que puede registrarse en centros de población cercano a los fallamientos regionales (Ferrari, 2000).

La compleja tectónica extensional y compresional de los límites norte y oriental del bloque de Jalisco ha sido responsable por algunos de los mayores sismos registrados en la región de la trinchera Mesoamericana: al menos 6 terremotos con $Mw>7.0$ han ocurrido desde 1837, incluido el gran terremoto de Jalisco en 1932 de $Mw=8.2$ (el mayor sismo registrado históricamente en México), y los terremotos $Mw=8.0$ registrados en 1995 en Colima y Jalisco (Novelo-Casanova, 2005).

Los siguientes grandes terremotos relacionados a la subducción de la Placa de Cocos han ocurrido en el área del Bloque de Jalisco:

- El de Colima de 1973 ($Mw=7.5$) el cual causó grandes daños en la ciudad costera de Tecomán, Col.
- El de Manzanillo de Octubre 9 de 1995 que causó grandes daños estructurales por efecto de licuefacción además de pérdidas de vidas ($Mw= 7.9$, y al menos 48 muertes, Ramírez et al., 1995)
- El de Tecomán ocurrido el 21 de enero del 2003 que causó 30 personas fallecidas, más de 400 personas con lesiones graves y cerca de 10,000 viviendas resultaron afectadas ($Mw 7.6$ (SSN-UNAM) a 60 km al sur-sur-oeste de Colima, Colima, México.) (Servicio Sismológico Nacional, 2003).
- La deformación en la corteza en el Bloque Jalisco ha generado también sismicidad histórica; por ejemplo, el sismo de 1568 $Mw= 7$ (Suárez et al., 1994).

Ilustración 18 Riesgos naturales en la cuenca Zapotlán



Fuente: Elaboración propia

La cuenca cerrada de Zapotlán forma parte del graben y de la zona de rift de Colima. Consiste de un bloque hundido bien definido flanqueada por fallas normales escarpadas con orientación N-S predominantemente (Allan, 1986) y otros sistemas de fallas E-O que parecen estar asociadas a la geometría de la gran falla regional conocida como Tamazula. (Gianluca Norini et al., 2019)

Las depresiones tectónicas y humedales al norte de Zapotlán se han conocido “Depresión Sayula” (Díaz and Mooser, 1972), o el “Graben Sayula” (Herrera, 1967). Se han realizado estudios geológicos para intentar explicar la evolución de estos bloques y

del paisaje regional. Un estudio gravimétrico en el norte del Graben de Colima estima que el del relleno sedimentario alcanza cerca de los 900 metros (Allan et al., 1991; Rosas Palafox, 2016).

La estratigrafía del relleno sedimentario de estos bloques hundidos del graben tiene importancia en el control del flujo del agua subterránea, su calidad, la transmisividad de las unidades acuíferas, el peligro de hundimientos diferenciales por sobre bombeo, la restauración de humedales (De La Hera, Gurrieri, Puri, Custodio, & Manzano, 2016) y, en definitiva, en la gestión del futuro del agua subterránea, fuente de abastecimiento del 95% de la demanda en la Cuenca y reserva estratégica para el derecho al agua y la adaptación al cambio climático. (Green, Taniguchi, & Kooi, 2007; Sophocleous, 2004).

Es importante destacar que en el territorio de estudio, esta actividad tectónica regula el nivel de base de erosión (o cota mínima de descarga de ríos y arroyos), la formación de humedales (como la laguna de Zapotlán), el aporte de sedimentos y la reactivación de la erosión regresiva del paisaje en el territorio de la microcuenca de la cuenca cerrada (red de escorrentía superficial que desemboca en la parte más baja: el cuerpo lénico de la Laguna).

El diseño de la red de drenaje y los perfiles de los cauces de la cuenca Zapotlán están muy controlados por la morfoestructura, el emplazamiento del CVC, fallas normales, bloques hundidos y zonas de relleno sedimentario de la “cubeta” tectónica.

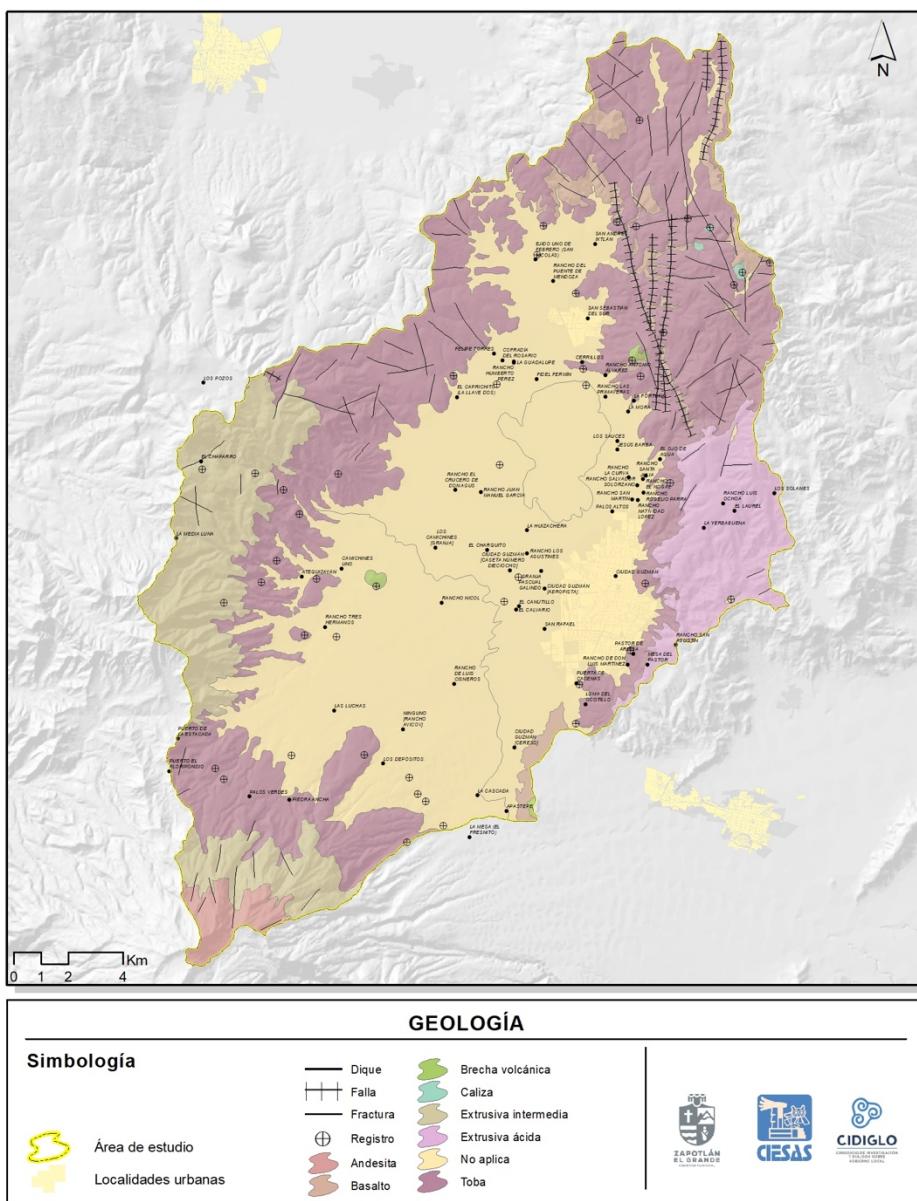
2.1.4. Unidades litológicas

Como se describió con anterioridad, en el territorio domina un paisaje regional de fosas tectónicas e interfluvios, cuyas estructuras geológicas regionales regularon conductos volcánicos con emisión de derrames de lava, nubes incandescentes y ceniza, alternado con períodos de calma volcánica en los que el intemperismo del agua y la vegetación - sobre las rocas volcánicas consolidadas y los piroclastos- favoreció el desarrollo de suelos residuales (Ruiz López & Bollo Manent, 2018).

Con base en el análisis de los afloramientos de rocas, de sus relaciones estratigráficas, estructurales y correlaciones con áreas vecinas, se han interpretado desde los años 70s la evolución de los eventos geológicos ocurridos en la región de estudio con apoyo de dataciones y estudios vulcanológicos.

De acuerdo con la publicación del CUEV, en las zonas elevadas que rodean al CVC se describen de rocas jurásicas y calizas cretácicas plegadas y localmente falladas. Además en el registro geológico hay presencia de otras rocas sedimentarias marinas (clásticas y de facies evaporíticas), basaltos de arco Cretácicos, e intrusivos granodioríticos a graníticos de edad cretácica a cuaternaria (Centro Universitario de Estudios Vulcanológicos de la Universidad de Colima, 2017)

Ilustración 19 Geología de la cuenca Zapotlán



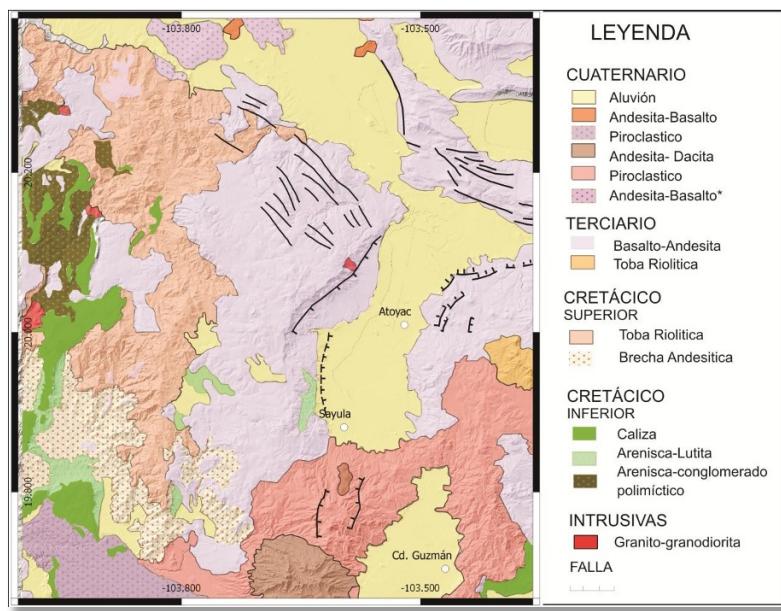
Fuente: Elaboración propia

De acuerdo al resumen de Rosas Palafox (2016): “Las rocas más antiguas del área corresponden a secuencias sedimentarias y vulcano-sedimentarias del Terreno Guerrero, constituidas por areniscas rojas y conglomerados de tobas y calizas. Sobre esta unidad se encuentra una secuencia vulcano-sedimentaria (Formación Tepalcatepec) que consta de conglomerados y areniscas con intercalaciones eventuales de ignimbritas andesíticas y riolíticas. Las unidades anteriores están parcialmente intrusionadas por el

Batolito Puerto Vallarta y pequeños intrusivos del Eoceno (Servicio Geológico Mexicano, 2000)." A finales del Terciario Tardío (Plioceno) y hasta el Cuaternario, se registra la formación de rocas de composición basáltico-andesítica, derivadas de derrames lávicos, tobas, brechas volcánicas, así como de la edificación de volcanes monogenéticos escoriáceos, estratovolcanes y conos cineríticos (Barrera & Zaragoza, 2000).

Las rocas volcánicas son mayormente lavas, pero también incluyen tobas de caída y ocasionalmente arenas volcánicas no consolidadas (Servicio Geológico Mexicano, 2000). Las formas volcánicas incluyen estratovolcanes (Cántaro, Nevado de Colima y Volcán de Colima), domos, conos de lava y conos de ceniza. La mayoría de las estructuras volcánicas están compuestas de rocas andesíticas (Rosas Palafox, 2016). Las lavas abarcan un amplio rango composicional y mineralógico que van de calco-alcalinas a alcalinas (Servicio Geológico Mexicano, 2000).

Ilustración 20. Afloramientos geológicos, incluyendo la zona del graben de Colima, al norte de Zapotlán.



Fuente: Rosas Palafox (2016), basado en SGM (2000).

Estas rocas volcánicas afloran ampliamente en la zona de estudio y forman parte de la actividad del Eje Neovolcánico dominada por las estructuras geológicas previas. Entre las rocas ígneas extrusivas de la secuencia de volcanismo calcoalcalino del Terciario Plioceno-Cuaternario se describen afloramientos de basalto, andesita-basalto, andesita-dacita, toba y brecha de composiciones básica e intermedia (Barrera & Zaragoza, 2000).

Las rocas volcánicas son mayormente lavas, pero también incluyen tobas de caída y ocasionalmente arenas volcánicas no consolidadas. Las formas volcánicas incluyen estratovolcanes (Cántaro, Nevado de Colima y Volcán de Colima), domos, conos de lava y conos de ceniza (Rosas Palafox, 2016).

La región de estudio se caracteriza por tener presencia de rocas sedimentarias intercaladas en el perfil geológico, rocas que presentan permeabilidad secundaria y primaria, como brechas volcánicas, conglomerados, grauvacas, argilitas y lutitas. Los clastos de las brechas y conglomerados son predominantemente andesíticos y aparecen en una matriz de fragmentos volcánicos (Rosas Palafox, 2016).

La cuenca del graben de Colima fue rellenada con varios cientos de metros de gravas y sedimentos coluviales de edad plio-pleistoceno y volcánicos, incluyendo depósitos primarios de avalancha de escombros volcánicos de edad pleistoceno y holoceno del Complejo Volcánico de Colima. (Centro Universitario de Estudios Vulcanológicos de la Universidad de Colima, 2017)

Las principales unidades que alojan flujos locales de agua subterránea en cantidad relevante, o acuíferos, se alojan en rocas volcánicas y sedimentarias fracturadas y falladas, en depósitos de sedimentos aluviales, lacustres y volcanoclásticos del Terciario y Cuaternario, los cuales constituyen el relleno de valles fluviales y de las depresiones tectónicas.

En el Cuaternario y hasta la actualidad es intensa la erosión y el depósito de material sedimentario en las zonas bajas, derivado principalmente de la erosión de los edificios volcánicos, de los bloques elevados del graben; así como el depósito de los sedimentos conformando geoformas aluviales, coluviales y lacustres. Fue la erosión fluvial de los afloramientos rocosos y el transporte de sedimentos por el agua, que mantuvo la evolución de geoformas erosivas, barrancas profundas y la acumulación de estratos aluviales y lacustres deposicionales que hoy se describen en los piedemontes y en las zonas más bajas del paisaje (Barrera & Zaragoza, 2000).

Por la vulnerabilidad relativa a la remoción en masa, a la erosión y formación de cárcavas en los depósitos volcánicos no diagenizados (cementados, consolidados), de elevada friabilidad, se requieren grandes esfuerzos de control de la deforestación, del cambio de uso del suelo, de la erosión fluvial y del transporte de sedimentos en los sectores de la cuenca de mayor pendiente que está expuesta a precipitaciones intensas en las temporadas de lluvia (INEGI, 2000)

2.1.5. Las grandes estructuras del relieve regional

Como se describe con anterioridad, tanto las morfoestructuras de graben y como los aparatos de estrato-volcanes han sido parcialmente erosionados y disectados por la remoción remontante del agua, un proceso intensificado por la elevada energía del relieve e intensidad de las precipitaciones durante el Holoceno. La parte media-alta de la cuenca cerrada Zapotlán presenta rasgos de relleno y rejuvenecimiento de paisaje, relacionados con tectónica reciente, la actividad del CVC y movimiento de bloque fallados asociados al graben de Colima.

Afloramientos de lavas y piroclastos fueron y son erosionados en el cuaternario generándose paisaje de pendientes escarpadas, gargantas (valles en "v" con laderas empinadas), depósitos aluviales en sus fondos, y pequeños abanicos aluviales en la

desembocadura en el la parte más baja de la cuenca, por ejemplo, indicativos de una etapa de juventud del paisaje (INEGI, 2000). Estos rasgos erosivos fluviales son notorios en la ladera del nevado de Colima. Las brechas y piroclastos no consolidados de las laderas de los aparatos volcánicos recientes tienen características de alta permeabilidad subsuperficial pero elevada pendiente, por lo que presentan corrientes superficiales esporádicas erosivas, infiltración y procesos incipientes de intemperismo y erosión en los interfluvios (Barrera R., 2002).

Los depósitos aluviales varían en su granulometría desde arcillas en zonas de baja energía de transporte (por ejemplo en los estratos lacustres de la laguna de Zapotlán) a grandes bloques en el fondo de cauces de gran pendiente y en el ápice de abanicos aluviales y depósitos de remoción en masa retrabajados por el agua.

Como su nombre lo indica, el relleno sedimentario, constituye el fondo de las depresiones tectónicas que han servido de nivel de base de la red de drenaje local en un momento de su evolución geológica.¹² Incluye cientos de metros de relleno en los paisajes llanos de Zapotlán. La parte más baja de la (sub)cuenca cerrada está ocupada por la Laguna Zapotlán.¹³

Paisaje, procesos erosivos fluviales y sedimentación

Como se describe con anterioridad, tanto las morfoestructuras de graben y como los aparatos de estrato-volcanes han sido parcialmente erosionados y disectados por la remoción remontante del agua, un proceso intensificado por la elevada energía del relieve e intensidad de las precipitaciones durante el Holoceno. La parte media-alta de la cuenca cerrada Zapotlán presenta rasgos rejuvenecimiento de paisaje, relacionados con tectónica reciente, la actividad del CVC y movimiento de bloque fallados asociados al graben de Colima.

El intemperismo de rocas, el modelado de interfluvios y modelado de cárcavas, valles y laderas se caracterizan por la disección particular del relieve en zonas que fueron expuestas a la acción del agua y otros mecanismos de intemperismo en paleo climas tropicales. El intemperismo de rocas y estos procesos fluviales habrían sido más intensivos en épocas de climas húmedos y cálidos del Holoceno descritos para la región. Éstos procesos siguen actuando en la formación y evolución del paisaje reciente, con otra intensidad (Lugo-Hubp, 1990). Afloramientos de rocas volcánicas fueron y son erosionados en el cuaternario generándose paisaje de pendientes escarpadas, gargantas (valles en "v" con laderas empinadas), depósitos aluviales en sus fondos, y pequeños abanicos aluviales en la desembocadura en el la parte más baja de la cuenca, por ejemplo, indicativos de una etapa de juventud del paisaje (INEGI, 2000). Estos rasgos erosivos fluviales son notorios en la ladera del nevado de Colima. Las brechas y

¹² Destacan en la región la zona de sedimentación en las partes más bajas de la cuenca cerrada y el humedal Zapotlán (así como el humedal de Sayula hasta Zacoalco, al norte)

¹³ Se excluyen en esta categoría las cuencas sedimentarias antiguas, anteriores al Cenozoico, que han sufrido procesos tectogenéticos para formar montañas de plegamiento o de bloques. También se excluyen en esta categoría, por razones de escala, a las pequeñas cuencas sedimentarias poco profundas formadas por sedimentos cuaternarios que según la terminología aplicada por el INEGI han merecido el nombre de suelos residuales.

piroclastos no consolidados de las laderas de los aparatos volcánicos recientes tienen características de alta permeabilidad subsuperficial pero elevada pendiente, por lo que presentan corrientes superficiales esporádicas erosivas, infiltración y procesos incipientes de intemperismo y erosión en los interfluvios (Barrera R., 2002). En particular, la friabilidad de las rocas volcánicas del Nevado favorecieron los **procesos fluviales que han denudado el paisaje**, erosionando rocas intemperadas. Los escurrimientos de las aguas con elevada energía cinética labraron cárcavas y valles hasta su nivel de base de erosión (parte más baja de la cuenca cerrada), formando cañadas y gargantas que separan los relieves más planos. De allí que los procesos edafogenéticos dominan en los interfluvios planos, en tanto que sobre las vertientes impera el movimiento de los materiales detríticos y en el fondo de los valles las terrazas fluviales (Barrera R., 2002).

El resultado del modelado del paisaje generado por este tipo de procesos hidrológicos se puede agrupar en dos grandes grupos de relieves fluviales (ambos registrados en la cuenca):

1. Relieves erosionales, que se corresponden con todos aquellos formados por denudación progresiva del sustrato rocoso, como las cárcavas, las barrancas, cañones, las depresiones labradas por arroyos y los escarpes del arranque de remoción en masa (deslaves, asentamientos y otros procesos gravitacionales).
2. Relieves deposicionales, como son las terrazas fluviales que se construyen en laderas cuando fragmentos de roca, suelo o regolita son arrancados, transportados y redepositados en ambientes de energía variable en el tiempo, o los abanicos aluviales en los cambios de pendientes, deltas en la entrada de cuerpos lagunares. Estos depósitos sedimentarios aluviales porosos en las zonas más planas y cambios de pendiente en las cuenca cerrada de Zapotlán alojaron espesores saturados y flujos subterráneos locales, hoy impactados por la extracción intensiva del agua subterránea (Tellez Foster, Dinar, & Rapoport, 2018)

Estos procesos de erosión primero, y de acumulación del material erosionado aguas abajo -dominantes en las microcuenca de la cuenca cerrada-, son relevantes en cuanto al ciclo hidrológico en su interacción superficial y subterráneo en el territorio y en relación con servicios ecosistémicos del agua. Se ha enfocado la descripción de la evolución de procesos geomorfológicos, con la morfoestructura y su relación con la hidrografía superficial y subterránea. En el análisis de modelos digitales de elevación se han identificado distintas unidades geomorfológicas. Utilizando unidades acordes a las planteadas por UNAM SIGA y SEMADET (2017) se pueden reconocer en la cuenca Zapotlán:

- 1) conos volcánicos de escoria y piroclastos,
- 2) aparatos volcánicos erosionados,
- 3) derrames de lava,
- 4) derrames de lava cubiertos de piroclastos,
- 5) serranías con disección fluvial escasa,
- 6) laderas modeladas con disección fluvial severa,

- 7) laderas modeladas con disección fluvial moderada, 8) laderas modeladas con disección fluvial escasa,
- 9) piedemonte acumulativo-erosivo con disección moderada,
- 10) piedemonte acumulativo con disección escasa,
- 11) abanicos proluviales activos,
- 12) llanura fluviolacustre sujeta a inundación y deflación.

Relación entre el régimen pluvial y fluvial, la hidrología y la energía del paisaje

De acuerdo con los trabajos de Barrera (1995) los regímenes fluviales naturales en la zona de estudio son un reflejo de la intensidad y concentración en regímenes pluviales, de la distribución de las precipitaciones y de las condiciones geográficas físicas del territorio: “Las relaciones entre estos elementos del espacio geográfico se expresan en los coeficientes e índices de escurrimientos cuyos valores son representativos de los regímenes fluviales tropicales”. Es decir que los caudales y volúmenes de los cursos de agua del área de estudio, su poder erosivo y capacidad de transporte de sedimentos – pasadas y actuales- son dependientes de la intensidad de las precipitaciones en la parte alta de las microcuenca.

De modo que los máximos caudales se registran en verano luego de las precipitaciones más intensas, y los mínimos en invierno. Esta variabilidad intra anual del poder erosivo es aún más importante cuando las microcuenca tienen una elevada “energía del paisaje” o elevado relieve relativo (gran diferencia de cota en poca distancia). Para reducir el ingreso a la laguna de arenas, arcillas y limos se ha comenzado a implementar una intervención tecnológica piloto en microcuenca, consistente en un sistema de cortinas para su retención, lo cual previene el azolve del cuerpo de agua (Gobierno de Zapotlán et al. 2021:68)

2.2. Hidrología subterránea

El agua es indispensable para la supervivencia de los seres vivos y para el desarrollo y bienestar de las sociedades (Carabias, 2017). El agua subterránea es la principal fuente de agua potable de la mayoría de la población mundial y el territorio de la Cuenca Zapotlán.

Representa casi un tercio del total de agua dulce (Siebert et al. 2010; Famiglietti, 2014) y se utiliza principalmente en las regiones semiáridas y durante las sequías naturales y, recientemente, como capital natural amortiguador para la adaptación hídrica al cambio climático y las sequías inducidas (De La Hera et al., 2016). En términos globales, el agua subterránea es el reservorio principal de agua dulce disponible físicamente (Hatch y Carrillo, 2017).

Localmente, y de acuerdo con Peñuela y Carrillo (2012), la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) reportaba que “hasta el 2009, el 63% del agua utilizada en el país para uso consuntivo provenía de fuentes superficiales y el 37% restante de fuentes subterráneas”.

Estos autores destacan que “estas cifras no reflejan la dependencia del agua subterránea en diversos territorios cuyas características climáticas y geomorfológicas limitan la presencia de agua pluvial o su escorrentía permanente; o bien, cuando el crecimiento demográfico y económico ha superado la capacidad natural que suministraba el agua superficial antaño asequible. Existen diversos ejemplos en México donde el aprovechamiento del agua subterránea supera ampliamente al del agua superficial, en especial en áreas localizadas en la porción central- norte (y norte) del territorio nacional” (Ochoa et al, 2012), como es el caso de la zona de estudio.

El papel del agua subterránea en el ciclo hidrológico en la región de la cuenca de Zapotlán

El agua subterránea forma parte del ciclo del agua, también conocido como ciclo hidrológico. El agua subterránea inicia su recorrido en partes altas, montañosas, de bosque, hacia las partes más bajas, las depresiones tectónicas valles, humedales y las planicies fluviolacustres o costeras. Conforme a una visión científica sistémica, el movimiento del agua subterránea en los acuíferos conforma tres sistemas de flujo principales: local, intermedio y regional (Carmona Lara, Carrillo Rivera, Hatch Kuri, Huizar Álvarez, & Ortega Guerrero, 2017).

Desde la perspectiva ecosistémica es importante resaltar que estos sistemas de flujo interactúan con los otros componentes superficiales del ciclo, están interconectados y soportan a los manantiales, ecosistemas riparios, lacustres y humedales en cuencas cerradas como la de Zapotlán (Capistrano, Samper, Lee, & Raudsepp-Hearne, 2005; Carmona Lara et al., 2017; Muñoz et al., 2010).

Los recorridos y la edad del agua es característica en los distintos sistemas de flujo superpuestos. En los sistemas de flujo locales, los recorridos son cortos (recarga en zonas elevadas, flujo hasta descarga en manantiales fríos o en partes bajas de la cuenca cerrada, por ejemplo) y la edad del agua subterránea es de semanas a unos cuantos años; la temperatura del agua es similar al promedio de la temperatura ambiente y suele contener pocos elementos químicos disueltos de las rocas por las que circula. Aunque pueden descargar en el mismo humedal, por ejemplo, en el flujo intermedio, el recorrido del agua en el subsuelo es más largo y puede tardar cientos de años. En contraste, en el flujo regional el tiempo de residencia es de miles de años, con agua usualmente termal y con gran cantidad de elementos químicos disueltos (Carmona Lara et al., 2017).

Los elementos fundamentales que determinan o controlan los sistemas de flujo de agua subterránea son diversos y naturales, como son la distribución tridimensional de las unidades geomorfológicas, las estructurales y geológicas en el subsuelo (con diferentes rangos de porosidad, coeficiente de almacenamiento y conductividad hidráulica); la topografía del relieve; el régimen actual y pasado de lluvias; la escorrentía; la tasa de evapotranspiración actual y pasada; y el porcentaje de la infiltración que migra verticalmente por gravedad y alimenta (alcanza) al nivel freático. Como resultado, el agua subterránea se mueve desde las áreas de recarga hacia las áreas de descarga, las cuales se manifiestan por el tipo de vegetación y suelo. Entre ambas áreas existe una

componente de flujo de agua subterránea que es principalmente horizontal (Carmona Lara et al., 2017).

Aportes del contexto sistémico de sistemas de flujo de aguas subterráneas a la comprensión del funcionamiento del agua subterránea

El funcionamiento del agua subterránea desde un contexto sistémico se desarrolló desde la década de los años 60s por J. Tóth con evidencia geofísica e hidrológica. Estos trabajos fueron recibiendo soporte de autores como Bredehoeft et al (1982) (Freeze y Cherry, 1979) en libros y publicaciones especializadas. En trabajos y publicaciones posteriores, se adicionan fundamentos químicos, isotópicos, de vegetación y suelo, y su interrelación con el agua subterránea. Desde distintas disciplinas, documenta la dinámica sistémica del agua subterránea en el ambiente.

Esta visión supera al análisis estático del agua subterránea contenida en una cuenca o en un acuífero administrativo como los delimitados por la CONAGUA, probando que existe una conexión hidráulica subterránea entre cuencas hidrográficas superficiales (Carmona Lara et al., 2017).

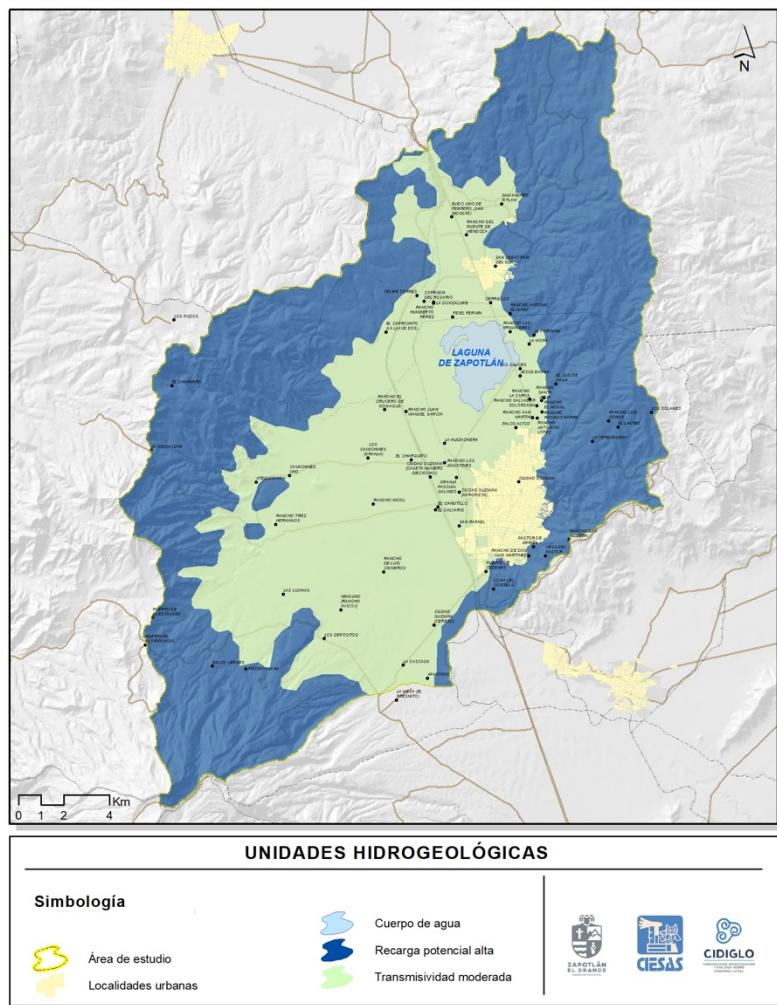
La importancia para la política pública y la planificación territorial de valorar al agua subterránea como un sistema fluido-dinámico, en vez de uno estático

Entender el agua subterránea a partir de sus características y sistemas de flujo es entender la dinámica de los acuíferos superpuestos, multiescalar y con sus servicios ecosistémicos regionales que soportan al bienestar humano. Según Carmona Lara et al (2017) este conocimiento impacta en políticas públicas porque:

- “Permite tener sentido sistémico del agua subterránea y su implicación con el agua superficial y el sostentimiento de los ecosistemas;
- Sirve para prevenir y controlar inundaciones;
- Ayuda a controlar la inducción y bombeo de agua de calidad no deseable;
- Permite evitar alteraciones por importación inducida de otros acuíferos (trasvases);
- Es posible monitorear la contaminación del agua subterránea, prevenirla y atender los casos para resarcir la calidad del agua;
- Prevenir y controlar hundimientos de suelo;
- Ayuda a la definición sistémica de componentes verticales de flujo al pozo de extracción, como por ejemplo en caso del fracking;
- Monitoreo y control de alteraciones profundas del sistema hidrogeológico y la vulnerabilidad de los acuíferos a los impactos naturales o de la actividad humana; y

- Evitar problemas de salud pública, evitar el consumo de agua con elementos químicos que provoquen enfermedades o envenenamientos. “

Ilustración 21 Unidades litológicas subsuperficiales con permeabilidad secundaria diferencial en la cuenca Zapotlán



Fuente: Elaboración propia con datos de IIEG, INEGI, CONAGUA

Los patrones de **extracción, agotamiento y modificación** de los sistemas de flujo han sido importantes en las últimas décadas – ya conocidas como la nueva era del Antropoceno- promocionadas por una revolución silenciosa en la tecnología de extracción (Custodio, 2009) y un marco de gestión obsoleto (Carrillo-Rivera, et al 2016).

2.2.1. Deterioro de los servicios ecosistémicos del agua subterránea

El agua subterránea provee un servicio ecosistémico de soporte y regulación para los ecosistemas acuáticos de la región (arroyos, ríos, lagunas y humedales) que dependen de su descarga (Foster y Cherlet, 2014). Representa la fuente de abastecimiento principal para los asentamientos humanos (servicio de provisión, MEA 2005). Para entender la ecología del agua subterránea (Gibert, Stanford, & Danielopol, 2013) se considera que la distribución y movimiento del agua subterránea tiene patrones heterogéneos en la región de estudio, los que se encuentran controlados por las condiciones hidrogeológicas, topográficas, y climáticas predominantes en el Holoceno y en la actualidad (UNDP, 2010).

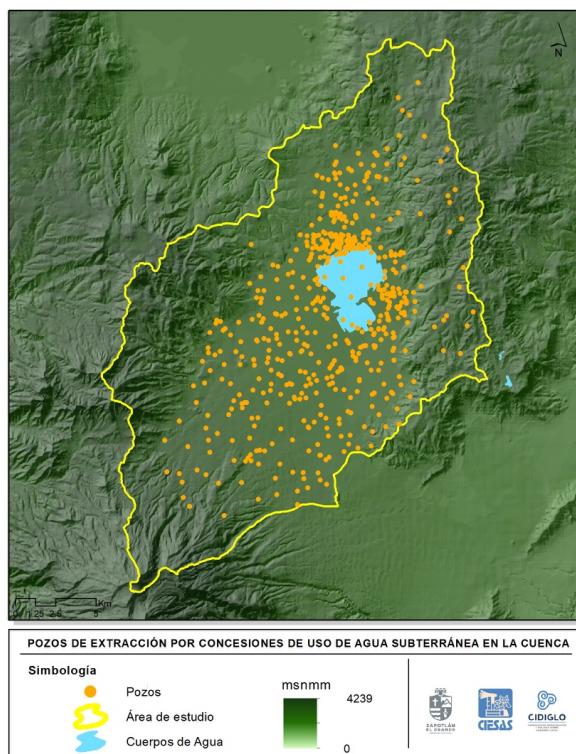
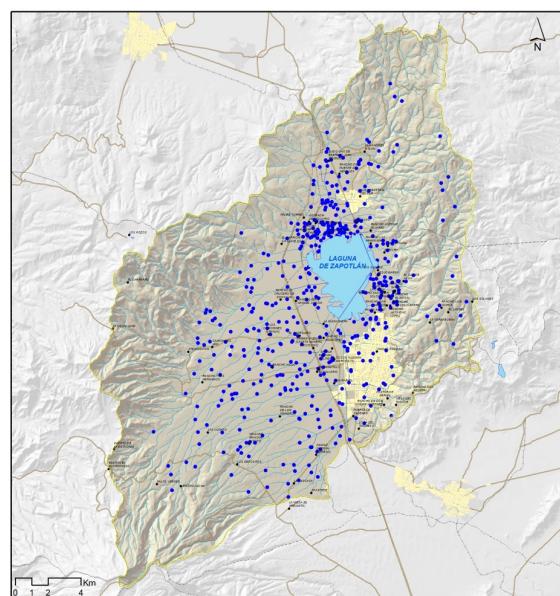
Las comunidades humanas y los sistemas productivos han impactado fuertemente el ciclo global del agua, no solo la escorrentía de agua superficialmente, sino también la retención y flujo de agua subterránea. En áreas dominadas por el riego con aguas subterráneas, como en la cuenca de Zapotlán, donde la extracción neta de las aguas superficiales es negativa (Scott, Dall'erba, & Caravantes, 2010) el flujo de retorno del riego es deficitario por la elevada tasa de evapotranspiración o de exportación de agua virtual en frutos y se descarga como aguas residuales de baja calidad y elevado impacto ambiental (UNOPS, 2016). La perforación de nuevos pozos y el aumento de la eficiencia de extracción de agua subterránea en volúmenes insostenibles para el ecosistema, representan una carga y presión antropogénica muy significativa y un campo de disputa por el agua que se está incrementando en la región (Carrillo-Rivera et al., 2016).

Aunado a lo anterior, en la cuenca existe la dificultad de valorar las variaciones de los niveles, flujo y calidad del agua subterránea ya que no existe una apropiada red de monitoreo hidrogeológico, en los pozos de extracción privados no se registran caudales acumulados y parámetros hidroquímicos, y no existe una red básica y mínima que utilice pozos de extracción abandonados y readaptados para monitoreo como la que se ha implementado hasta en Irán (Parizi, Mossa Hosseini, Ataie-Ashtiani, & Simmons, 2019).

¹⁴

¹⁴ Los registros del REPDA no representan una red de monitoreo, solo incluyen coordenadas geográficas inciertas de los puntos de extracción y uso concesionado de agua subterránea

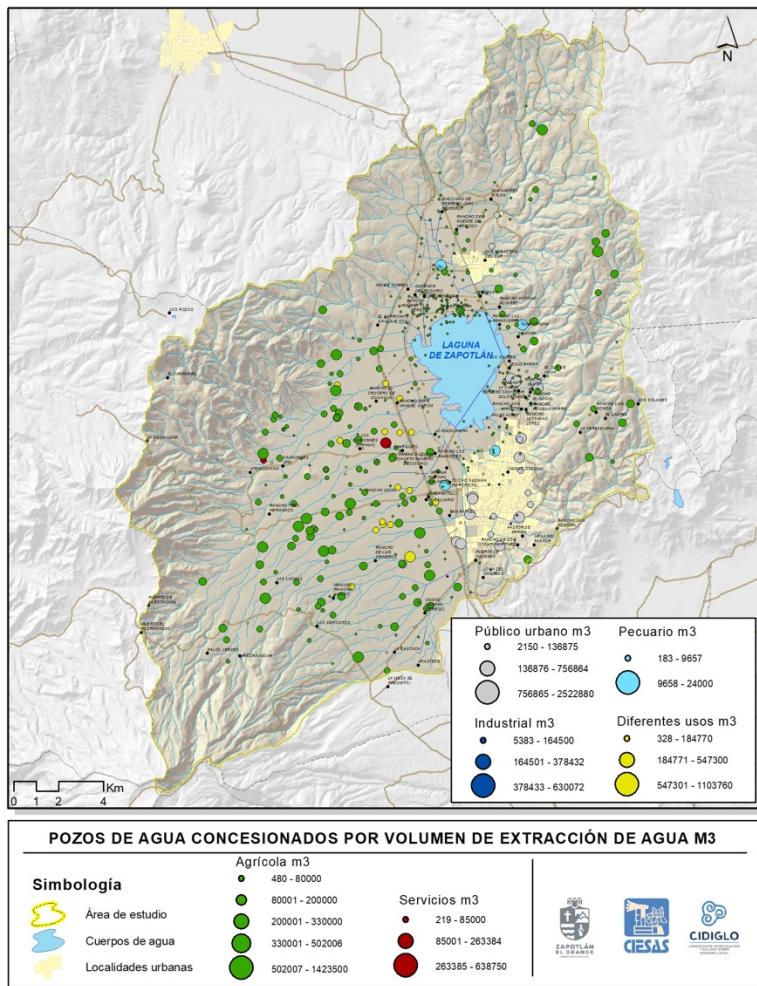
Ilustración 22. Ubicación de norias y pozos de extracción según coordenadas del registro de concesiones de uso de agua subterránea del REPDA, sin diferenciar volúmenes concesionados



Fuente: Elaboración propia con datos de REPDA 2018

Se estima que, en las áreas de riego intensivo de la cuenca de Zapotlán, pueda aumentar la amplitud en las variaciones estacionales de almacenamiento debido al régimen de precipitaciones intensas concentradas en pocos meses y días, las retenciones superficiales en bordos y presas y a las variaciones estacionales en el uso humano del agua subterránea. Las últimas estimaciones indirectas se hicieron para la cuenca de Zapotlán por la CONAGUA con base en **observaciones históricas puntuales** del nivel freático y del efecto de la concentración de concesiones de uso subterránea (como nueva demanda y salida del sistema) a principios del siglo XXI (DOF, 2020).

Ilustración 23 Distribución geográfica de las mayores concesiones de uso de agua subterránea, por tipo de uso y volumen de extracción de agua (m³). Se observa la tendencia a la concentración de los pozos con las mayores concesiones para riego al suroeste de la cuenca, coincidente con la tasa mayor de cambio de uso del suelo a agricultura protegida y huertos de aguacate.



Fuente: Elaboración propia con datos de REPDA

2.2.1.1. Los efectos inaceptables de perforar y extraer agua subterránea intensivamente para exportar, evaporar o contaminar

El modelo de gestión actual del agua subterránea estaría protegiendo la seguridad legal sobre los millones de metros cúbicos extraídos anualmente por pozos privados para mantener cultivos y la agroindustria, pero en detrimento de la seguridad hídrica y el cumplimiento del derecho humano al agua (Relatoría ONU, 2015).

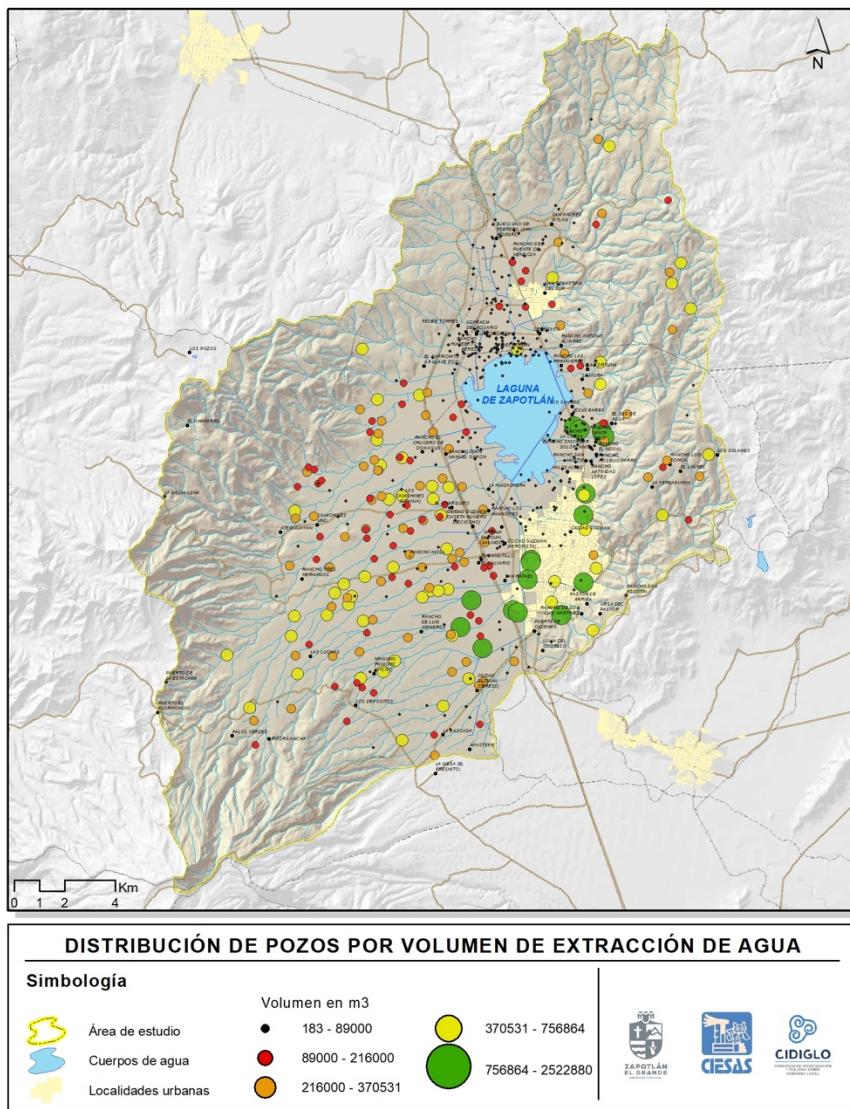
Hace más de 10 años comienzan a publicarse algunos resultados sobre el impacto que la producción regional de alimentos genera sobre las comunidades rurales, donde la mano de obra agrícola es la columna vertebral de la economía local (Scott, 2010) y se está documentando como la política de transferencia de concesiones de uso de agua subterránea - obsoleta en tiempos de alta presión antrópica y cambio climático- estaría promoviendo un mercado negro de agua ya sobreconcesionada (Reis, 2015).

La perforación y extracción de agua subterránea en volúmenes insostenibles para el ecosistema representan una carga y presión antropogénica muy significativa y que se está incrementando en la región. En la cuenca, el explosivo crecimiento del negocio del cultivo de aguacates, berries y la agroexportación han agravado la presión y los efectos ambientales sobre humedales y el futuro de la fuente de agua para consumo humano en tiempos de cambio climático (IMTA- OXFAM 2021).

De acuerdo con Rizo (2017): “En este mismo sentido, Esteller et al. (2012) y otros autores (Chávez-Guillén et(Muñoz et al., 2010) al., 2006; Jiménez -Cisneros, 2007) han evaluado los cambios hidrogeológicos (a escala local y nacional) provocados por la explotación intensiva del agua subterránea y sus conclusiones han sido similares a las descritas por Marín (2002), referentes a la escasez y calidad del agua”(Rizo Decelis, 2017).

La presión de los generadores de cambio es mayor en las regiones que más demanda incremental tienen de agua, o donde es conveniente utilizarla por su menor costo y los subsidios perversos a su explotación (Muñoz et al., 2010)(Reis, 2014; Scott, 2013).

Ilustración 24 Distribución territorial de las grandes concesiones de extracción y uso de agua subterránea en la cuenca (volumen anual concesionado de agua (m³)



Fuente: Elaboración propia

2.2.1.2. Riesgos por contaminación y tendencia de deterioro de las fuentes de agua para consumo humano.

Uno de los aspectos prioritarios y críticos que atender en la Cuenca es la calidad del agua extraída y la eficacia de los procesos y condiciones actuales de purificación, acondicionamiento, desinfección y conducción; su análisis y verificación de cumplimiento con la normativa vigente, con parámetros de riesgo a la salud emergentes y que se

incorporan en propuestas de mejora para garantizar la calidad del agua que entrega el organismo operador (SAPAZA) a la población, priorizando criterios del derecho humano al agua. En el contexto de la adaptación hídrica al cambio climático y sostenibilidad de las fuentes de abastecimiento, se considera conveniente iniciar un marco de análisis y gestión de efectos acumulativos de la extracción, calidad y uso intensivo del agua subterránea en los diferentes sectores productivos; para explorar oportunidades de mitigación intersectorial (FAO, 2016; IAIA, 2009; IFC, 2015).

En la cadena de suministro de agua a los hogares existen numerosos puntos de contaminación potencial del agua de consumo, iniciando por la fuente de abastecimiento del agua para consumo humano, la potabilización incompleta y contaminación cruzada en la red de distribución, aljibes y tinacos. Estudios antecedentes resaltan la vulnerabilidad y presencia de químicos de riesgo en el agua subterránea explotada para abastecimiento industrial, agrícola y urbano en la cuenca y acuíferos (Rizo-Decelis, Marin, & Andreo, 2016; Brunori et al., 2015)

Teniendo en cuenta los problemas de extracción intensiva y contaminación geogénica inducida existentes en la región volcánica, la presión y agotamiento que puede generar la agroindustria y los sistemas de riego en las fuentes subterráneas de abastecimiento para consumo doméstico, se hace prioritario formular programas para el estudio, monitoreo y protección de la calidad del agua de la fuente subterránea para el consumo humano directo y para el cumplimiento del derecho humano al agua (Carmona Lara et al., 2017; Carrillo-Rivera, Cardona, & Edmunds, 2002).

Uno de los mecanismos de impacto significativo en los servicios ecosistémicos del agua subterránea ha sido la transferencia de derechos y la migración de bombas de extracción desde pozos agrícolas de pequeños productores hacia clusters de concentración de millones de metros cúbicos anuales de bombeo en zonas periurbanas de producción agroindustrial (Burke et al., 1999).

En la misma región volcánica con influencia hidrotermal ya se registran trazas y concentraciones peligrosas de arsénico, selenio y flúor, como resultado de procesos de contaminación geogénica y la inducción de flujos verticales por sobre extracción, agotamiento de los flujos locales de recarga reciente y la reducción de carga hidráulica sobre el agua profunda con mayor tiempo de contacto con rocas y mayor temperatura (R Hurtado-Jiménez & Gardea-Torresdey, 2008).

De acuerdo con lo que reporta Rizo (2017), desde finales del siglo XX, académicos y funcionarios del agua como Jiménez-Cisneros et al. (1998) resaltaban la necesidad de proteger al agua subterránea como la fuente de agua para consumo en comunidades humanas (actualmente en el marco constitucional de las implicaciones del derecho humano al agua) dado su menor vulnerabilidad ante los cambios en clima y porque el agua subterránea en México era la fuente que presentaba la mejor calidad.

A principios del siglo XXI, era posible acceder a las aguas subterráneas a una profundidad de 30 a 50 metros, pero ahora la profundidad mínima de perforación para acceder al agua para la agricultura es de 250 metros.⁶ Al mismo tiempo, perforar más profundamente ocasiona que se extraiga agua de peor calidad desde los sistemas de flujo regionales.

Debido a su tiempo de contacto con las rocas por la que fluye y su mayor temperatura, el agua más profunda tiende a contener mayores niveles tóxicos de arsénico, selenio, fluoruro y otros químicos de riesgo, en concentraciones cada vez más elevadas (Armienta & Segovia, 2008).

La tendencia al agotamiento, y la mayor concentración de químicos de potencial riesgo en el agua subterránea explotada se atribuye a subsidios perversos a la extracción intensiva, a un pobre monitoreo y conocimiento hidrogeológico, obsoleta gobernanza, ausencia de regulaciones específicas para perforistas, usuarios (Tuinhof, Foster, Kemper, Garduño, & Nanni, 2002), en sinergia negativa con la falta de mecanismos de control y vigilancia, tanto en relación con el deterioro de la calidad, la contaminación antropogénica y la desaparición de sistema de flujos locales por la sobre extracción de agua subterránea (Rizo-Decelis, Marin, & Andreo, 2016).

Las grandes limitaciones del modelo de gestión se relacionan con la ausencia de información de los grandes volúmenes de extracción desde pozos no registrados y pozos no monitoreados con caudalímetros en línea. El sobre-concesionamiento, la contabilización del mercado informal de agua subterránea y la extracción ilegal (no registrada o volumétricamente mayor a las concesiones); representan números relevantes en el análisis de la presión e impacto en los servicios ecosistémicos del agua subterránea. Reportes de SEMARNAT, señalan que habría dos razones principales que promueven el uso excesivo de agua subterránea por parte de los agricultores y la agroindustria:

- El alto número de usuarios de agua de riego que la extraen ilegalmente sin concesión, cerca de 45% (Muñoz et al., 2010);
- El sistema de subsidios del gobierno federal, que distorsiona las señales de precios de los que sí están concesionados e incentiva a los usuarios a usar más agua de la necesaria, lo que reduce la rentabilidad para la retención y conservación del agua.

De acuerdo a Muñoz et al. (2019), existen dos distorsiones importantes sobre la señal de precios: “La primera es que, de acuerdo con la Ley Federal de Derechos, los usuarios agrícolas no tienen obligación de pagar por el agua concesionada. La segunda es que a pesar de que sí deben pagar por la electricidad que usan para extraer el agua del subsuelo, la tarifa para bombeo agrícola tiene un subsidio de hasta 86% del costo medio de generación de electricidad.” (Muñoz et al., 2010).

Análisis hidrogeoquímicos y los potenciales riesgos a la salud de la extracción intensiva de agua

Los análisis hidrogeoquímicos e isotópicos son fundamentales para entender sistemas de flujo y los riesgos potenciales a la salud. De acuerdo con Adrián Ortega -investigador del Centro de Geociencias de la Universidad Nacional Autónoma de México- para lo que se requiere contar con resultados de estudios multidimensionales sobre el flujo y del deterioro de la calidad del agua subterránea. De acuerdo con Hurtado et al. (2005): “En

México, la fluorosis dental es un mal endémico que afecta a cerca de cinco millones de personas. Los riesgos de ocurrencia de fluorosis dental en la zona de estudio son muy altos, ya que gran parte de la población consume agua potable (embotellada, de pipas o de la llave) con una $[F^-]$ mayor de 1.5 mg/l....”.

Estos autores resumen que el impacto sobre la salud debido a la ingestión prolongada de flúor como fluoruro (F^-) depende de tres factores principales: ingesta diaria de F^- , el grado de nutrición y status de algunos órganos vitales. La ingesta diaria depende básicamente de la concentración $[F^-]$ en el agua potable (básicamente agua subterránea), consumo de sal fluorada y uso de pasta dental con flúor.”¹⁵

Según las conclusiones de dichos autores, una parte importante de la población podría padecer fluorosis (dental y esquelética) debido al consumo de agua subterránea, distribuida tanto en fuentes públicas de abastecimiento como por pipas, llenadas con agua subterránea de la región. Los resultados de este estudio permiten establecer que los niños son los que están más expuestos a la acción tóxica del flúor, ya que los valores de ingestión total de F^- y las dosis de exposición rebasan las recomendaciones sanitarias (Rizo, 2017). Se describe en Hurtado et al. (2005) que la mayoría de los habitantes que consumen agua subterránea potencialmente contaminada geográficamente, incluyendo especialistas en salud, “desconocen la problemática del flúor y, por lo tanto, no practican acciones simples que les permitirían reducir los riesgos. Es muy probable que las enfermedades fluoróticas sean mal diagnosticadas.”

Por su parte, el arsénico disuelto en el agua subterránea constituye uno de las principales preocupaciones para los sistemas de agua de comunidades en la zona del CVT. El arsénico es uno de los elementos que ha tenido un importante nivel de atención por parte de las instituciones de salud y del medio ambiente en muchos países del mundo. Este interés surge principalmente en su toxicidad, particularmente por su toxicidad crónica carcinogénica para los seres humanos expuestos a la ingesta prolongada de bajas concentraciones, de acuerdo a la Organización Mundial de la Salud (OMS). El arsénico y el flúor son reportado como químico de riesgo en fuentes de agua potable en distintas comunidades de la CVT (Armienta & Segovia, 2008; Daigle, 2015).

En la región de estudio las fuentes más comunes de arsénico en ambientes naturales son las rocas volcánicas, específicamente sus productos de retransporte y cenizas, depósitos minerales hidrotermales y las aguas geotermicas asociadas. Existe en la naturaleza en diferentes estados de oxidación que determinan tanto su comportamiento en el medio ambiente (movilidad, reactividad, especiación), como su toxicidad. En el agua (aguas superficiales y subterráneas) el arsénico se encuentra comúnmente en el estado de oxidación (V) arsenato y (III) arsenito. En aguas superficiales con alto contenido de oxígeno la especie más común es el arsénico pentavalente o arsenato. Distintas especies de arsénico fueron registradas en agua subterránea con influencia hidrotermal o de flujos

¹⁵ Las enfermedades fluoróticas más comunes son: fluorosis dental, fluorosis esquelética y fracturas óseas. Estudios epidemiológicos efectuados en San Luis Potosí mostraron una prevalencia de 98% en comunidades que consumían agua con una $[F^-]$ de 2.0 mg/l. En algunas poblaciones de la India,⁶ donde la $[F^-]$ en el agua varía entre 3.2 y 4.0 mg/l, la prevalencia de fluorosis dental alcanza valores de 77%, mientras que en otras con una concentración similar, la prevalencia fue de 100%, por deficiencias nutricionales.

profundos regionales en la región de estudio (R Hurtado-Jiménez & Gardea-Torresdey, 2008).

Se requieren métodos e instrumentos especializados para poder caracterizar la presencia de trazas de arsénico como contaminante geogénico en el agua subterránea, ya que los valores aceptables internacionalmente de arsénico en el agua berible con seguridad son de 1 µg/l, una concentración difícil de detectar si no se establece un sistema de monitoreo del agua subterránea adecuado, y se sigue un protocolo de muestreo, preservación y análisis en laboratorio estricto y adecuado a los lineamientos y mejores prácticas internacionales (Lillo, 2008; Mahlknecht, Steinich, & Navarro De León, 2004; World Health Organization, 2016)

Como un ejemplo del Estado de Jalisco, en el año 2006 se realizaron campañas de muestreo y análisis del agua recolectada en cerca de 130 pozos para abastecimiento público en distintas localidades de la región también volcánica de los Altos de Jalisco, para determinar la concentración de arsénico total (tAs) y estimar inicialmente riesgos a la salud por exposición a este metaloide de la población más vulnerable (Roberto Hurtado-Jiménez & Gardea-Torresdey, 2006). De acuerdo con Rizo (2017) los resultados indicaron que era baja la proporción de muestras que reportaron concentraciones de arsénico por arriba del límite permitido por la normativa mexicana (25 µg/l) para el agua de ingesta humana (NOM-127-SSA1-1994, "Salud ambiental, agua para uso y consumo humano-límites permisibles de calidad y tratamientos a que debe someterse el agua para su potabilización"), pero que prácticamente todas las muestras contenían una concentración de arsénico mayor a la recomendada por la OMS para evitar el riesgo a la salud por ingesta diaria de agua (valor de 10 µg/l).

Otro de los elementos químicos de preocupación, presente como contaminante geogénico en el agua subterránea de la región es el selenio (Se). Los mismos autores del trabajo de monitoreo de arsénico, analizaron la presencia y riesgos por ingesta de selenio en agua subterránea para bebés, niños y adultos en Jalisco (R. Hurtado-Jiménez & Gardea-Torresdey, 2007).¹⁶

El trabajo concluye que los niveles estimados de exposición al selenio fueron más altos que los recomendados como óptimos por las organizaciones internacionales de salud, lo que representa un riesgo potencial para la salud de los individuos más vulnerables (bebés) y con consumo frecuente de agua con Se. Sin embargo, los valores estimados no fueron lo suficientemente altos como para producir selenosis en la población objetivo (R. Hurtado-Jiménez & Gardea-Torresdey, 2007).

¹⁶ El objetivo del trabajo fue evaluar la exposición al selenio en el agua potable consumida en localidades de Los Altos de Jalisco, muestreando 125 pozos de agua de subsuelo volcánico y analizando en laboratorio la concentración de selenio. A la vez, se estimaron las dosis de exposición al selenio para bebés, niños y adultos.

2.2.2. Condición y presiones sobre el agua subterránea en la cuenca

Desde dos décadas atrás se describen los motores de la presión antropogénica sobre los sistemas de flujo subterráneo del agua en México, particularmente en regiones agrícolas con extensas temporadas sin lluvia (Scott, Dall'erba, & Caravantes, 2010).

Las consecuencias complejas de la extracción atomizada e intensiva de agua subterránea se presentan con mayor frecuencia en foros internacionales como impactos ambientales acumulativos, tanto en la capacidad de resiliencia hídrica al cambio climático, protección de los servicios del ecosistema o gestión de la fuente natural estratégica de agua para zonas metropolitanas (Clausen, 2018). Estos trabajos resaltan los efectos acumulativos de las diversas presiones incrementales en el agua subterránea (extracción desmesurada, contaminación antropogénica y geogénica, compactación por subsidencia, etc.) cuyo aprovechamiento ha sufrido un aumento sobresaliente desde las últimas décadas del siglo XX:

Uno de los mecanismos de impacto significativo en los servicios ecosistémicos del agua subterránea ha sido la transferencia de derechos y la migración de bombas de extracción desde pozos agrícolas de pequeños productores hacia *clusters* de concentración de millones de metros cúbicos anuales de bombeo en zonas periurbanas de producción agroindustrial (Burke, Sauveplane, & Moench, 1999).

Al reconocerse que las aguas subterráneas se han convertido en una fuente principal del recurso hídrico en la planeación socioeconómica urbana de todo el mundo, se ha comenzado a integrar a la protección y restauración de los sistemas de flujo subterráneo en los instrumentos de gestión ambiental y territorial, considerando su carácter de bien natural y compartido (Moench, Burke, & Moench, 2003). La tendencia al agotamiento, y la mayor concentración de químicos de potencial riesgo en el agua subterránea explotada se atribuye a pobre monitoreo y conocimiento hidrogeológico, obsoleta gobernanza, ausencia de regulaciones específicas para perforistas (Tuinhof, Foster, Kemper, Garduño, & Nanni, 2002), en sinergia negativa con la falta de mecanismos de control y vigilancia del cumplimiento de la legislación, tanto en relación con la infiltración de vertidos contaminantes en el suelo o la desaparición de sistema de flujos locales por la sobre extracción de agua subterránea (Rizo-Decelis, Marin, & Andreo, 2016).

Los estudios de balance hídrico de los acuíferos administrativos de la región contienen cierta información hidrogeoquímica y de los niveles, pero los datos fueron obtenidos en los años 90s. No se tienen disponibles datos de ensayos de bombeo o recuperación realizados en pozos de extracción.

En México, y en la región, se han identificado de forma general notables carencias en el conocimiento y en la gestión de las aguas subterráneas. En la perspectiva de diversos autores es notable la ausencia de conocimiento útil, de información y capacitación en la gestión del agua subterránea. Por ejemplo, Rizo (2017) describe que: “En general, existen escasas referencias sobre investigación hidrogeológica rigurosa en el área de estudio, a pesar de la importancia que tiene el agua subterránea... En ciertas partes, dicho recurso suele ser la principal, y en ocasiones la única, fuente de agua...”

Publicaciones recientes resaltan grandes falencias sistémicas en los instrumentos de política pública, impactos negativos en el cumplimiento del derecho humano al agua, la nueva agenda urbana y los ODS (DAVALOS & Romo Pérez, 2017); tales como la delimitación administrativa de las unidades de gestión (los muy criticados “acuíferos” administrativos de CONAGUA), la ausencia de agencias especializadas en la gestión de redes de monitoreo y estudios para entender sistemas de flujo subterráneo, falta de control sobre el número de captaciones o del nivel piezométrico de los acuíferos y, en general, poca documentación sobre el funcionamiento hidrogeológico (Carmona Lara et al., 2017; Clausen, 2014; Domínguez & Carrillo-Rivera, 2007; Kachadourian Marras, Carrillo Rivera, & Llano-Vázquez Prada, 2015).

Así resume Rizo (2017) la ausencia de información científica sobre el agua subterránea: “En México, los datos relativos al volumen de agua subterránea extraído mediante bombeo (ya sea en concesiones o de forma ilegal) y sobre la calidad del agua son deficientes o inexistentes (Medina et al., 1997; García, 2006; Jiménez-Cisneros, 2007; Rivera et al., 2014b; Hernández-Bonilla et al., 2014; Mahlknecht, 2016; Mahlknecht et al., 2017). [...] Habitualmente, la información generada suele limitarse a las conclusiones proporcionadas por la entidad encargada de la redacción de las memorias.

Más aún, Heilman (2013) afirmó que la falta de información científica referente a la gestión del agua en México es un problema bastante más grave que en otros lugares. Dicha autora señaló que en muchos casos se carece de coordinación eficaz, tanto entre los centros de investigación como entre las instituciones de administración pública. Ello hace difícil contrastar la información que generan y realizar diagnósticos a gran escala, como ha quedado patente en distintos trabajos (Jiménez-Cisneros y Marín, 2004; Marín 2007; AMC -CONAGUA, 2010; Oswald-Spring, 2011)."

Al no ser públicos los registros geofísicos y geológicos de perforaciones e instalación de pozos de extracción y por no existir en Jalisco una red de pozos de monitoreo del agua subterránea (Tuinhof, Foster, et al., 2002), no se cuenta con información útil, relevante y representativa para caracterizar y diagnosticar hidrogeológicamente el territorio en estudio (Teixeira, Chaminé, Carvalho, Pérez-Alberti, & Rocha, 2013).

En una recopilación y revisión de información sobre la hidrogeología en la región, Rizo (2017) concluye que: “En general, existen escasas referencias sobre investigación hidrogeológica rigurosa en el área de estudio, a pesar de la importancia que tiene el agua subterránea [...] En ciertas partes, dicho recurso suele ser la principal, y en ocasiones la única, fuente de agua. [...] únicamente se cuenta con resúmenes de los resultados obtenidos.”

El Atlas de la Comisión Nacional del Agua (2009) y los trabajos del INECC (Muñoz et al., 2010) ya confirmaban que los sistemas de flujo subterránea en el territorio en estudio se encuentran bajo una presión importante de deterioro, principalmente por la extracción excesiva de agua para riego agrícola y por la agroindustria de exportación. De acuerdo con SEMARNAT, habría dos razones principales que promueven el uso excesivo de agua subterránea por parte de los agricultores:

1. El alto número de usuarios de agua de riego que la extraen ilegalmente sin concesión, cerca de 42%, según cálculos del entonces INE a partir de la información de 2008 de la Comisión Federal de Electricidad;
2. El sistema de subsidios del gobierno federal, que distorsiona las señales de precios de los que sí están concesionados e incentiva a los usuarios a usar más agua de la necesaria, lo que reduce la rentabilidad para realizar la tecnificación del riego (Muñoz et al., 2010)

2.2.3. Insuficiencia e impacto de la delimitación de “acuíferos administrativos de CONAGUA” como unidades de administración de puntos de extracción

El apropiado monitoreo, entendimiento hidrogeológico y comunicación permitiría una mejor negociación respeto al aprovechamiento, respetando su relación con el resto de los componentes del ambiente (Arévalo & Joel Carrillo Rivera, 2013), minimizando así los posibles efectos negativos por su extracción no regulada y la compensación de impactos o a los afectados ambientales por su evaporación inducida o degradación por uso en fines no prioritarios anti-resilientes al cambio climático (Clausen, 2014). Actualmente, el enfoque dado al estudio del agua subterránea en el territorio nacional pretende cuantificar volúmenes a través del balance hídrico con datos no hidrogeológicos de un banco de agua, sin entender su respuesta ni relación con diversas componentes del ambiente con base en la mejor ciencia e hidrogeología compleja de los sistemas de flujo subterráneo (Carrillo, 2000; Huízar et al., 2004; Peñuela, 2007).

La Ley de Aguas Nacionales (1992) de México (con diversas reformas hasta la más reciente del enero del año 2020) en su Artículo 3 considera que un “acuífero” es: “Cualquier formación geológica o conjunto de formaciones geológicas hidráulicamente conectados entre sí, por las que circulan o se almacenan aguas del subsuelo que pueden ser extraídas para su explotación, uso o aprovechamiento y cuyos límites laterales y verticales se definen convencionalmente para fines de evaluación, manejo y administración de las aguas nacionales del subsuelo”.

Esta definición convencional ha favorecido la definición de acuíferos como poligonales en dos dimensiones como límites administrativos, sin considerar evidencias de la geología del subsuelo, de la hidrogeoquímica o la influencia de las estructuras geológicas sobre el agua subterránea; la existencia de sistemas de flujo superpuestos con distinta características químicas, transmisividad y coeficiente de almacenamiento, la dirección de flujo diferencial de flujos locales o regionales en profundidad: evidencias, datos y factores fundamentales para conocer el caudal que es posible extraer sustentablemente de los materiales saturados existentes y establecer condiciones de equilibrio.¹⁷

La CONAGUA determina anualmente la disponibilidad de recursos hídricos subterráneos a través de “acuíferos administrativos” delimitados por líneas poligonales,

¹⁷ Por ejemplo, Rizo (2017) compara la Directiva Marco Europea del Agua (2000), que define “acuífero” como: una o más capas subterráneas de roca que tienen la suficiente porosidad y permeabilidad para permitir un flujo significativo de aguas subterráneas o la extracción de cantidades significativas.

definidas convencionalmente, en todo el país. Las evidencias e incertidumbre sobre la hidrogeología regional y local no fueron consideradas en esta delimitación (Rizo, 2017).

El estudio de la piezometría, la disposición de los contactos geológicos y otras variables características (recarga, permeabilidad, interconexión, etc.) no fueron consideradas en esta delimitación (Rizo, 2017).

Desde 2001, la CONAGUA publica anualmente, en el Diario Oficial de la Federación (DOF), el marco de referencia por el que se establecen los “acuíferos reconocidos en el territorio mexicano”. Este decreto rige la asignación de concesiones y el otorgamiento o restricción de permisos para la instalación de pozos de extracción.

El “*Manual de procedimientos para la delimitación de acuíferos*” fue publicado por la Subgerencia de Aguas Subterráneas de la CONAGUA (2009b). Como resalta Rizo (2017) este Manual de CONAGUA: “precisa que las delimitaciones administrativas no contemplan las características litológicas o hidrogeológicas del territorio. Según dicho documento, el propósito de los polígonos trazados, antes citados, es cubrir completamente el territorio, al margen de sus propiedades hidrogeológicas.”

Con estos lineamientos para delimitar los acuíferos o polígonos administrativos de México se establecen límites territoriales a unidades de gestión para la ubicación superficial de pozos de extracción, transferencia de derechos de extracción y condiciones de borde respecto al otorgamiento (o negación) de una concesión de aguas subterráneas. Estos son los objetivos que dominan sobre el conocimiento de las características hidrogeológicas de los sistemas de flujo subterráneo para su protección, conservación, restauración o aprovechamiento sustentable y compartido (Clausen, 2014; Rizo, 2017; ONU Habitat, 2018).

Las unidades de gestión del agua subterránea, trazadas por la CONAGUA en el territorio mexicano son conocidas como acuíferos administrativos, y de acuerdo al DOF persiguen delimitar territorialmente zonas de manejo de pozos y bombas, por lo que Rizo (2017) destaca que se establecieron de manera ajustada a otras características, como límites hidrográficos, divisiones municipales o estatales, trazos de las carreteras, etc. Los balances del agua subterránea en los acuíferos administrativos determinados por CONAGUA no se pueden realizar con base en evidencia hidrogeológica y se prestan a manipulación y toma de decisiones discretionales sobre el estado de sobreexplotación, contaminación geogénica o agotamiento del agua en las rocas saturadas subyacentes a la región de estudio (Muñoz et al., 2010).

Una vez que la CONAGUA ha determinado la disponibilidad de agua, se publican los informes, en los cuales se recogen los criterios utilizados para la cuantificación de las aguas subterráneas, “de acuerdo con los estudios técnicos correspondientes y conforme a los lineamientos que considera la Norma Oficial Mexicana NOM-011-CONAGUA-2015”. La normativa aludida establece la metodología a seguir e indica que deberá de realizarse un balance en el que se estime, para definir, sin contar con red de monitoreo instalada con estándares internacionales, la recarga de los acuíferos y, a partir de dicha variable, pueda inferirse el volumen disponible para su aprovechamiento (Rizo 2017)

La literatura internacional especializada es crítica respecto a los procedimientos y lineamientos de CONAGUA para la estimación de recarga, ausencia total de medición, monitoreo de flujo e hidroquímica, y entendimiento general de las aguas subterráneas como recurso común, porque no incorporan evidencia científica hidrogeológica obtenida ni requiere un monitoreo adecuado para alimentar el conocimiento de la condiciones de flujo y la presión antrópica sobre el capital natural (Tuinhof, Foster, et al., 2002), sostiene un marco analítico obsoleto (en Ochoa, 2015) y utiliza conceptos erróneos, datos poco representativos, poco confiables y poco transparentes al discrecionalmente estimar datos para establecer flujo natural del agua en bloques que son administrativos (Carmona Lara et al., 2017; Foster, Tuinhof, Kemper, Garduño, & Nanni, 2002; Kachadourian Marras et al., 2015; Pedrozo Acuña, 2020)

El inicio histórico del modelo de gestión del agua subterránea vigente en México se relaciona por diversos autores con la creación de la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) en 1989 y a partir de la vigencia de la Ley de Aguas Nacionales (LAN) que en 1992, introduce el Registro Público de Derechos del Agua (REPDA).

Se registra que en esas fechas inició el sistema de concesiones privadas de derechos del agua, que se otorgó inicialmente a usuarios ubicados en zonas de veda con base a sus antecedentes de extracción y el reporte de volúmenes de extracción anual. Hasta el año 1999 se otorgaron las concesiones para la extracción del agua subterránea sin criterios hidrogeológicos o de impacto ambiental acumulativo por un período mínimo de 10 años (Reis, 2014). Las zonas de libre alumbramiento funcionaron, hasta 2013, como sitios del territorio donde cualquier ciudadano era libre de perforar un pozo para extracción de agua.

El REPDA “es el encargado de inscribir los derechos de agua según le encomienda la Ley de Aguas Nacionales (LAN) y su reglamento. Aunque la LAN fue promulgada en 1992, no fue sino hasta recientemente que el REPDA llegó a ser una base de datos confiable (Garduño, 2005). El REPDA contiene información básica para entender el uso del agua subterránea en México. En este registro se indica, para cada derecho de agua, el volumen concesionado, la ubicación geográfica, los usos y la profundidad de perforación, entre otros datos. Éstos aportan una idea de la presión que se ejerce sobre los acuíferos en las distintas regiones del país, entendida como una presión de carácter antropogénico o aquella que se genera por los usos del agua en cualquier tipo de actividad humana: agricultura, industria, ganadería, doméstico, entre otras, y no solo por el consumo humano directo.” (Díaz Caravantes, Peña, Cejudo, & Flores, 2013)

Las grandes limitaciones del REPDA se relacionan con la ausencia de información de los grandes volúmenes de extracción desde pozos no registrados y pozos no monitoreados con caudalímetros en línea. El sobre-concesionamiento, la contabilización del mercado informal de agua subterránea y la extracción ilegal (no registrada o volumétricamente mayor a las concesiones); representan números relevantes en el análisis de la presión e impacto en los servicios ecosistémicos del agua subterránea. En el territorio se registra información de perforistas y usuarios privados que indica que numerosas bombas sumergibles operan sin registro, auditoría y extrayendo más del volumen concesionado (Reis, 2014; Kachadourian, 2015). El impacto de esta extracción no regulada es preocupante porque de los cuerpos de agua subterránea se extrae, oficialmente, más de

56% del total del agua para los diferentes usos en el país (Hatch y Carrillo, 2017). De acuerdo con CONAGUA, en Jalisco, en 2016, más de 26 de los 58 acuíferos en los que se divide el territorio del Estado estaban catalogados como sobre-explotados (casi el 45%). En los balances de estos acuíferos se incorporan los datos de los volúmenes de extracción registrados en el REPDA.

En la zona de influencia hidrogeológica de la cuenca de Zapotlán, en Jalisco, la CONAGUA estableció (con criterios sociopolíticos y no hidrogeológicos (Kachadourian, 2015) el límite de al menos dos acuíferos administrativos, en los cuales las concesiones y el volumen concesionado de agua subterránea se han incrementado de manera importante de 2008 a 2020, pero que registran sus últimas mediciones directas del agua en los años 90s, lo cual no representa la realidad de los acuíferos y sus sistemas de flujo.

2.2.4. Balance hídrico (oficial) de los Acuíferos Administrativos en la cuenca

Estimaciones e incertidumbre en el cálculo de la disponibilidad media anual

De acuerdo con CONAGUA (2020): “La Ley de Aguas Nacionales y su Reglamento contemplan que la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) debe publicar en el Diario Oficial de la Federación (DOF) la disponibilidad de las aguas nacionales, por acuífero en el caso de las aguas subterráneas, de acuerdo con los estudios técnicos correspondientes y conforme a los lineamientos que considera la 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”.

El método que establece la NOM-011-CONAGUA-2015 indica que para calcular la disponibilidad de aguas subterráneas deberá de realizarse un balance de las mismas, donde se defina de manera precisa la recarga de los acuíferos, y de ésta deducir los volúmenes comprometidos con otros acuíferos, la demanda de los ecosistemas y los usuarios registrados con derechos vigentes en el Registro Público de Derechos del Agua (REPDA).

Los reportes de consultores de la CONAGUA considerados por SEMARNAT describen que la evaluación histórica de las curvas piezométricas (puntos de igual elevación del nivel estático referido al nivel medio del mar) indican los cambios en las direcciones predominantes de los sistemas locales del flujo subterráneo del agua y los cambios en los gradientes hidráulicos de cada zona geohidrológica generados por la extracción atomizada en miles de pozos. Naturalmente, la dirección del flujo subterráneo local estaba condicionada por gradientes hidráulicos, estructuras geológicas y por la conformación orográfica de cada perfil geohidrológico en las distintas zonas del área de estudio (Muñoz et al., 2010).

La profundidad de los niveles freáticos tiene notables diferencias en cada una de las zonas de la región de estudio, por influencia de las diferencias de altitud, la predominancia de flujos verticales ascendentes (zonas de descarga) en estructuras geológicas y por la conformación del perfil estratigráfico.

Al analizar los niveles piezométricos “estáticos” en la zona de estudio en los años noventa (con bombas sin funcionar por un período relevante de tiempo, para recuperar el nivel de la superficie freática), no se llegó a contar con suficiente cantidad de datos para armar una red de flujo y establecer una dirección principal de zonas con los mayores conos de abatimientos por bombeo, más grandes y frecuentes desde los que se ya se registraban hace 20 años en las inmediaciones de la población de Zapotlán (INEGI, 2000).

La disponibilidad media anual de las aguas nacionales, en su fracción relativa a las aguas subterráneas se determina según la NOM-011-CONAGUA-2015 por medio del método y expresión siguiente:

DISPONIBILIDAD MEDIA ANUAL DE AGUA DEL SUBSUELO EN UN ACUÍFERO	= Recarga total media anual	(-) Descarga natural comprometida	(-) Extracción de aguas subterráneas
--	-----------------------------	-----------------------------------	--------------------------------------

Donde:

DMA = Disponibilidad media anual de agua del subsuelo en un acuífero

R = Recarga total media anual

DNC = Descarga natural comprometida

VEAS = Volumen de extracción de aguas subterráneas

Todas estas variables del álgebra simple no incorporan datos que son medidos, en la práctica se estiman por el consultor contratado en su momento para establecer el “balance hídrico” y luego la disponibilidad oficial de agua subterránea (Carmona Lara et al., 2017). Aunado a lo anterior, se utilizan y extrapolan datos e insumos obtenidos hace más de 20 años, que finalmente arrojan cálculos desactualizados y cuyo apego a la realidad suscita dudas entre los especialistas en la materia.

Advertido lo anterior, se presentan las DMA de los acuíferos administrativos de interés para la cuenca de Zapotlán:

Tabla 4. Disponibilidad media anual de acuíferos administrativos de interés ($hm^3/año$)

ACUÍFERO ADMINISTRATIVO	CLAVE	AÑO	DISPONIBILIDAD MEDIA ANUAL ($hm^3/AÑO$)
Ciudad Guzmán	1406	2020	-26.29
Aguacate	1407	2020	-0.76
Lagunas	1449	2020	9.83

Fuente: DOF 2020 y Registro público de derechos de agua (REPDA) de CONAGUA.

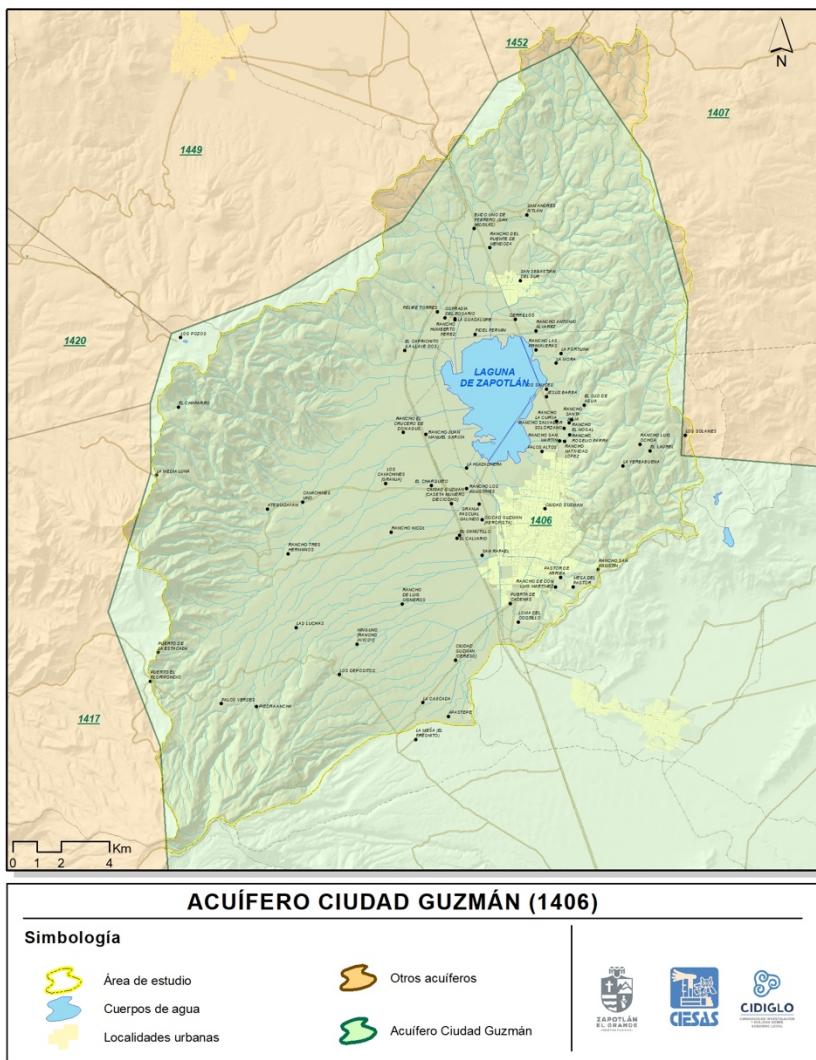
El acuífero Ciudad Guzmán (1406) de CONAGUA

El acuífero Ciudad Guzmán, que es el más significativo en términos de la Cuenca, se localiza en la porción sur del estado de Jalisco, y comprende los municipios de Ciudad Guzmán, Gómez Farias, Zapotiltic, Atenquique, Tuxpan, Tamazula de Gordiano, Tecalotlán, Tonila, Concepción de Buenos Aires y Mazamitla (CONAGUA 2020).

Al norte limita con los acuíferos Quitupan, Valle de Juárez, Tizapán, Aguacate, Unión de Guadalupe, Lagunas y Jiquilpan; al sur con los estados de Colima y Michoacán; al este con los acuíferos Colomos y Barreras y al oeste con el acuífero Autlán. Geográficamente, el acuífero se localiza entre los paralelos $18^{\circ} 54' 33''$ y $20^{\circ} 50' 13''$ de latitud norte y entre los meridianos $102^{\circ} 50' 13''$ y $103^{\circ} 43' 24''$ de longitud oeste del Meridiano de Greenwich. De acuerdo con CONAGUA (2020): “El área del acuífero se encuentra localizada en los límites de las Provincias Eje Neovolcánico (Raisz, 1969), o bien Faja Volcánica Transmexicana (Demant, 1981), y Sierra Madre del Sur, encontrándose la mayor parte del área dentro de la primera, ya que el límite sur y poniente esta constituido por el Volcán de Colima y el Nevado de Colima” (CONAGUA, 2020).

El acuífero –administrativo- queda comprendido dentro de la poligonal que se muestra a continuación, con un acercamiento en razón del área de interés que es la Cuenca Zapotlán.

Ilustración 25 Delimitación del acuífero administrativo 1406 Ciudad Guzmán, Jal.



Fuente: Elaboración propia, con datos de CONAGUA (2020)

En el caso del acuífero Ciudad Guzmán (1406), y con las limitaciones que se han advertido para conocer adecuadamente los sistemas de flujo que lo integran, los datos oficiales hacen ver que el patrón de explotación y consumo de agua actual promueve una sobre explotación del agua subterránea que ha reducido considerablemente su disponibilidad (Ilustración 26)

Ilustración 26 Disponibilidad media anual (DMA) de agua subterránea del acuífero administrativo Ciudad Guzmán.
Calculado de acuerdo con la NOM-011-CNA-2015.



Fuente: Elaboración propia con base en CEA Jalisco (2015), DOF 2015, DOF 2018, DOF 2020.

Censo de aprovechamientos e hidrometría de las captaciones del año 2003

De acuerdo con CONAGUA (2020): “El padrón de usuarios con que cuenta la Subgerencia Técnica de la Regional Lerma- Santiago Pacífico, después de la depuración realizada hasta el mes de agosto del año 2003, de la información generada por el REPDA, dio como resultado 600 aprovechamientos que en conjunto extraen un volumen de 105.6 millones de metros cúbicos anuales.

Para el balance se estima un volumen de extracción anual por pozo con un régimen de operaciones promedio de la zona. Además de los gastos aforados y las hectáreas regadas con una lámina de riego que fluctúa de 0.60 a 1.0 metros para el caso del uso industrial y público urbano se consideró el volumen declarado.

Para el año 2003 la CNA reportaba la existencia de 600 aprovechamientos, de los cuales 442 son de uso agrícola, 116 son de uso público urbano y 17 son para la actividad industrial y servicios, y el resto son destinados para otros usos (múltiple, recreativo y doméstico), de los cuales se extrae un volumen de 105.6 Mm³/año.

Del volumen extraído 72.6 Mm³ son destinados para el uso agrícola, 26.5 Mm³ para el uso público urbano, 5.9 Mm³ para la actividad industrial y servicios, y el resto es destinado para otros usos.”

Se presentan los resultados del análisis preliminar de la ubicación territorial de los puntos de uso de las concesiones de agua subterránea según el REPDA y de la localización de las mayores concesiones por volumen anual de la agroindustria en las microcuencas que drenan desde del Nevado de Colima.

2.2.5. Tendencias observadas a partir del análisis hidrológico

En términos generales un 75% del agua consumida se utiliza en producción agrícola, un 10-15% en uso doméstico y un 5% en la industria. En este sentido y tomando en cuenta los sectores productivos emergentes y predominantes en la Cuenca se debe enfatizar particularmente en el análisis de la demanda de agua por parte del sector agrícola, recientemente dominado por productores de cultivos no tradicionales como el aguacate, y los frutos rojos o *berries*.

El agua subterránea de sistemas con decenas a cientos de años de flujo entre las rocas del subsuelo se está perdiendo por evapotranspiración inducida, se exporta como agua virtual o se descarga en la cuenca como aguas residuales enriquecidas en agroquímicos y nutrientes (Muthanna, Viklander, Blecken, & Thorolfsson, 2007).

De acuerdo con la UNESCO (2012), la extracción de agua subterránea se ha triplicado en los últimos 50 años y continuará aumentando, lo que provocará disminución en su accesibilidad, contaminación, subsidencia y la degradación ambiental asociada.

Estos escenarios, conflictivos y críticos en la cuenca de Zapotlán ya se han vuelto comunes en todo el mundo (FAO, 2016). Según la UNESCO, cerca de 72% del volumen de la extracción de agua subterránea en todo el mundo se registra en un grupo de 10 países y México es uno de los que más consumen y tienden a depender de la retención en el ciclo subterráneo del agua ante la presión adicional del cambio climático (CONAGUA, 2018), lo que requiere reformular el marco de gobernanza del agua subterránea ante el aumento de las asimetrías en consumo y en las desigualdades de acceso, que atentan contra el derecho humano al agua y el cumplimiento del Objetivo 6 de Desarrollo Sustentable de la ONU (Koop & van Leeuwen, 2017; Puri, Aureli, & Stephan, 2008; UNESCO, 2016).

No renovabilidad del agua subterránea en la región, irregularidades y subsidios perversos

Hasta hace poco tiempo se tenía la idea falsa de que el agua subterránea es un recurso natural renovable ilimitado (Carabias, 2017) pero al incrementarse su extracción (y minería) han surgido nuevos retos, efectos hidrogeológicos inesperados y la necesidad de diseñar arreglos socioeconómicos innovadores de distribución, el uso eficiente y la sustentabilidad de este capital natural “intangible” (Foster et al., 2002). La Comisión Nacional del Agua (CONAGUA, 2011) reportaba que hasta el 2009, el 63% del agua utilizada en el país para uso consumtivo provenía de fuentes superficiales y el 37% restante de fuentes subterráneas. Sin embargo, estas cifras no reflejan la dependencia casi total del agua subterránea en el territorio de la cuenca analizado, cuyas características climáticas y geomorfológicas limitan la presencia de agua pluvial o su

escorrentía permanente (Hernández Juárez, Martínez Rivera, Peñuela-Arévalo, & Rivera-Reyes, 2019).¹⁸

Tampoco están representadas en estos porcentajes los numerosos pozos con volumen de extracción no registrados en CONAGUA, las nuevas demandas de abastecimiento urbano impulsadas por el crecimiento demográfico y la extracción de agua por nuevos actores económicos, que en conjunto han superado la capacidad natural que suministraba el agua superficial antaño asequible a través de pequeños bordos y presas (Daniell & Barreteau, 2014; Muñoz et al., 2010)

Aunado a ello, y de acuerdo a Muñoz et al. (2019), existen dos distorsiones importantes sobre la señal de precios: “La primera es que, de acuerdo con la Ley Federal de Derechos, los usuarios agrícolas no tienen obligación de pagar por el agua concesionada.

La segunda es que a pesar de que sí deben pagar por la electricidad que usan para extraer el agua del subsuelo, la tarifa para bombeo agrícola tiene un subsidio de hasta 86% del costo medio de generación de electricidad (Muñoz et al., 2010).

Estos autores destacan que, además de la trayectoria insostenible que sigue la agricultura de riego con agua subterránea en México, el bombeo continuo de extracción (o “minería”) del agua subterránea a las tasas dominantes en el territorio en estudio, genera fuertes impactos ambientales acumulativos en componentes valiosos del paisaje (Muñoz et al., 2010):

“Entre los más graves se encuentran: el incremento de la vulnerabilidad a sequías en zonas semiáridas, por la reducción de caudales y su temporalidad; la intrusión salina en los acuíferos, y el deterioro de los ecosistemas semiacuáticos o humedales [...]”

Se ha visto que el bombeo continuo de agua subterránea afecta de manera irreversible la descarga natural de agua que fluye hacia los ecosistemas acuáticos y las zonas riparias, incluso aquellas que se encuentran a gran distancia de las zonas de extracción. Existen varios casos en México en los que la falta de suministro de agua dulce que naturalmente provenía de aguas subterráneas pone en riesgo ecosistemas prioritarios.

A partir de las investigaciones realizadas por el entonces Instituto Nacional de Ecología (hoy Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático, INECC) desde 2005 sobre los impactos ambientales de este problema, incluso se creó un grupo de trabajo intersecretarial en 2008 para pensar en soluciones que den sustentabilidad a la explotación. [...] y trabajar en dos frentes: reducir la distorsión del precio de la extracción de agua para uso agrícola y reducir la extracción ilegal, asegurando el cumplimiento de la ley.

¹⁸ Existen diversos ejemplos en México donde el aprovechamiento del agua subterránea supera por mucho al del agua superficial, en especial en áreas localizadas en la porción central- norte y norte del territorio nacional. Aparte del caso notable de la Ciudad de México, destaca la ciudad de San Luis Potosí (SLP), donde un 92% del total del agua utilizada para su abastecimiento proviene de fuentes subterráneas y un 8% es de origen superficial (Contreras y Galindo, 2008); o por ejemplo el estado de Aguascalientes donde un 72% del agua que se consume proviene del subsuelo (Desde la red, 2011).

Reducir la distorsión en precios requiere desacoplar el subsidio a la tarifa eléctrica (la tarifa 09), de modo que se mantenga el apoyo económico al agricultor y se incentive el ahorro de agua..." (Muñoz et al., 2010).

El desconocimiento de la ubicación, caudales de extracción y diseño de los pozos de extracción, el bajo impacto relativo de cada una de las nuevas perforaciones y bombas sumergibles (no reguladas) en los agronegocios de exportación, la extracción privada - con electricidad de bombeo del agua subterránea subsidiada, atomizada y a costo marginal (mercado informal), es una de las mayores limitantes para establecer sistemas de conservación de fuentes de agua para consumo humano seguro (Scott, 2013), de reutilización del agua tratada en procesos que no requieren alta calidad de agua (Hanjra, Blackwell, Carr, Zhang, & Jackson, 2012), el establecimiento de parámetros de calidad por uso basados en riesgo a la salud (Hanjra et al., 2012) y con un enfoque de planeación territorial sensible a la crisis local del agua subterránea (Wiegant & Van Steenbergen, 2017).

Indirectamente, la mayor parte de la población en la cuenca estaría consumiendo diariamente agua subterránea sin tratamiento certificable de purificación o potabilización. Tanto el sistema de conducción entubado, las "pipas" y plantas locales de llenado de garrafones son abastecidas directamente desde bombas sumergibles instaladas en pozos ademados y explotados sin criterios de protección de la contaminación cruzada entre estratos saturados, contaminados por la infiltración desde fuentes no puntuales, fuentes puntuales agroindustriales y urbanas; y por el flujo vertical inducido por los conos de abatimiento del bombeo en acuíferos superpuestos con afectación antropogénica o hidrotermal; condiciones del agua subterránea que no han sido incorporadas en la planeación territorial histórica, en la evaluación de impactos de proyectos y la planeación urbana y sectorial del agua, a pesar de su valor estratégico (Domínguez & Carrillo-Rivera, 2007; Gober et al., 2013; Lavoie, Joerin, Vansnick, & Rodriguez, 2015).

La extracción intensiva del agua subterránea comienza a generar asentamientos diferenciales y fracturamiento en zonas urbanas y periurbanas; lo cual incrementa la exposición a riesgos geológico-ambientales en una zona de alta vulnerabilidad sísmica (Brunori et al., 2015).

Proteger manantiales y preservar los sistemas de flujo que los alimentan

En la región de la cuenca de Zapotlán existen una gran variedad de manantiales que han sido afectados y que requieren ser protegidos, por ser soporte de la biodiversidad en zonas de bosque y para que la población y generaciones futuras puedan beneficiarse de los múltiples servicios ecosistémicos culturales y de provisión que provee el afloramiento natural del agua subterránea. Por ser áreas de descarga de los sistemas de flujo, se proponen requiere conocer y entender la jerarquía del flujo al que pertenecen y el comportamiento de éste en el ambiente, para así establecer medidas de protección y mejor aprovechamiento de su agua (Carmona Lara et al. , 2017). Los principios en los que se propone su conservación y regulación deberían incluir la mitigación de efectos acumulativos de su captación y aprovechamiento privado, como también los impactos de la extracción intensiva en pozos que afectan su jerarquía de flujo. La valoración de los

servicios ecosistémicos de los manantiales, su inclusión en las evaluaciones de impacto y la regulación de su protección deberían basarse en su caudal; la calidad -incluyendo sus propiedades terapéuticas-; su temperatura; su disfrute, valor cultural, simbólico y religioso, así como los aspectos ambientales, el soporte de biodiversidad vegetal, la función de abrevadero para la fauna y los vinculados con otros beneficios ecosistémicos y sociales .

Los sistemas de flujo de agua subterránea explotados para consumo humano estarían siendo contaminados desde superficie por fuentes puntuales antropogénicas (Díaz Caravantes, Peña, Cejudo, & Flores, 2013) como infiltraciones industriales, tanques enterrados, basurales, cañerías de aguas residuales en mal estado; por ascenso inducido por conos artificiales de abatimiento y por la contaminación geogénica inducida por flujos verticales ascendentes y la reducción de la carga hidráulica derivada del descenso acelerado de niveles piezométricos (Hernández-Antonio, Mahlknecht, Mora, Torres-Martínez, & Ramírez-Orozco, 2017).

Como riesgo acumulativo por exposición al agua superficial contaminada y la infiltración subsuperficial de químicos de riesgo desde fuentes puntuales y no puntuales, se puede estar incrementando la afectación geogénica del agua subterránea por flujo ascendentes con metaloides (arsénico principalmente), flúor, selenio y otros elementos de origen natural (Hurtado-Jiménez & Gardea-Torresdey, 2007).

Si se considera la información oficial de CONAGUA con base en los “acuíferos administrativos” hoy vigentes, de los cuales depende la región de estudio en alrededor de un 98%, estos se encuentran sobreexplotados.

Esta condición de sobreexplotación y descenso del nivel piezométrico, combinada con pozos ademados desde poca profundidad, provoca que las bombas sumergibles extraigan mezclas de agua de flujos más antiguos con problemas de contaminantes de origen natural y agua con contaminantes antropogénicos tales como compuestos orgánicos persistentes, pesticidas y compuestos de nitrógeno con potencial toxicidad crónica. Esta contaminación cruzada entre flujos en la vertical, estaría inducida por deficientes diseños de pozos de extracción, el sobre bombeo, la alteración de sistemas de flujo locales por conos de abatimiento y la explotación (minería) no regulada y subsidiada del agua subterránea (Díaz Caravantes, et al., 2013; Clausen, 2018).

La extracción desde pozos cada vez más profundos de aguas muy antiguas de los sistemas de flujo con más tiempo de conducción lenta a través de las rocas de la región – a veces llamadas “aguas subterráneas fósiles” - no es sostenible, debido a que no se trata de un recurso renovable (UNEP, 2019).

El uso sostenible de las aguas subterráneas es una estrategia de adaptación ante los efectos adversos del cambio climático si se diseñan sistemas de gestión adecuados que limiten la sobreexplotación y el agotamiento, salvaguardando al mismo tiempo la dependencia humana (mayoritariamente la seguridad alimentaria) y la dependencia del agua subterránea por parte de los ecosistemas (Scott, 2013), y sin duda alguna en alternativas que abonen a lo anterior vale la pena invertir.

Enfatizar en la protección del agua subterránea es un asunto clave para la viabilidad de la región de estudio actualmente y a futuro, como lo enfatizan diversas organizaciones internacionales como la UNESCO, el Programa de Naciones Unidas para el Ambiente (PNUMA), la International Hydropower Association (IHA, Asociación Internacional de Hidroenergía) y el reciente modelo de agencias locales de agua subterránea de California (Clausen, 2018).

De forma extraordinaria, el estado de California, aprobó en 2015 la “Ley de Gestión Sustentable del Agua Subterránea” (*Sustainable Groundwater Management Act*), como consecuencia de los impactos negativos económicos y sociales que se registraron como producto de las últimas fuertes sequías que azotaron a dicho Estado por 5 años, de grandes presiones y conflictos urbano-rurales. Esta Ley manda, por ejemplo, la creación de “Agencias y Programas de Sustentabilidad del Agua Subterránea” en cada uno de sus condados, con la finalidad de gestionar integralmente el subuelo y el agua, entre otros objetivos (Kiparsky et al., 2016). En este sentido, desde la cuenca Zapotlán se podría y debería incidir ante las instancias federales correspondientes para un mejor conocimiento, regulación y gestión de las aguas subterráneas.

Herramientas de gestión del agua y del territorio que no han considerado las interacciones superficial y subterránea

En la región, la gestión de los recursos hídricos se ha centrado en las aguas superficiales y poco en las aguas atmosféricas y subterráneas, como si fueran sistemas separados, sin interacción, pero las políticas y prácticas de gestión efectivas deben construirse sobre una base que reconozca que las aguas superficiales y subterráneas son simplemente dos manifestaciones de un único recurso integrado (Winter, Harvey, Franke, & Alley, 1998).

A medida que avanzan los cambios en el territorio y las presiones sobre los bienes y servicios ambientales del agua, se fue haciendo evidente que el uso, modificación o contaminación de cualquiera de estas partes del ciclo, afecta la cantidad y calidad del otro. Casi todas las características de las aguas superficiales en la cuenca (arroyos, lagunas, humedales y manantiales) están relacionadas con el agua hiporreica y subterránea. Estas interacciones se dan de muchas formas. Como resultado, la extracción de agua de los arroyos puede agotar el agua subterránea o, por el contrario, el bombeo de agua subterránea puede limitar el agua en los arroyos, lagos o humedales. La contaminación del agua superficial puede causar la degradación de la calidad del agua subterránea y, a la inversa, la contaminación del agua subterránea puede degradar el agua superficial (Cabello, Hernández-Mora, Serrat-Capdevila, Del Moral, & Curley, 2017).

Por lo tanto, la gestión eficaz de el territorio y el agua requiere un monitoreo local multisectorial, orientado a una comprensión clara de los vínculos entre las aguas subterráneas, ecosistemas y las aguas superficiales, y a construir una base científica firme para acordar entre distintos niveles de gobierno las políticas que ríjan la gestión y protección de acuíferos y cuencas (Caicedo, 2011)

Regulación ausente. Poca transparencia de ensayos y estudios privados

El desconocimiento del estado, presiones y cambios en el agua subterránea en tiempos de cambio climático es neurálgico. Al no ser públicos por regulación los registros geofísicos y geológicos de perforaciones e instalación de pozos de extracción (Lapham, Wilde, & Koterba, 1997), y al no existir en el sur de Jalisco una red de pozos de monitoreo del agua subterránea adecuada (Tuinhof, Foster, et al., 2002) y un programa de medición y muestreo periódico confiable (Cunningham & Schalk, 2011); no se cuenta con la información mínima, útil, relevante y representativa para elaborar mapas (Teixeira et al., 2013), caracterizar y diagnosticar hidrogeológicamente el territorio en estudio (Devlin & Sophocleous, 2005; Hernández-Antonio et al., 2015; Kachadourian Marras et al., 2015; Kourgialas, Karatzas, Dokou, & Kokorogiannis, 2018; Peñuela & Carrillo, 2013).

Los conflictos por el agua serán síntoma de una crisis de gobernanza territorial

La degradación, conflictos y problemas del agua derivan en gran parte de las modalidades de gestión y de manejo; incluyendo las relaciones entre los niveles locales, estatales, nacionales, regionales e internacionales, en un marco de gobernanza ambiental .

En el territorio y el agua de la cuenca de Zapotlán convergen una multiplicidad de actores, intereses y perspectivas que deben abordarse frente a los desafíos de la degradación del agua y de sus servicios ecosistémicos (MEA, 2005). Se ha publicado mucho sobre la perspectiva antropocentrista dominante, donde los problemas del agua son relacionados principalmente con la escasez para consumo humano, con el servicio de provisión ecosistémico, pero los impactos de una gestión compartimentada del territorio, la energía, el agua superficial y el agua subterránea; afectan el bienestar y los derechos de la población (Koschke, Fürst, Frank, & Makeschin, 2012; Tellez Foster et al., 2018), y los cambios en el agua afectan a su vez a los ecosistemas, a la biodiversidad y al bienestar de la población (MEA, 2005).

La degradación del agua subterránea y su carácter político

Desde esta perspectiva, los problemas del agua tienen un carácter político no sólo en relación con lo que se quiere privilegiar, sino en cuanto a que la lucha por el acceso y distribución del agua evidencia intentos por insertar el agua al mercado, privatizando su acceso y distribución (OCDE, 2015), acrecentando la huella hídrica y las externalidades de la contaminación, la evaporación inducida y del agua virtual de exportación (Vázquez del Mercado Arribas & Lambarri Beléndez, 2017).

Desde fines del siglo XX, académicos, ONGs y organizaciones internacionales están documentado una tendencia incremental de conflictos y disputas violentas por el agua subterránea en Norteamérica y en México (FAO, 2016; Kachadourian Marras et al., 2015; Moench et al., 2003; Pérez-Villarreal, Ávila-Olivera, & Israde-Alcántara, 2018; Silva & Manzione, 2021; UN-Water, 2012; Vázquez del Mercado Arribas & Lambarri Beléndez, 2017) Con enfoque en casos locales, como la región sur de Jalisco, Carrillo-Rivera, J., Peñuela-Arévalo, L. A., Huizar Álvarez, R., Cardona Benavídez, A., Ortega Guerrero, M.

A., Vallejo Barba, J., & Hatch Kuri, G. (2016) destacan la relación entre conocimiento obsoleto, discursos dominante, conflictos y pobre gobernanza del agua subterránea:

“Los autores encuentran que la falta de claridad que caracteriza a la administración del agua subterránea en el país pareciera tener algo de intencional. Sumado al profundo desconocimiento que prevalece en todos los ámbitos sociales y académicos acerca de la naturaleza y comportamiento del agua subterránea, todos los días aparecen reportes de mal manejo de obras hidráulicas, mientras que la alarmante disminución del suministro de agua a las ciudades se atribuye a la escasez del agua. Es imperativo restablecer la congruencia perdida entre desarrollo económico y vocación del terreno, especialmente en lo que se refiere a la disponibilidad y preservación del agua subterránea. Es falso que los conflictos por el agua subterránea provengan de su escasez, cuando lo que está haciendo falta es una gestión sustentable” (Carrillo-Rivera et al., 2016).

Modelos de gestión obsoletos para la relevancia del recurso

En este contexto, se destaca la **necesidad y prioridad de establecer nuevos modelos de gestión y gobernanza del agua subterránea en la región** (Carmona Lara et al., 2017; Muñoz et al., 2010; Peñuela & Carrillo, 2013), modelos que permitan controlar causales del deterioro como los numerosos pozos de extracción no registrados, extracción para usos suntuarios o no prioritarios, las nuevas demandas de abastecimiento urbano impulsadas por el crecimiento demográfico y la extracción de agua por nuevos actores económicos como la agroindustria de exportación que, en conjunto, han superado la capacidad natural de aprovisionamiento que suministraba el agua superficial antaño asequible a través de pequeños bordos y presas (Daniell & Barreteau, 2014; Muñoz et al., 2010).

Los sistemas de flujo de aguas subterráneas en la valoración de la naturaleza, de las contribuciones de los ecosistemas al bienestar y al derecho humano al agua

Destacan Carmona Lara et al. (2017) que: “Los sistemas de flujo contienen la riqueza hídrica del país, que requiere ser preservada para que cumpla con sus funciones ecosistémicas, su aportación en las medidas tendientes a mitigar los efectos del cambio climático y la atención a las sequías, así como para garantizar el derecho humano a disfrutar del ambiente, a la salud, al de acceso al agua en cantidad y calidad para una vida digna de las presentes y futuras generaciones de mexicanos.”

Los mismos autores proponen esquemas regulatorios y de gestión del agua para los cuales “los sistemas de flujo del agua subterránea en México sean el eje de control de la extracción, la preservación, protección y restauración de los ecosistemas y del ciclo hidrológico, así como el reconocimiento de su capacidad de brindar servicios ambientales” (Carmona Lara et al. , 2017).

Desconocimiento como causa del acaparamiento y deterioro del agua subterránea: ¿es intencional la ausencia de monitoreo hidrogeológico?

El agua subterránea es un recurso estratégico en la región, pero oculto e imperceptible y, en contraste con el agua superficial, los procesos de cambio en su cantidad y calidad frecuentemente solían ser lentos y ocurrían en el subsuelo del territorio a profundidades variables y en extensiones geográficas amplias (Sahuquillo, Custodio, & M, 2005).

Como lo destacan Tuinhof, Foster, et al. (2002) estos cambios no pueden ser determinados sólo con imágenes satelitales, una campaña geofísica, muestreos superficiales o simplemente con un recorrido breve de campo, por lo que es necesario utilizar redes de monitoreo e interpretar científicamente los datos obtenidos.

La recolección sistemática de los datos que registran las <<variaciones en el tiempo>> de variables hidrogeológicas relevantes es lo que generalmente se considera como el <<monitoreo del agua subterránea>>. El monitoreo de la respuesta de un acuífero y de sus tendencias de calidad son básicos para lograr una gestión eficaz del agua subterránea y cumplir con la principal meta de gestión, o sea, controlar los impactos de la extracción del agua subterránea y de las descargas de aguas residuales, lixiviados, agroquímicos u otros contaminantes (Muthanna, Viklander, Blecken, & Thorolfsson, 2007; Tuinhof, Foster, et al., 2002).

Beneficios estratégicos del monitoreo del agua subterránea con base en la mejor ciencia

Para evaluar aspectos importantes del agua subterránea (incluyendo la estimación de la recarga) y poder implementar soluciones de gestión se requieren datos hidrogeológicos, tanto de la condición básica inicial como de las variaciones en el tiempo. El monitoreo involucra la recolección, análisis y almacenamiento de un número determinado de datos en forma regular, conforme a circunstancias y objetivos específicos (Tuinhof, Foster, et al., 2002).¹⁹

¹⁹ El tipo y volumen de datos requeridos puede variar considerablemente en función del momento y del aspecto de gestión del agua a fortalecer, y de los recursos financieros que puedan invertirse en el conocimiento y protección del recurso estratégico invisible.

Ilustración 27 Tipos de datos que se requieren para iniciar la gestión sostenible del agua subterránea

TIPO DE DATOS	INFORMACIÓN BÁSICA INICIAL (de archivos)	DATOS VARIANTES EN EL TIEMPO (de estaciones de campo)
Ocurrencia del Agua Subterránea y Propiedades del Acuífero	<ul style="list-style-type: none"> registros de pozos de producción (perfiles hidrogeológicos, niveles y calidad instantáneos del agua subterránea) pruebas de bombeo en pozos y acuífero 	<ul style="list-style-type: none"> monitoreo del nivel del agua subterránea monitoreo de la calidad del agua
Uso del Agua Subterránea	<ul style="list-style-type: none"> instalaciones de bombeo de pozos de producción inventarios de los usos del agua registros y pronósticos de población consumo de energía para riego 	<ul style="list-style-type: none"> monitoreo de la extracción de pozos de producción (directo o indirecto) variaciones del nivel del agua subterránea en los pozos
Información de Apoyo	<ul style="list-style-type: none"> datos climáticos inventarios de uso del suelo mapas y secciones geológicas 	<ul style="list-style-type: none"> medición del flujo en los ríos observaciones meteorológicas levantamientos con satélite del uso del suelo

Fuente: Tuinhof, et al, 2002

Las perforaciones y los pozos como puntos fijos y representativos para la generación de información y datos

En el sur de Jalisco no se ha instalado una red de pozos de monitoreo del recurso estratégico agua subterránea y de los servicios ecosistémicos relacionados a su flujo y descarga.

La información sobre el agua subterránea puede obtenerse durante la perforación y desarrollo de pozos de extracción y mediante el uso de pozos de monitoreo: dos acciones y dos tipos básicos de pozos de los que se obtiene la información fundamental para cualquier proyecto de investigación y monitoreo de agua subterránea (Tuinhof, Dumars, et al., 2002). Estos pozos constituyen perforaciones o puntos clave para observar a los distintos niveles saturados con agua subterránea, y sirven para efectuar mediciones de presión y tomar muestras isotópicas, físico químicas o de calidad del agua subterránea. Para las agencias de agua y organismos operadores, estas mediciones representan información relevante para diagnosticar la compleja evolución del sistema acuífero.

Esta información es pública y transparente en la UE y en distintos países del continente americano, en los que la información debe ser generada con técnicas, lineamientos o estándares específicos auditables²⁰ y compartida por laboratorios, las empresas de consultoría, perforación, geofísica o mantenimiento de pozos (Lapham et al., 1997; Sahuquillo et al., 2005).²¹

²⁰ Estándares ISO, ASTM; NOMs, lineamientos Estatales, etc.

²¹ En la agencia de protección ambiental federal (EPA) y en distintos Estados de los EUA, se ha fortalecido una división de Agua Subterránea y Agua Potable (Groundwater and drinking water), que compila información, capacita y comunica sobre hidrogeología, pozos, protección de las fuentes, calidad del agua y el estado de salud del agua subterránea, la fuente principal del agua bebida y consumida en hogares <https://www.epa.gov/ground-water-and-drinking-water>

Pozos de extracción (o producción) adaptados para monitoreo.

Al perforarse el terreno para instalar un pozo de extracción de agua (o producción), se obtienen datos *in situ* sobre la geología, sedimentos y el agua subterránea que no pueden volverse a conseguir, y en particular en su variación y disposición con la profundidad. Los datos adquiridos durante la perforación de sedimentos o rocas (perfil geofísico, geológico, zonas saturadas colgadas, etc.), el desarrollo del pozo y la prueba inicial de bombeo constituyen la información inicial básica de referencia sobre la cantidad, nivel y calidad del agua subterránea, además de ser datos valiosos para determinar el potencial de extracción del pozo .

- Esta información inicial es crítica y debería ser de registro público para poder construir correlaciones tridimensionales de los datos del subsuelo, del diseño de pozos, de las propiedades hidráulicas básicas y avanzar hacia estimaciones realistas de lo que sucede con el agua en el subsuelo (Lapham et al., 1997).
- Normalmente, es más difícil interpretar datos obtenidos de pozos cuando ya están en operación, ya que los niveles del agua subterránea se ven afectados por el ciclo de abatimiento-recuperación, y la calidad del agua en la muestra bombeada refleja la mezcla variable de aguas que provienen de un amplio rango de profundidades del acuífero (Tuinhof, Foster, et al., 2002) y de distintos sistemas de flujo, con diferentes tiempos de residencia, temperatura y características isotópicas, e hidrogeoquímicas (Pérez-Villarreal et al., 2018).

Red de pozos de Monitoreo (o de Observación).

Estos pozos constituyen estaciones dedicadas exclusivamente al monitoreo, y se ubican y diseñan para detectar cambios potenciales del flujo y de la calidad del agua subterránea a distintas profundidades, en intervalos verticales discretos, representativos de estratos, fracturas, contactos, etc.

Sus parámetros de diseño incluyen: tipo de material de instalación, tamaño de cañería, la profundidad y espesor de cañería ranurada o rejilla de entrada del agua, la cota de los puntos de medición desde boca de pozo, la aislación superficial y del espacio anular, la frecuencia de las mediciones (en caso de no ser continuas) y los parámetros de calidad seleccionados para ser monitoreados (Cunningham & Schalk, 2011; Tuinhof, Foster, et al., 2002).

Con objeto de asegurar que no se promoverá la contaminación cruzada, que no se miden promedios de niveles piezométricos de estratos saturados superpuestos, contrarrestar posibles variaciones en la carga hidráulica y/o la calidad del agua en espesores discretos, se recomienda utilizar piezómetros anidados o grupos de pozos contiguos. A costos iguales, los piezómetros anidados son más efectivos que los grupos de pozos contiguos, pero solamente se deben usar si se pueden sellar en forma adecuada para evitar el flujo vertical entre sus cañerías ranuradas o rejillas de entrada de agua.

Ilustración 28 Reglas básicas para lograr programas de monitoreo del agua subterránea exitosos

DISEÑO DE LA RED	<ul style="list-style-type: none"> • el programa debe adaptarse a objetivos previamente definidos • debe entenderse con antelación el sistema del flujo de agua subterránea • los sitios de muestreo y los parámetros por monitorear son seleccionados de acuerdo con los objetivos
IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA	<ul style="list-style-type: none"> • deben utilizarse pozos de observación y extracción apropiadamente construidos • el equipo de campo y las instalaciones de laboratorio debe ser apropiadas a los objetivos • debe establecerse un protocolo completo de operación así como un sistema de manejo de datos • debe integrarse el monitoreo del agua subterránea y el del agua superficial cuando proceda
INTERPRETACIÓN DE LOS DATOS	<ul style="list-style-type: none"> • debe verificarse regularmente la calidad de los datos mediante controles internos y externos • a los tomadores de decisiones deben proporcionárseles conjuntos de datos ya interpretados y que sean relevantes para la gestión • el programa debe ser evaluado y revisado periódicamente

Fuente: Tuinhof, et al, (2006), adaptado de UN-Task Force on Groundwater Monitoring & Assessment (2000)

2.3. Análisis de infraestructura de agua

Este apartado identifica y analiza el estado que guarda la infraestructura municipal para el abastecimiento, distribución, almacenamiento, conducción de drenaje y aguas pluviales y tratamiento de aguas residuales.

En el ámbito local, este Plan Maestro se centra en los municipios de Gómez Farías y Zapotlán el Grande que cuentan con infraestructura de consideración en la Cuenca, que ni San Gabriel ni los demás municipios con territorio en la cuenca poseen. De manera particular, las diferencias en planeación, gestión y operación de los sistemas de agua de los dos municipios primeramente mencionados son muy contrastantes, como también lo es la calidad de la información con la que se cuenta.

En el caso concreto de Gómez Farías, cabe mencionar la dificultad con la que se están levantando los planos de infraestructura de abastecimiento, distribución, drenaje y alcantarillado municipal. Como sucede con frecuencia la documentación se pierde en las transiciones de administraciones municipales, que afectan de manera directa dado que los servicios relacionados con el agua los presta directamente el gobierno municipal a través del departamento de agua potable y alcantarillado. A pesar de esta situación, se han podido rescatar diversos datos de interés, tales como características de la red que se compone de 7 km de colectores, 8.5 km de subcolectores y 14.5 km de atarjea, en diámetros que varían entre las 6 y las 14 pulgadas de diámetro; y con una cobertura del servicio de alcantarillado del 70% (Gobierno de Zapotlán et. al 2021).

Por lo que respecta a Zapotlán el Grande, el Sistema de Agua Potable de Zapotlán (SAPAZA) presta, como organismo operador público descentralizado municipal, el servicio de agua potable, alcantarillado y saneamiento de aguas residuales tanto a la cabecera municipal como a tres comunidades, El Fresnito, Atequizayán y Los Depósitos.

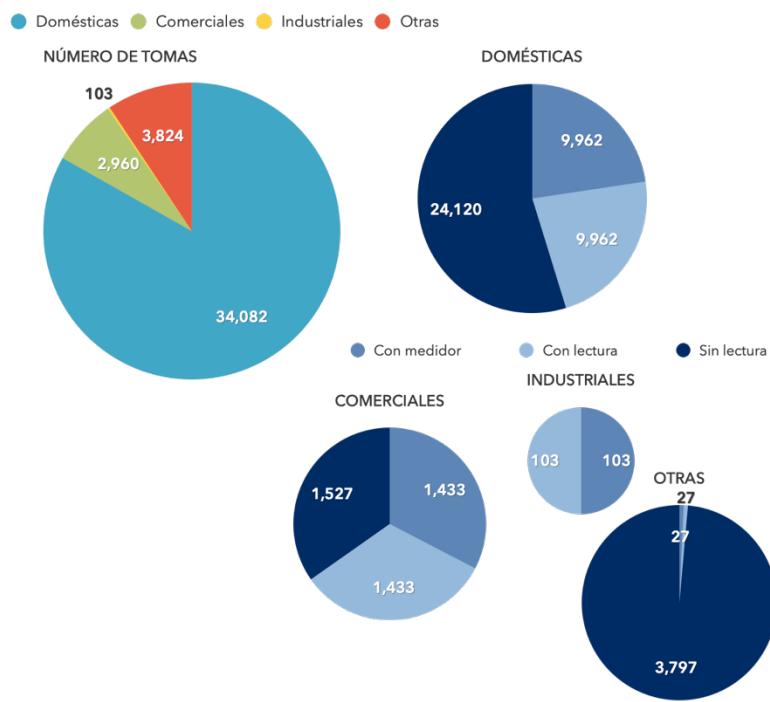
En cuanto a coberturas, según SAPAZA (2016) el índice de cobertura por servicio de agua era de 96%. En comparación, el porcentaje de cobertura del servicio de alcantarillado se encuentra 10 puntos porcentuales por debajo respecto a la cobertura de servicio de agua, con un 86%.

En contraste, en 2020 SAPAZA reporta contar con 31 captaciones de agua, de las cuales 19 se encontraban activas para extraer y desinfectar un volumen total de 13,955,872 m³/año. Esa cifra representa una tasa de extracción de 38,235 m³/día. Si se toma en cuenta que en 2020 en Zapotlán existía una población de 115,141 habitantes (INEGI, 2020) y considerando una tasa de consumo diario de agua per cápita de 200 litros, esa población representaría un consumo de agua de 23,028 m³/día. Esta última cifra representa el 60% del total extraído, con lo cual un 40% puede estarse consumiendo en otras actividades y/o muy probablemente perderse en fugas, en concordancia con el porcentaje promedio de este tipo de pérdidas en el territorio nacional.

Resulta destacable que el propio SAPAZA (2016) reconoce el bajo valor de la eficiencia física del 45.21%, provocado principalmente por la falta de control y cuantificación de volúmenes donde la cobertura de macro medición es de solo del 52%.

En 2020 SAPAZA contaba con 17 tanques de almacenamiento de agua con capacidad para 13,556,000 metros cúbicos. El número total de tomas era 40,769 y existían 11,525 micromedidores instalados. Del total de tomas, el 83.6% correspondieron a tomas domésticas, un 7.2 % a comerciales, un 9.3% clasificadas como otras y un 0.3% correspondieron a tomas industriales. La distribución de este número de tomas y cobertura de medición se muestran en la Ilustración 29.

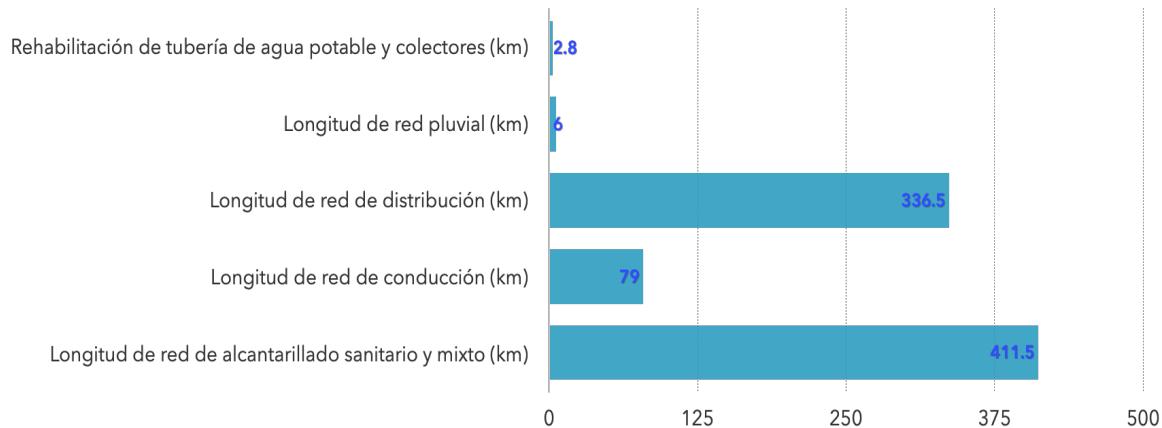
Ilustración 29. Inventario de número de tomas y cobertura de medición por clasificación (SAPAZA, 2020)



Fuente: Elaboración propia con información de SAPAZA.

En 2020, SAPAZA reportó que anualmente instalaba 781 nuevas tomas de agua y un número igual de conexiones a la red de drenaje. La longitud de diversas redes con las que contó SAPAZA en 2020 se especifican en la Ilustración 30.

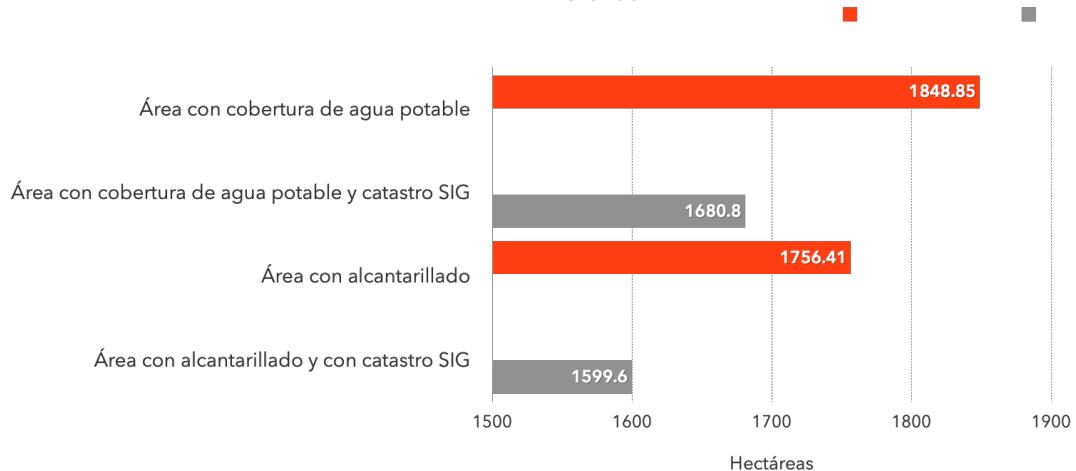
Ilustración 30. Infraestructura de conducción y distribución SAPAZA (2020)



Fuente: Elaboración propia con información de SAPAZA.

En 2020 el área de cobertura del servicio de agua de SAPAZA fue de 1848.9 hectáreas, mientras que el área con cobertura de alcantarillado fue de 1756.4 hectáreas (SAPAZA, 2020). La proporción de cobertura tanto de la red de agua potable como de red de alcantarillado con registro catastral se muestra en la Ilustración 31.

Ilustración 31. Proporción de cobertura de catastro para la red de agua potable y alcantarillado en Zapotlán el Grande.



Fuente: Elaboración propia con información de SAPAZA, 2020.

El aspecto energético de los sistemas de agua es especialmente relevante. En el caso del SAPAZA, el consumo de energía eléctrica para la extracción, tratamiento y distribución del agua de consumo en 2020 fue de 10,225,132 kWh, mientras que el consumo de energía para el tratamiento de agua residual fue de 2,296,141 kWh (SAPAZA, 2020). Se realizaron estimados con los datos de la fuente (SAPAZA, 2020) asumiendo que correspondían a tasas de consumo anual. De esta forma para la extracción, potabilización y distribución del agua el costo por metro cúbico ascendería a 0.73 kWh/m³ y el tratamiento de agua la tasa de consumo de energía equivaldría a 0.49 kWh/m³. Este último estimado resultaría un 36% arriba del consumo eléctrico promedio que considera CONAGUA para una PTAR "chica" (200 L/s) de 0.36 kWh/m³ (IMTA, 2015). No obstante, los consumos energéticos estimados se encuentran dentro de los intervalos calculados por CONAGUA (2016) en los que se estiman 1.20 kWh/m³ y 0.53 kWh/m³ para la distribución de agua potable y tratamiento de agua residual respectivamente.

Por lo que respecta al tratamiento de aguas residuales, en Zapotlán, con una población de 115,141 (INEGI, 2020) y considerando una tasa de generación de aguas residuales promedio de 200 litros por habitante por día, se tendría una generación total promedio de 266.5 L/s. No obstante, debe considerarse la población flotante que se estima puede elevar el número de habitantes en un aproximado de 20 mil personas, con residentes en otros municipios (Michel Parra et al., 2016) o casi 14 mil personas más, considerando residentes en otras entidades federativas (ver clasificación PRES2015 en INEGI, 2020). Considerando una población flotante de 14 mil personas, la tasa global de generación de aguas residuales en Zapotlán el grande se elevaría hasta 298.5 L/s. Sin embargo, lo anterior corresponde únicamente a personas que residen en otro estado y no considera las que residen en otros municipios de Jalisco y que pernoctan, trabajan o estudian en Zapotlán el Grande. De esta manera, en la realidad es probable

que la población flotante pudiera superar las 20 mil personas que apuntaron Michel Parra et al. en 2016.

Las PTAR de Zapotlán están enlistadas en el inventario de CONAGUA (2019) como “Ciudad Guzmán I” y “Ciudad Guzmán II”, donde se especifica que cuentan con capacidad instalada de 50 y 150 litros por segundo, respectivamente y se encuentran operando al 100% de su capacidad. En ambos casos el tratamiento de aguas se lleva a cabo con un tratamiento convencional por lodos activados (SAPAZA, 2020) y se identifica a la laguna de Zapotlán como el cuerpo receptor de casi la totalidad de caudal tratado en ambas PTAR.

PTAR 1, Prol. Manuel Doblado S/N, capacidad de 50 litros por segundo (L/s), con inicio de operaciones en 2000, y capacidad ampliada en 2010 a 110 L/s.

PTAR 2, Prol. Manuel M. Diéguez S/N, con inicio de operaciones en 2006, capacidad de 155 L/s y picos de hasta 300 L/s.

Fotografía 1 Conjunto fotográfico de infraestructura de tratamiento de aguas en Zapotlán El Grande



Fuente: Acervo fotográfico propio, 2021.

Actualmente se encuentra terminada un PTAR con base en un humedal construido en la comunidad de Atequizayán, municipio de Zapotlán El Grande. La instalación incluye aprovechamiento de energía eléctrica a partir de fuentes renovables, paralelo al suministro convencional por parte de CFE. Dicha PTAR trataría alrededor de 100,000 litros de agua residual por día generada por 700 habitantes de la comunidad, si se considera una tasa de generación entre 150 y 200 L/hab-día (SADER, 2021). Actualmente la PTAR, equipada con paneles fotovoltaicos, se encuentra terminada y en operación y el humedal fue recientemente plantado

con especies vegetales apropiadas. Un muestreo, al menos, semestral del agua residual a su paso por los diferentes equipos de tratamiento sería deseable para visibilizar la evolución en la eficiencia de tratamiento.

Fotografía 2 Conjunto fotográfico de la PTAR con humedal de Atequizayán



Fuente: Acervo fotográfico propio, junio 2021.

Por lo que respecta tratamiento de aguas residuales de Gómez Farías, el total de las aguas tratadas se realiza por el método de lodos activados en las PTAR San Sebastián del Sur (29 L/s) y San Andrés Ixtlán (11 L/s), las cuales llegan a la Laguna de Zapotlán a través de diversos canales. La cobertura de saneamiento de las aguas residuales en el municipio es de 89.7% (CEA 2015) que corresponden a las dos localidades principales (San Sebastián del Sur y San Andrés). Las demás localidades por el momento no cuentan con el saneamiento de aguas residuales domésticas.

La PTAR San Sebastián del Sur se encuentra en proceso de ampliación y reconversión. Específicamente, se cambió la configuración del tanque de aireación extendida por un filtro biológico, mediante la ampliación de la altura y modificación de muros interiores y se agregó un sedimentador secundario y desecadores de lodos para el manejo de los lodos provenientes del tratamiento biológico. Concluida la obra, deberá procederse con su estabilización para que funcione adecuadamente. Se destaca que durante las obras las aguas no reciben tratamiento alguno, y no se ha implementado un tratamiento provisional. Adicionalmente, existe un proyecto de humedal artificial como sistema de tratamiento en la localidad de Cofradía, el cual está aún en proyecto, aunque ya se cuenta con los terrenos donde se instalará.

Fotografía 3 Conjunto fotográfico de las obras en la PTAR de San Sebastián del Sur



Fuente: Acervo fotográfico propio, 2021.

Fotografía 4 Conjunto fotográfico de la PTAR de San Andrés Ixtlán



Fuente: Facilitadas por Gobierno Municipal de Gómez Farías, 2021.

En cuanto a la generación de gases de efecto invernadero de la infraestructura de saneamiento, se calcula que las aguas residuales municipales en el caso de Zapotlán emitieron la cantidad de 528.41 ton de metano (CH₄), equivalente a 11,096.54 ton de CO₂ equivalente (PACMUN Zapotlán, 2015), mientras que en el caso de Gómez Farías las aguas residuales municipales emitieron la cantidad de 73.64 ton de CH₄, equivalente a 1,546.478 ton de CO₂, lo que representa el 29% de las emisiones en el sector desechos para el municipio (PACMUN Gómez Farías, 2015).

2.4. Análisis de calidad del agua

2.4.1. Análisis de resultados previos de calidad del agua

En cuanto a la calidad del agua, de acuerdo con el SAPAZA (2020), el 100% del agua extraída se desinfecta y cumple con la NOM-127-SSA1-1994. No obstante, el mismo documento menciona

que hierro, manganeso y nitrógeno amoniacial son los principales contaminantes con los que se incumple dicha normativa incurriendo en una contradicción. Para aportar contexto, el hierro y el manganeso se clasifican como contaminantes naturales del agua, ya que ocurren debido a la disolución de compuestos en capas del subsuelo, en especial en perforaciones profundas para aprovechamiento de agua. La tendencia actual es encontrar una mayor concentración de estos contaminantes naturales a medida que se incrementa la profundidad de las perforaciones. Por otra parte, el nitrógeno amoniacial y los nitratos se asocian con contaminación por infiltraciones de materia orgánica o fertilizantes disueltos en los mantos acuíferos beneficiados (Hernández-Antonio et al., 2017).

Actualmente SAPAZA añade al agua extraída de pozos un polímero líquido de orto sílice opalescente que cuenta con la certificación internacional NSG/ANSI STANDARD 60. Dicha certificación fue desarrollada para establecer los requisitos mínimos para el control de potenciales efectos adversos de productos agregados al agua para su tratamiento (NSF 2016). La función de dicho polímero es proveer una carga negativa a compuestos de hierro y manganeso para mantenerlos en solución y protegerlos de la oxidación por contacto con aire o hipoclorito de sodio, evitándose así un color indeseable en el agua. Con el uso de este polímero se evita una coloración indeseable, no obstante, debe tenerse en cuenta que la ausencia de color no significa ausencia de hierro y manganeso y debe vigilarse la concentración de estos elementos en el agua distribuida a la población para evitar efectos en la salud. En caso de concentraciones por arriba de la norma NOM-127-SSA1-1994 obtenidas de manera sistemática, debe considerarse la instalación de infraestructura adicional de floculación, sedimentación y filtración para remover los metales.

Debe tomarse en cuenta que algunos de los secuestrantes de hierro y manganeso en agua potable, tales como el polímero líquido de orto sílice opalescente utilizado en Zapotlán el Grande, se deterioran a altas temperaturas y pierden efecto en equipos de calentamiento de agua.

En 1995 la Universidad de Guadalajara realizó análisis al agua extraída de 7 pozos en Zapotlán y reporta la calidad de la misma en términos de concentración de sodio, potasio, calcio, magnesio, cloruros, sulfatos, bicarbonatos, nitratos, sólidos disueltos totales, fluoruros, pH y conductividad. No obstante, el alcance de estos análisis es parcial ya que la NOM-127-SSA1-1994 considera más de 20 parámetros entre los cuales el estudio antes mencionado no consideró específicamente el contenido de coliformes, hierro, manganeso, arsénico, nitrógeno amoniacial y plaguicidas.

Por otra parte, la calidad del agua tratada en las PTAR 1 y 2 es de gran relevancia ya que después del tratamiento, el agua se descarga a la laguna de Zapotlán y es ahí donde un tratamiento insuficiente propiciaría la presencia de contaminantes (nutrientes residuales) tales como amonio, fosfatos y materia orgánica. Estos últimos proveen las condiciones necesarias para la proliferación de microalgas y maleza acuática que eventualmente agota el oxígeno del agua y produce putrefacción y la imposibilidad de vida para cualquier otro organismo. Más aun, la calidad del agua tratada es de importancia dadas las condiciones actuales de sobre explotación del acuífero Ciudad Guzmán y el potencial que existe en el agua tratada para su reutilización al menos en usos con contacto indirecto con la población. Actualmente, del agua residual tratada se aprovecha apenas el 0.15% para reutilización en áreas públicas (SAPAZA, 2020).

Se analizaron los datos disponibles de calidad del agua en el afluente (alimentación) y efluente de las PTAR 1 y 2 correspondientes a los años 2019 y 2020, facilitados por las autoridades

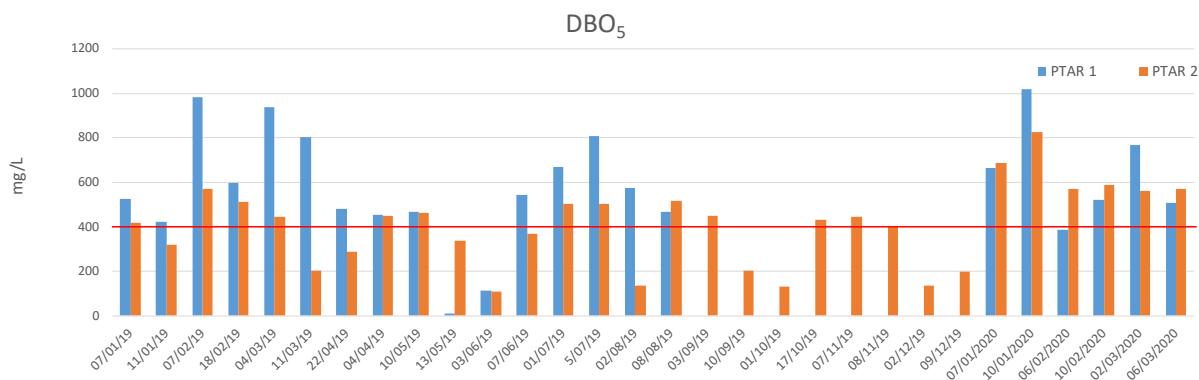
municipales de Zapotlán el Grande. En general, los parámetros analizados en la alimentación de las PTAR destacan por la alta concentración en la mayoría de las muestras analizadas en 2019 y 2020, comparados con la composición típica del agua residual doméstica reportada por Tchobanoglou et al. (2014), Tabla 5. Lo anterior puede deberse a la probable influencia de descargas de actividades industriales y manufactura existentes en Zapotlán, aunado a un caudal más concentrado en época de secas (febrero y marzo) y al arrastre de materia orgánica durante la época de lluvias (junio a agosto).

Tabla 5 Composición típica del agua residual doméstica sin tratar

Componente	Unidad	Concentración		
		Baja	Media	Alta
Sólidos suspendidos totales (SST)	mg/L	130	195	389
Demanda química de oxígeno (DQO)	mg/L	339	508	1016
Demanda bioquímica de oxígeno 5 d, 20 °C (DBO ₅)	mg/L	133	200	400
Nitrógeno total	mg/L	23	35	69
Fósforo total	mg/L	3.7	5.6	11.0

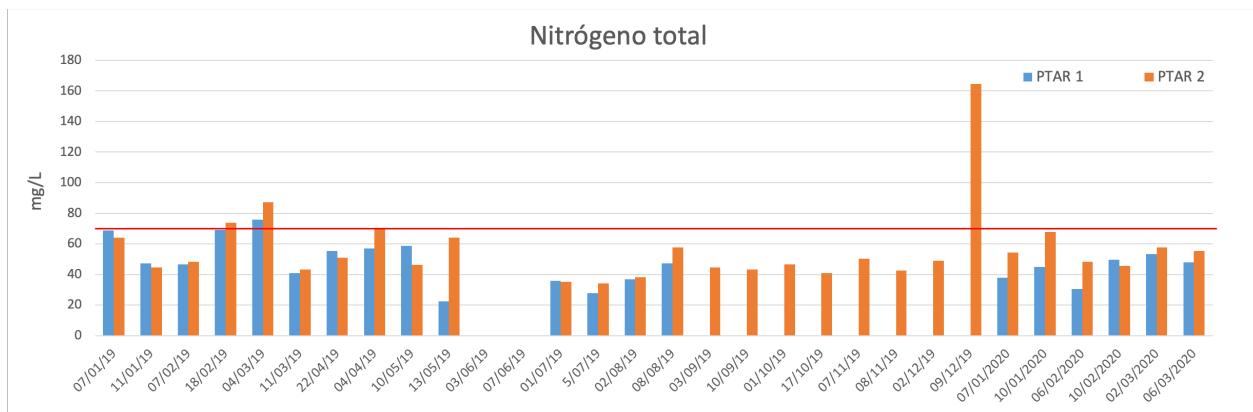
Fuente: adaptado de Tchobanoglou et al. (2014)

Ilustración 32 Concentración de DBO₅ en el afluente a las PTAR 1 y 2 de Zapotlán el Grande en 2019 y 2020.



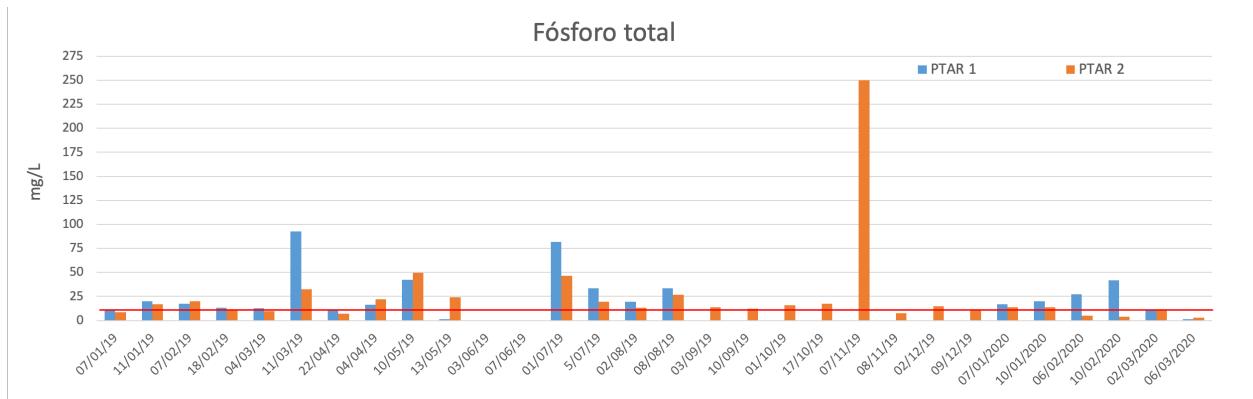
Fuente: Elaboración propia con datos procesados de análisis de calidad del agua obtenidos del SAPAZA. La línea roja indica una concentración alta respecto a la composición típica del agua residual doméstica.

Ilustración 33 Concentración de nitrógeno total en el afluente a las PTAR 1 y 2 de Zapotlán el Grande en 2019 y 2020.



Fuente: Elaboración propia con datos procesados de análisis de calidad del agua obtenidos del SAPAZA. La línea roja indica una concentración alta respecto a la composición típica del agua residual doméstica (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**).

Ilustración 34 Concentración de fósforo total en el afluente a las PTAR 1 y 2 de Zapotlán el Grande en 2019 y 2020.



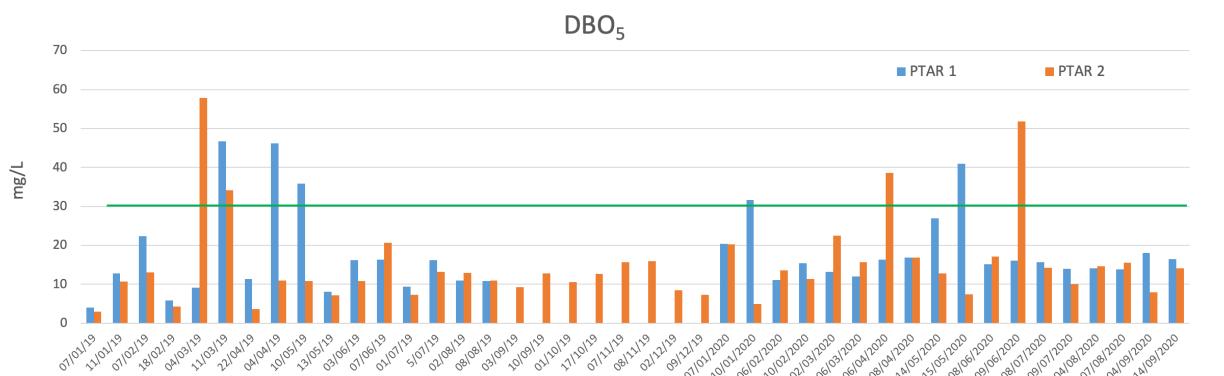
Fuente: Elaboración propia con datos procesados de análisis de calidad del agua obtenidos del SAPAZA. La línea roja indica una concentración alta respecto a la composición típica del agua residual doméstica (Tabla 1) **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**).

Ilustración 35 Composición de sólidos suspendidos totales en el efluente de las PTAR 1 y 2 de Zapotlán el Grande en 2019 y 2020.



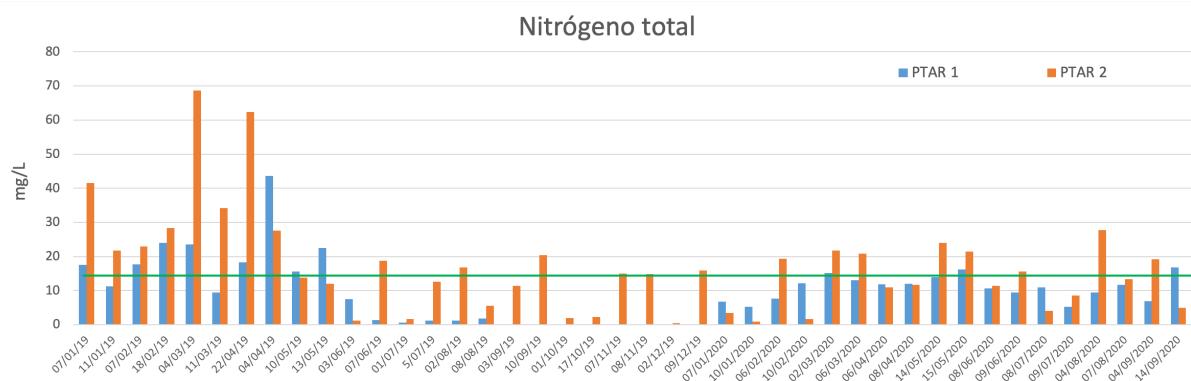
Fuente: Elaboración propia con datos procesados de análisis de calidad del agua obtenidos del SAPAZA. La línea verde indica el máximo promedio mensual indicado por la NOM-001-SEMARNAT-1996 en su clasificación protección de vida acuática.

Ilustración 36 Composición de DBO₅ en el efluente de las PTAR 1 y 2 de Zapotlán el Grande en 2019 y 2020.



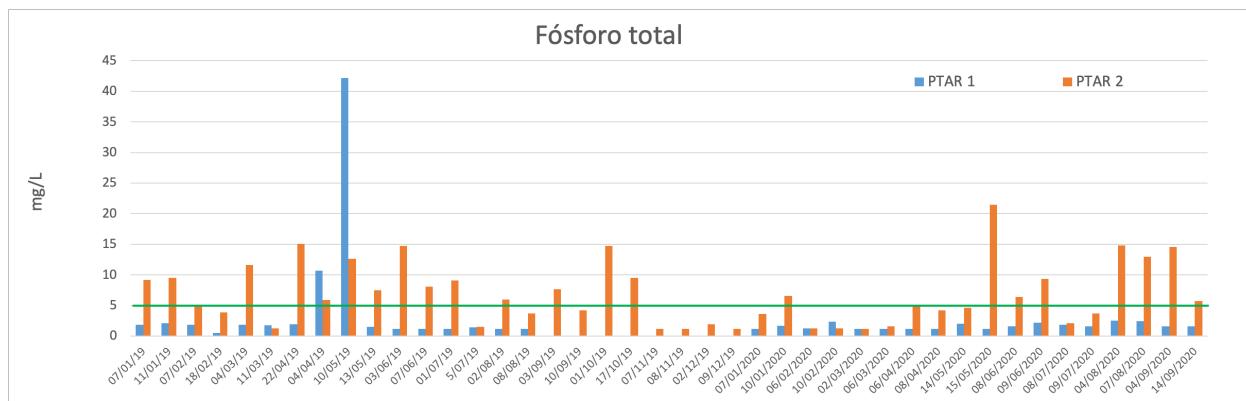
Fuente: Elaboración propia con datos procesados de análisis de calidad del agua obtenidos del SAPAZA. La línea verde indica el máximo promedio mensual indicado por la NOM-001-SEMARNAT-1996 en su clasificación protección de vida acuática.

Ilustración 37 Composición de nitrógeno total en el efluente de las PTAR 1 y 2 de Zapotlán el Grande en 2019 y 2020.



Fuente: Elaboración propia con datos procesados de análisis de calidad del agua obtenidos del SAPAZA. La línea verde indica el máximo promedio mensual indicado por la NOM-001-SEMARNAT-1996 en su clasificación protección de vida acuática.

Ilustración 38 Composición de fósforo total en el efluente de las PTAR 1 y 2 de Zapotlán el Grande en 2019 y 2020.



Fuente: Elaboración propia con datos procesados de análisis de calidad del agua obtenidos del SAPAZA. La línea verde indica el máximo promedio mensual indicado por la NOM-001-SEMARNAT-1996 en su clasificación protección de vida acuática.

La calidad del agua después del tratamiento en las PTAR 1 y 2 cumplen en general con la NOM-001-SEMARNAT-1996 tipo A (riego agrícola). No obstante, los efluentes de ambas PTAR se descargan en canales que conducen directamente a la laguna de Zapotlán, por lo tanto se muestra la clasificación de la vida acuática, indicada por líneas en color verde.

2.4.2. Resultados de análisis de muestras realizadas para el Plan Maestro

Como parte de los trabajos de elaboración de este Plan Maestro se realizaron 10 análisis de aguas, 8 muestras de aguas superficiales y 2 muestras de aguas subterráneas, de acuerdo con la norma NOM-127-SSA1-1994 que establece los límites permisibles de calidad del agua para uso y consumo humano. Aunque las muestras superficiales correspondieron a muestras ambientales, el análisis mediante la norma antes mencionada se justifica por el interés de brindar información sobre posible la presencia de pesticidas, hidrocarburos aromáticos y trihalometanos. Se decidió realizar el análisis de acuerdo a la NOM-127-SSA1-1994 ya que se obtendría información de la presencia de contaminantes raramente analizados pero relevantes, especialmente considerando la movilización de los mismos ejercida por fenómenos naturales tales como las lluvias.

Las campañas de muestreo se realizaron los días 28 y 30 de junio de 2021. Las muestras siguieron los protocolos de la Unidad de Servicios Analíticos y Metrológicos del Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco, A. C., y se procesaron en el laboratorio certificado de dicha unidad.

Fotografía 5 Custodia de muestras de campañas de muestreo de aguas subterráneas y superficiales para validez y calidad, 28 y 30 de junio de 2021



Fuente: Acervo fotográfico propio, 2021.

El informe de resultados de los análisis (USAM-AGUAS2021-01/2021) constituye un Anexo de este Plan Maestro. En dicho informe se pueden encontrar las pruebas y metodologías empleadas, así como cada uno de los resultados obtenidos.

Las localizaciones y horarios en que se tomaron las muestras se desglosan a continuación.

Agua subterránea

- Pozo Catarina 5. Zapotlán el Grande, Jalisco. Volumen de extracción: 45 L/s. Profundidad total 300 m. Profundidad de columna de agua 134 m. Niveles dinámicos 75-80 m. Toma de muestra 28/06/2021, 9:00 h.
- Pozo 16. Recinto Ferial, Zapotlán el Grande, Jalisco. Volumen de extracción: 23 L/s. Profundidad total 200 m. Profundidad de columna 140 m. Niveles dinámicos de 103 m. Toma de muestra 28/06/2021, 9:45 h. Tasa de adición de polímero de ortosílice opalescente: 5,652 kg anuales por cada litro por segundo extraído (0.18 kg/m³ de agua, calculado mediante dotación de polímero al pozo 16 especificado en el acta de fallo de compra de productos químicos SAPAZA, 2020).

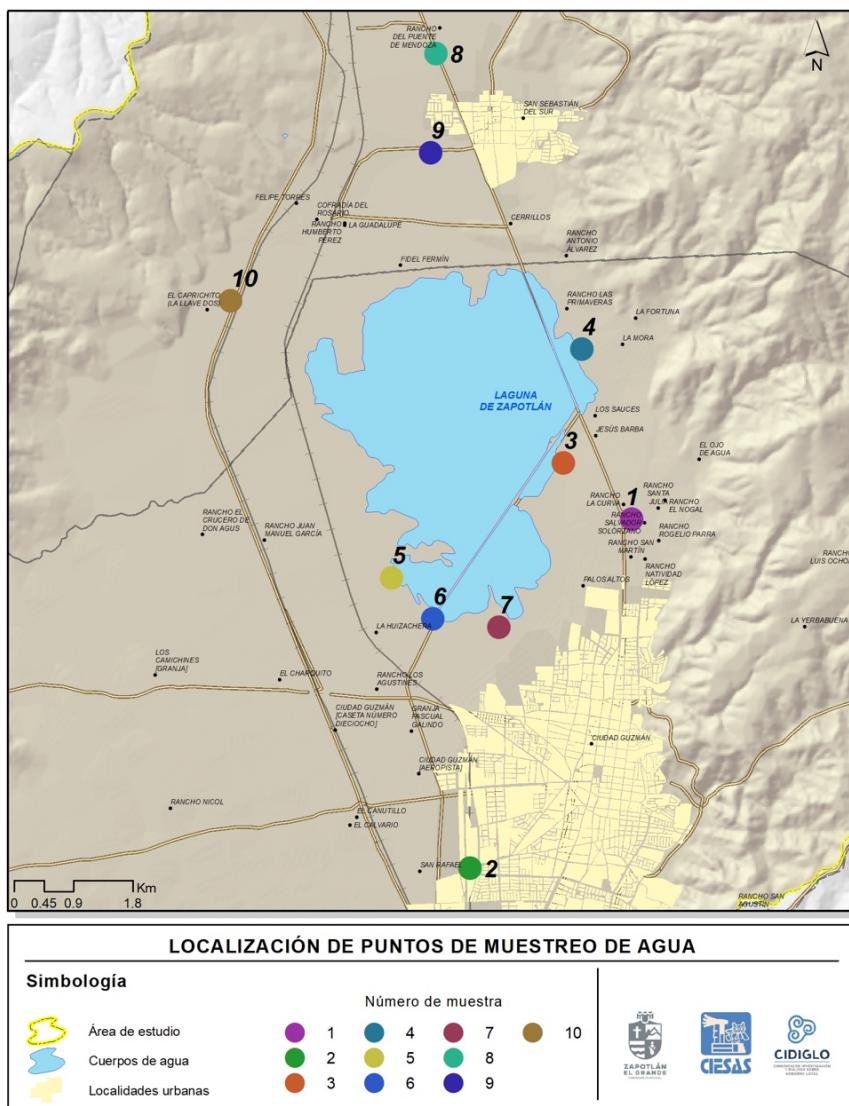
Se decidió el origen de estas muestras con base en el volumen de extracción de los pozos y la intensidad de adición de productos químicos (polímero y cloro) utilizados para su potabilización. La tasa de adición de polímero en el pozo Catarina 5 no se especifica, ya que el acta de fallo 2020 describe entrega al pozo Catarina 3, el cual de acuerdo con el personal de SAPAZA se cerró y el caudal equivalente se extraía ahora de Catarina 5.

Agua superficial

- Laguna de Zapotlán en zona de escombrera (Coordenadas 19°44'40.9"N 103°28'11.8"W). Toma de muestra 28/06/2021, 11:45 h.
- Escurrimiento invernaderos (Coordenadas 19°45'45.3"N 103°27'53.5"W). Toma de muestra 28/06/21, 12:30 h.
- Canal tributario a Laguna de Zapotlán, Zapotlán el Grande (Coordenadas 19°43'54.4"N 103°29'34.0"W). Toma de muestra 28/06/2021 11:00 h. Lluvia abundante durante la noche anterior con el canal desbordado y en reparación.
- Canal tributario a Laguna de Zapotlán proveniente de PTAR 2, Zapotlán el Grande (Coordenadas 19°43'33.1"N 103°29'12.9"W). Toma de muestra 30/06/2021, 8:00 h.
- Canal tributario a Laguna de Zapotlán proveniente de PTAR 1, Zapotlán el Grande (Coordenadas 19°43'28.9"N 103°28'38.2"W). Toma de muestra 30/06/2021, 9:00 h.
- Canal tributario a Laguna de Zapotlán, San Andrés, Gómez Farías (Coordenadas 19°48'12.1"N 103°29'08.6"W). Toma de muestra 30/06/2021, 10:00 h.
- Confluencia "bypass" (por remodelación) PTAR San Sebastián y canal tributario a Laguna de Zapotlán, Gómez Farías (Coordenadas 19°47'22.4"N 103°29'10.9"W). Toma de muestra 30/06/2021, 10:30 h.
- Canal tributario a Laguna de Zapotlán con posible influencia de vertedero, Zapotlán el Grande (Coordenadas 19°46'11.0"N 103°30'56.4"W). Toma de muestra 30/06/2021, 12:12 h.

La localización de estos puntos de muestreo (Ilustración 39) se decidió con base en la relevancia que tendría el arrastre desde sitios de disposición de escombro y basura o de posibles escurrimientos desde invernaderos, así como de efluentes de las PTAR aguas abajo de las descargas. Estos puntos, en principio arrojarían resultados de la calidad del agua en la laguna o en puntos cercanos a su integración a la Laguna de Zapotlán.

Ilustración 39 Localización de puntos de muestreo de aguas superficiales y subterráneas analizados bajo la NOM-127-SSA1-1994 en Zapotlán el Grande.



Fuente: Elaboración propia.

Fotografía 6 Campañas de muestreo de aguas subterráneas y superficiales, 28 y 30 de junio de 2021
(conjunto fotográfico)





Fuente: Acervo fotográfico propio, 2021.

Los resultados generales del informe realizado tras el análisis de las 10 muestras son que los parámetros cumplen con los límites permisibles de la NOM-127-SSA1-1994, salvo lo siguiente:

- Todas las muestras de agua fueron positivas a los parámetros microbiológicos que indican presencia de coliformes totales, coliformes fecales y E. coli.
- Respecto a los metales pesados el 50% (5/10) de las muestras no cumplen los

límites para manganeso y hierro, y un 40% (4/10) no cumplen para aluminio.

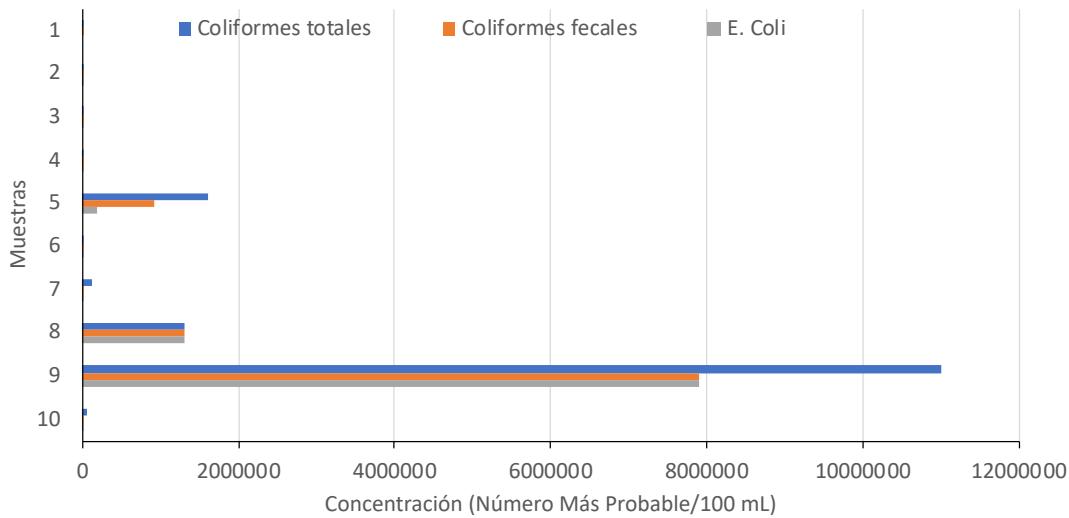
- El 60% (6/10) de las muestras no cumplen los límites permisibles para turbiedad, color y nitrógeno amoniacal.
- El 40% (4/10) de las muestras no cumplen los límites permisibles para cloruros.
- El 10% (1/10) de las muestras no cumplen los límites permisibles para nitratos.
- El 10% (1/10) no cumple el límite permisible para trihalometanos.

A continuación, se presenta un resumen interpretativo de los resultados del análisis de las muestras bajo la NOM-127-SSA1-1994, con los parámetros más relevantes.

Microorganismos patógenos

La concentración de coliformes fecales en muestras de agua subterránea fueron de 2 NMP/100 mL y 13 NMP/100 mL, para las muestras 1 (Pozo Catarina 5) y 2 (Pozo 16), respectivamente. Estas concentraciones exceden el límite máximo permisible de la NOM-127-SSA1-1994, sin embargo, las muestras se tomaron en los pozos aguas arriba del punto de desinfección con hipoclorito de sodio. Después de la aplicación del desinfectante es muy probable que la calidad del agua en el punto de distribución a la red sea satisfactoria en cuanto a coliformes, según la norma antes mencionada. Adicionalmente, la calidad del agua entregada por los pozos luego de la potabilización (adición de polímero de ortosílice opalescente y/o hipoclorito de sodio) es verificada periódicamente por SAPAZA en los municipios de Zapotlán el Grande y Gómez Farías.

Ilustración 40 Concentración de microorganismos patógenos en muestras de agua subterránea y superficial colectadas en el mes de junio de 2021 en Zapotlán el Grande y Gómez Farías.



Fuente: Elaboración propia.

La concentración de coliformes fecales en muestras de agua superficial (Ilustración 40) muestra el efecto que las aguas residuales aguas residuales sin tratar pudieran tener en afluentes tributarios a la Laguna de Zapotlán. Ninguna de las muestras de aguas superficiales cumplió con los límites máximos permisibles en cuanto a contenido de patógenos según la NOM-127-SSA1-1994, sin embargo, el cumplimiento de este parámetro no está obligado en estas muestras ya que corresponden a puntos en la laguna o corrientes tributarias (Ilustración 39).

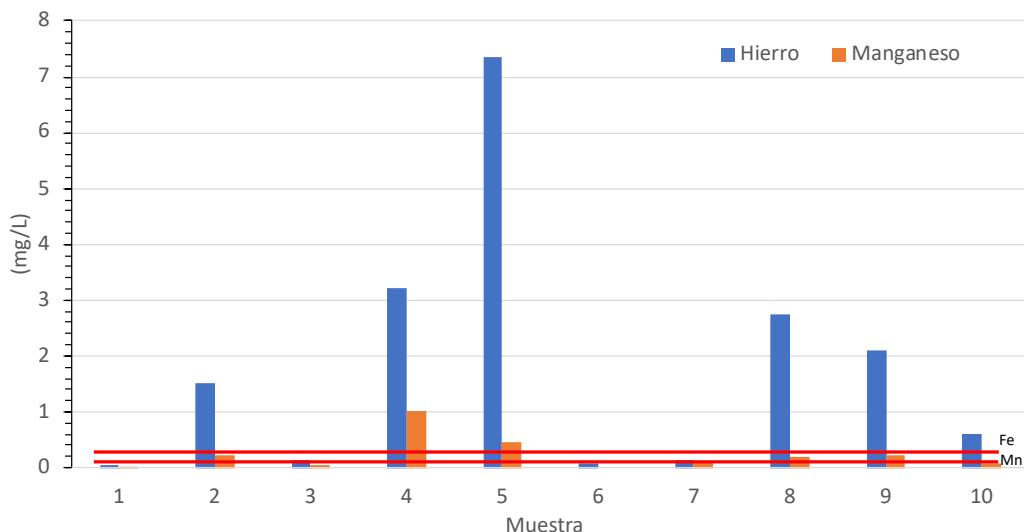
Los conteos de microorganismos patógenos que no se encontraron por arriba de un millón de NMP/100 mL correspondieron a muestras colectadas de canales provenientes de los municipios de Zapotlán el Grande (muestra 5) y Gómez Farías (muestras 8 y 9). En el caso de la muestra 5, se concluye que a pesar de que las PTAR 1 y 2 en Zapotlán el Grande se encuentran en operación, podrían existir vertidos de posible agua residual sin tratar a canales tributarios de la laguna. Dichas descargas implican un riesgo a la calidad del agua de la laguna en caso de un contacto directo o indirecto con humanos.

En los casos de las muestras 8 y 9, aguas arriba y abajo de la PTAR de San Sebastián, Gómez Farías respectivamente, se observa que la concentración de patógenos supera el límite 1 millón de NMP/100 mL (muestra 8) incluso antes de la descarga de agua residual que temporalmente se deriva sin tratar al canal donde se realizó el muestreo.

Hierro y manganeso

En cuanto a la concentración de hierro y manganeso de las muestras de agua subterránea analizadas, únicamente la muestra 2 proveniente del Pozo 16 de Zapotlán el Grande incumple con el límite máximo permisible establecido por la NOM-127-SSA1-1994 (Ilustración 41). En este sentido, el uso del polímero opalescente de ortosílice mejora la calidad organoléptica del agua en cuanto a su coloración, no obstante, la concentración total de hierro y manganeso aún se encontraría por arriba de los límites de 0.3 mg/L y 0.15 mg/L establecidos por la NOM-127-SSA1-1994, respectivamente.

Ilustración 41 Concentración de hierro y manganeso en muestras de agua subterránea y superficial de Zapotlán el Grande y Gómez Farías, Jalisco

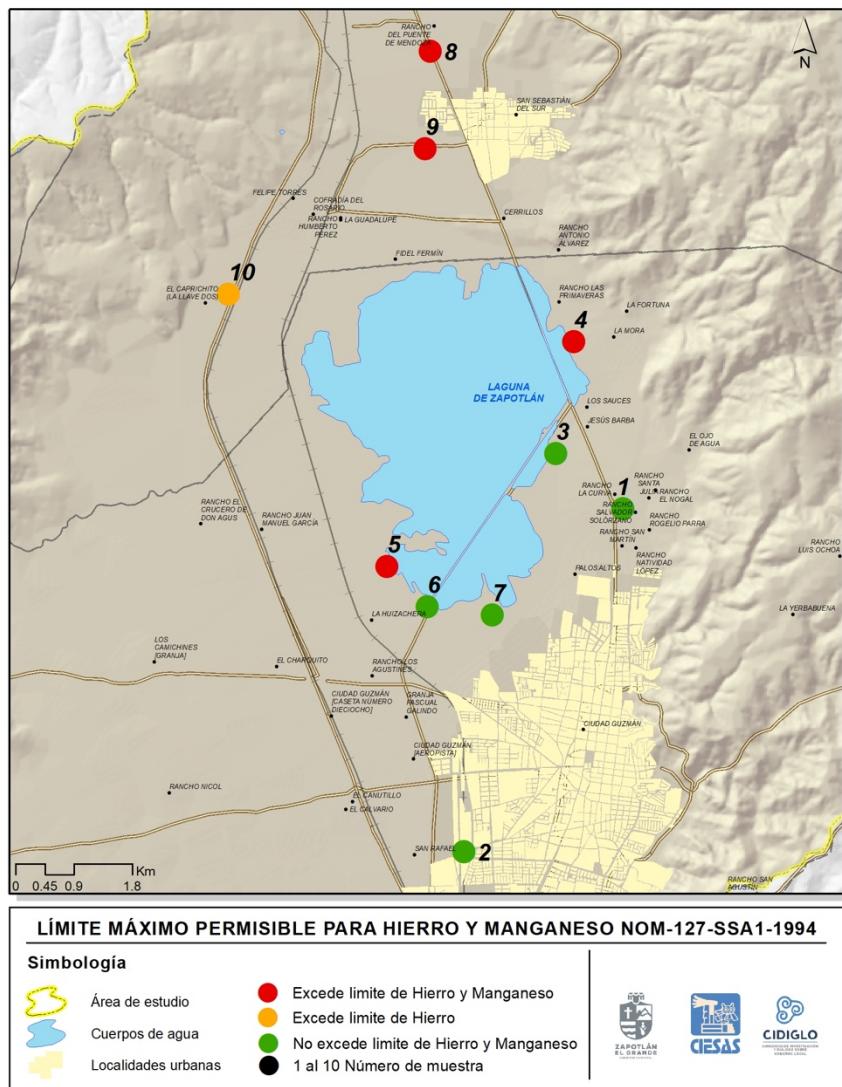


Fuente: Elaboración propia. Las líneas rojas horizontales marcan los límites máximos permisibles para hierro (Fe) y manganeso (Mn) establecidos por la NOM-127-SSA1-1994

Las muestras de agua superficial 3, 6 y 7 correspondientes a la muestra colectada directamente en la Laguna de Zapotlán, y los canales provenientes de las PTAR 2 y 1, respectivamente, cumplen con los límites máximos de hierro y manganeso de la NOM-

127-SSA1-1194. Las muestras 4, 5, 8, 9 y 10 no cumplieron con los límites de hierro y manganeso de la NOM-127-SSA1-1994, probablemente debido a la suspensión de sedimentos por el caudal incrementado por las lluvias y evidenciada por una apariencia turbia (ver Turbiedad y Color Pt-Co en informe original de análisis). En comparación, las muestras 6 y 7 tuvieron una apariencia clara que incluso cumplió con los límites máximos en cuanto a turbiedad y color Pt-Co de la NOM-127-SSA1-1994.

Ilustración 42 Presencia de hierro y manganeso en muestras de agua subterránea y superficial colectadas en el mes de junio de 2021 en Zapotlán el Grande y Gómez Farías.

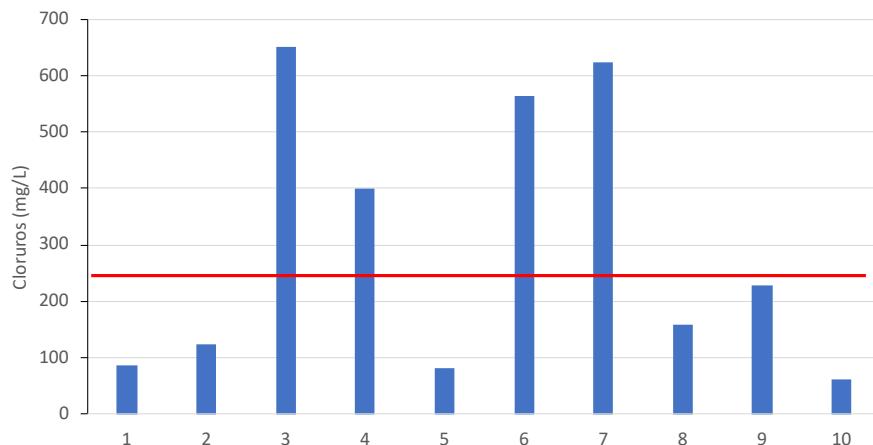


Fuente: Elaboración propia. (errata: La muestra 2 no cumple con los límites para hierro y manganeso, tal como se especificó en el primer párrafo de la sección "Hierro y manganeso")

Cloro residual y cloruros

De todas las muestras analizadas (subterráneas y superficiales), sólo en la muestra colectada directamente en la laguna (muestra 3) se detectó cloro residual en una concentración de 0.1 mg/L (ver informe original de análisis). Aunque esta concentración cumple con el límite máximo permisible de la NOM-127-SSA1-1994 resalta el hecho que, de todas las muestras la máxima concentración de cloro residual se encontró justo en el espejo de agua de la laguna. Debe considerarse que la muestra 3 se colectó en la zona de disposición de escombros (Ilustración 39), donde se observó la presencia de envases vacíos, llantas y otras basuras. Una posible infiltración de contaminantes originada en estos objetos no puede descartarse y pondría de manifiesto el riesgo que implica la disposición de residuos sólidos directamente en la laguna.

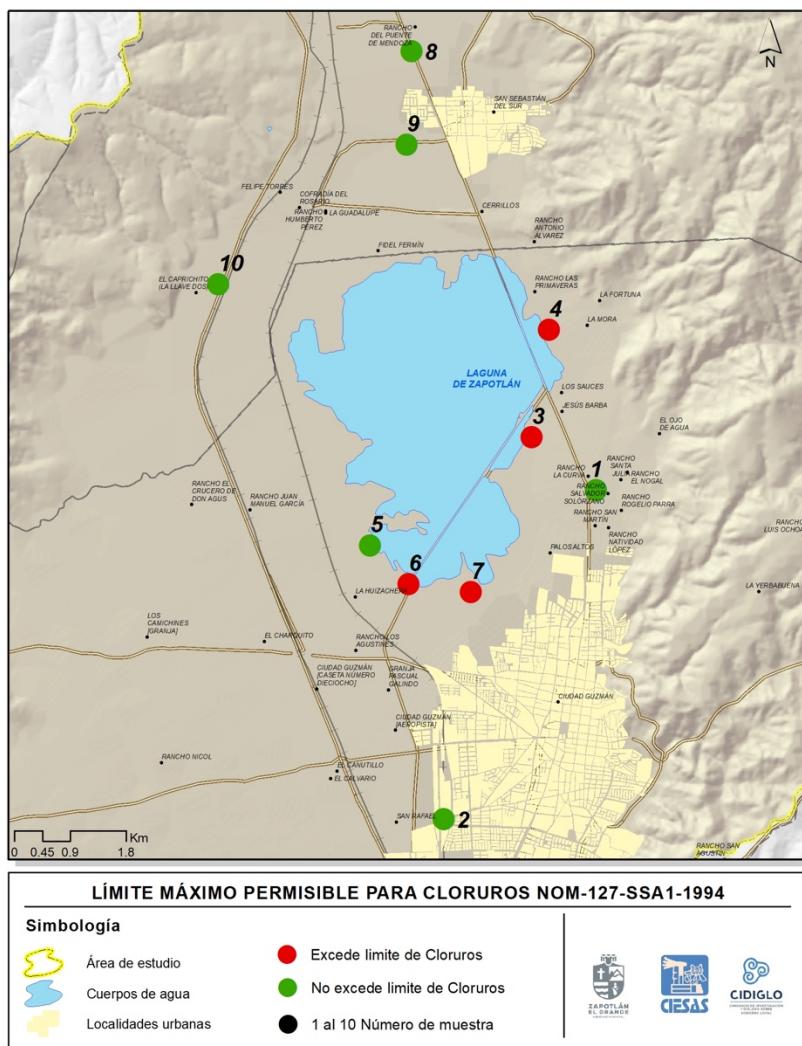
Ilustración 43 Concentración de cloruros en muestras de agua subterránea y superficial de Zapotlán el Grande y Gómez Farías, Jalisco



Fuente: Elaboración propia. La línea roja horizontal indica el límite máximo permisible de acuerdo con la NOM-127-SSA1-1994.

En cuanto a cloruros, las muestras 6 y 7, donde antes se describieron niveles satisfactorios de metales, contienen niveles que sobrepasan el límite establecido por la NOM-127-SSA1-1994 (Ilustración 43), probablemente debido a la desinfección con cloro que se efectúa en las PTAR 1 y 2 de Zapotlán el Grande. Cabe resaltar que la mayor concentración de cloruros se encontró en la muestra 3, colectada directamente de la laguna, y que en consonancia con el valor de cloro residual descrito anteriormente ejemplifica el riesgo de la disposición de escombro y basura en la laguna de Zapotlán.

Ilustración 44 Presencia de cloruros en muestras de agua subterránea y superficial colectadas en el mes de junio de 2021 en Zapotlán el Grande y Gómez Farías.

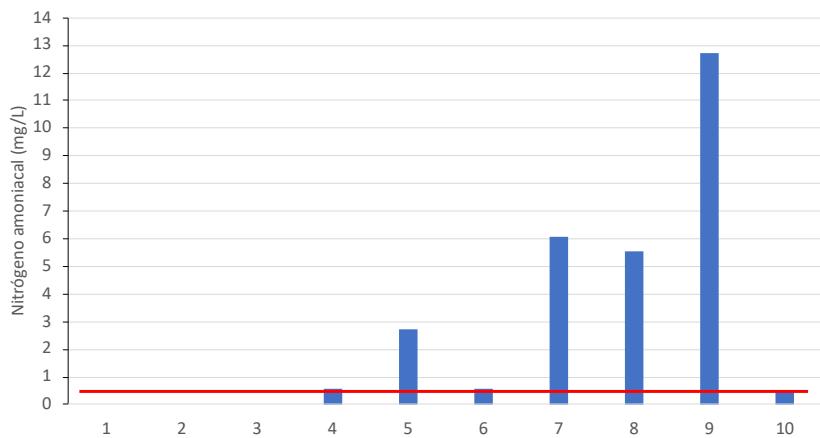


Fuente: Elaboración propia.

Nitrógeno amoniacial

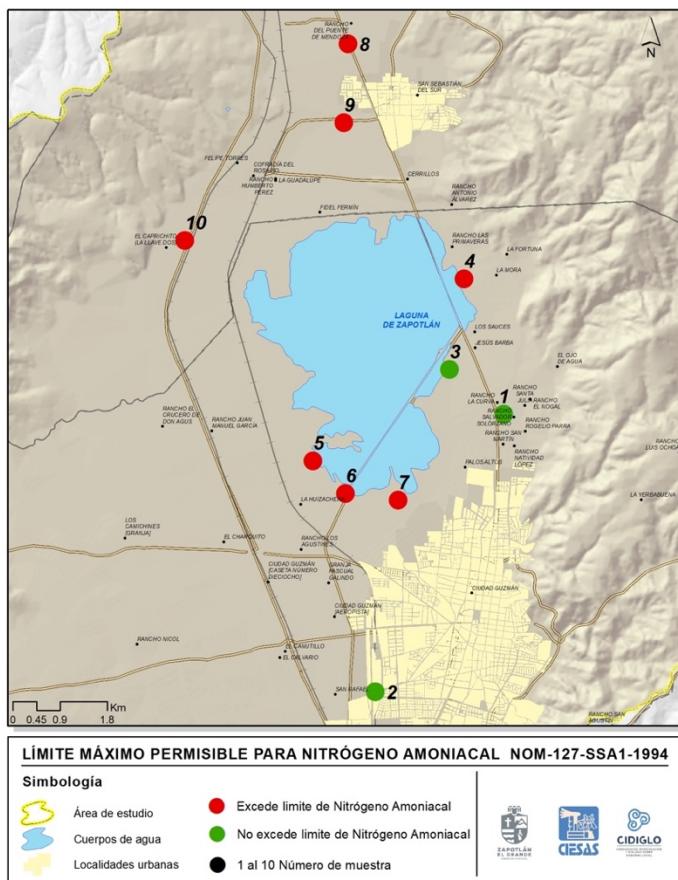
De acuerdo con la Ilustración 45, la concentración de nitrógeno amoniacial supera el valor máximo permisible por la NOM-127-SSA1-1994 para las muestras 4 a 9. Una posible causa pudiera ser el escurrimiento de residuos de fertilizantes desde zona de invernaderos (muestra 4) y agua residual con o sin tratamiento (muestras 5 a 9). En contraparte, las muestras de aguas subterráneas 1 y 2 (pozo Catarina 5 y pozo 16) y superficiales 3 y 10 (dentro de la laguna y canal con posible influencia del vertedero de basura) cumplen con la NOM-127-SSA1-1994 en cuanto a contenido de nitrógeno amoniacial. Se sugiere un muestreo más extenso, en más puntos dentro de la laguna y canales tributarios en época de lluvias y estiaje y que incluya nitrógeno total y fósforo total además de nitrógeno amoniacial.

Ilustración 45 Concentración de nitrógeno amoniacial en muestras de agua subterránea y superficial de Zapotlán el Grande y Gómez Farías, Jalisco



Fuente: Elaboración propia. La línea roja horizontal indica el límite máximo permisible de acuerdo con la NOM-127-SSA1-1994.

Ilustración 46 Presencia de nitrógeno amoniacial en muestras de agua subterránea y superficial colectadas en el mes de junio de 2021 en Zapotlán el Grande y Gómez Farías.



Fuente: Elaboración propia.

Pesticidas, solventes y trihalometanos

En las muestras analizadas, subterráneas y superficiales, no se detectaron los pesticidas o herbicidas y solventes normados por la NOM-127-SSA1-1994 y que se enlistan en la Tabla 6. Este resultado es muy importante, ya que al menos las muestras 4 y 10 evidencian que las actividades agrícolas en invernadero y el posible contacto de lixiviados de basura doméstica en los puntos específicos de muestreo (Ilustración 39) no tendrían impacto sobre la calidad del agua de la laguna en cuanto a los parámetros mencionados.

Tabla 6 Pesticidas, herbicidas, solventes y trihalometanos considerados por la NOM-127-SSA1-1994

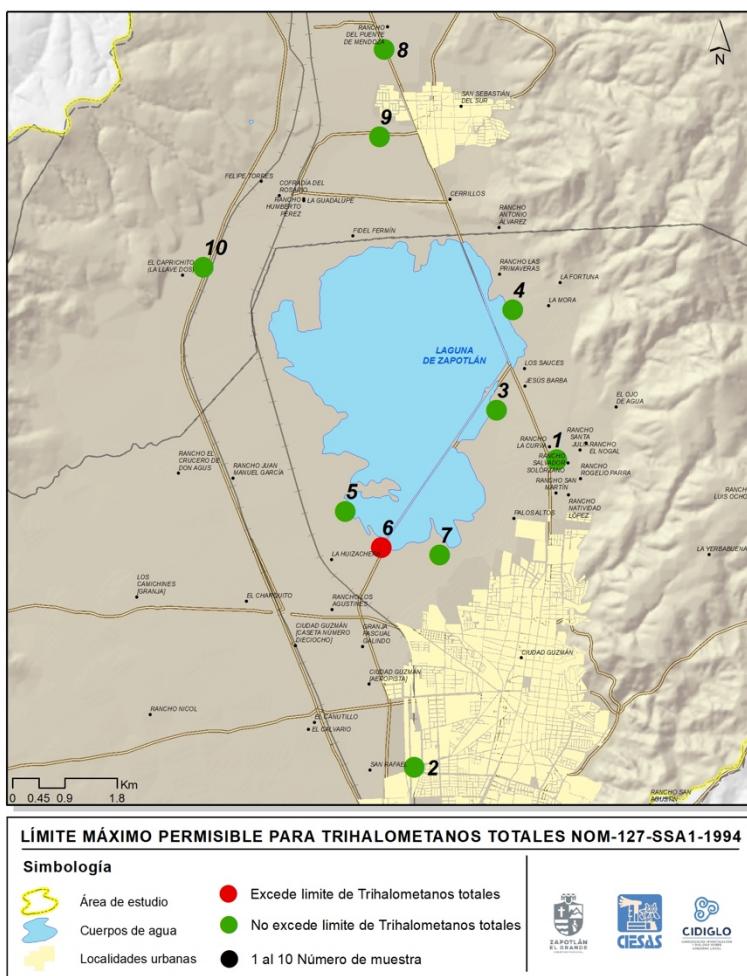
	Unidad	Límite máximo NOM-127-SSA1-1994
<i>Pesticidas y herbicidas</i>		
Aldrín	mg/L	0.03
Dieldrín	mg/L	0.03
Gamma-Clordano	mg/L	0.2
DDT total de isómeros	mg/L	1.0
2,4'-DDT	mg/L	1.0
4,4'-DDT	mg/L	1.0
Gamma-BHC (Lindano)	mg/L	2.0
Hexaclorobenceno	mg/L	1.0
Heptacloro	mg/L	0.03
Heptacloro epóxido	mg/L	0.03
Metoxicloro	mg/L	20.0
2,4-D	mg/L	30.0
<i>Hidrocarburos aromáticos (solventes)</i>		
Benceno	mg/L	10.0
Etilbenceno	mg/L	300.0
Tolueno	mg/L	700.0
Xileno	mg/L	500.0
<i>Trihalometanos totales</i>	mg/L	0.2

Fuente: Elaboración propia con base en la la NOM-127-SSA1-1994

De las diez muestras de agua analizadas, únicamente la muestra 6, correspondiente al canal con influencia de la descarga de la PTAR 2 de Zapotlán el Grande, excedió con 0.36 mg/L el límite máximo permisible de trihalometanos totales estipulado por la NOM-127-SSA1-1994 (0.20 mg/L).

Los trihalometanos son compuestos cancerígenos al ingerirse de manera crónica y que se forman a partir del contacto de materia orgánica y cloro en su forma reactiva, como en hipoclorito de sodio. Los trihalometanos se generan comúnmente durante la desinfección en plantas de tratamiento de agua residual cuando existe una concentración residual de materia orgánica significativa.

Ilustración 47 Presencia de trihalometanos en muestras de agua subterránea y superficial colectadas en el mes de junio de 2021 en Zapotlán el Grande y Gómez Fariás.



Fuente: Elaboración propia.

2.4.3. Recomendaciones

1. Optimizar los procesos de tratamiento terciario, remoción de nitrógeno y fósforo.

De todos los parámetros analizados en este estudio de acuerdo con la NOM-127-SSA1-1994 y los reportados por SAPAZA de acuerdo con la NOM-001-SEMARNAT-1996, solamente es sistemática la presencia de altas concentraciones de nitrógeno, ya sea en su forma total o amoniacial.

Tanto en los resultados de calidad del agua entregada por las PTAR 1 y 2 de Zapotlán el Grande, como en los análisis realizados en este estudio en los efluentes de las mismas, coinciden las concentraciones altas de nitrógeno. En este sentido, se recomienda optimizar los procesos de tratamiento terciario, remoción de nitrógeno y fósforo, en las plantas de tratamiento de agua residual, si existiesen, o en su defecto plantear actualizar las PTAR con dichos procesos

para minimizar el contenido de los elementos mencionados, que eventualmente llegarían a la Laguna de Zapotlán actuando en detrimento de la calidad del agua por su potencial promotor de maleza acuática.

2. Realizar muestreos más extensos al interior de la laguna. Para conocer si existe o no presencia sistemática de cloro residual y cloruros en concentraciones por arriba de la NOM-127-SSA1-1194.
3. Realizar muestreos adicionales en los mismos puntos y cerca de otros invernaderos durante las primeras o últimas lluvias que considere la variedad de operaciones agrícolas de la zona y el potencial efecto diluyente del agua de lluvia. También muestreos más extensos, tanto en cuanto a puntos de toma de muestra como de frecuencia temporal, para caracterizar la dinámica de calidad del agua en función de la época del año. La influencia de las lluvias puede llegar a ser clave en la variación de los parámetros que describen la calidad del agua, por ello los muestreos y análisis deben realizarse tanto en época de lluvias como de estiaje para caracterizar los intervalos de concentración máximos y mínimos con influencia de las lluvias.
4. Considerarse seriamente la posibilidad de utilizar el agua tratada para riego agrícola.

Los resultados indican que existen corrientes susceptibles de reutilización cuando menos en la agricultura donde solamente faltaría comprobar la inocuidad de los caudales repitiendo análisis en la época de estiaje.

Dada la calidad del agua en el efluente de las PTAR 1 y 2 de Zapotlán el Grande debería considerarse seriamente la posibilidad de utilizar el agua tratada para riego agrícola, máxime considerando los recursos invertidos en su conducción y tratamiento. La buena calidad mostrada en hierro y manganeso de acuerdo con la NOM-127-SSA1-1994, en las muestras 6 y 7, sugiere que al menos el agua de los canales con aportación de las descargas de las PTAR 1 y 2 de Zapotlán el Grande se podría considerar para la reutilización del agua.

La concentración de cloruros y nitrógeno amoniacal limitaría la reutilización para consumo humano, sin embargo, el contenido de pesticidas y solventes sugiere una calidad satisfactoria para usos tales como la irrigación como se evidenció en las muestras colectadas en época de lluvias.

Actualmente, un porcentaje del agua residual tratada en la PTAR 2 se reutiliza en actividades tales como la construcción o el riego de áreas públicas, a través del llenado de pipas en el sitio. Un análisis de la descarga de la PTAR con los parámetros considerados aquí brindaría información complementaria a los análisis periódicos realizados por SAPAZA para ampliar la prospectiva de la reutilización del agua en otras actividades.

Fotografía 7 Llenado de pipa con agua residual tratada en PTAR 2 de Zapotlán



Fuente: Acervo propio, 2021.

Adicionalmente, el reúso de agua tratada en irrigación disminuiría la presión sobre las reservas de aguas subterráneas que presentan condiciones de sobre explotación. Actualmente, el agua se dirige a la laguna de Zapotlán donde las concentraciones de DBO_5 , nitrógeno total y fósforo total que exceden en varias muestras la máxima concentración para promedio mensual implican un riesgo para la protección de la vida acuática.

5. Potabilización de agua de pozos con mayor concentración de hierro y manganeso.

En cuanto al análisis de agua subterránea, la calidad del agua del pozo 16 arrojó valores por encima del límite máximo permisible para hierro y manganeso establecidos por la NOM-127-SSA1-1994. En este caso y en otros que presenten concentraciones elevadas de hierro y manganeso, respecto a la norma antes citada, se recomienda planear una planta potabilizadora con el proceso de floculación/coagulación, filtración con cama de arena y desinfección. Es probable que, tras un análisis económico riguroso, el costo de instalación de una o más plantas potabilizadoras se vea amortizado con relativa rapidez comparado con el costo anual del polímero utilizado para mejorar la calidad del agua.

2.5. Análisis agropecuario

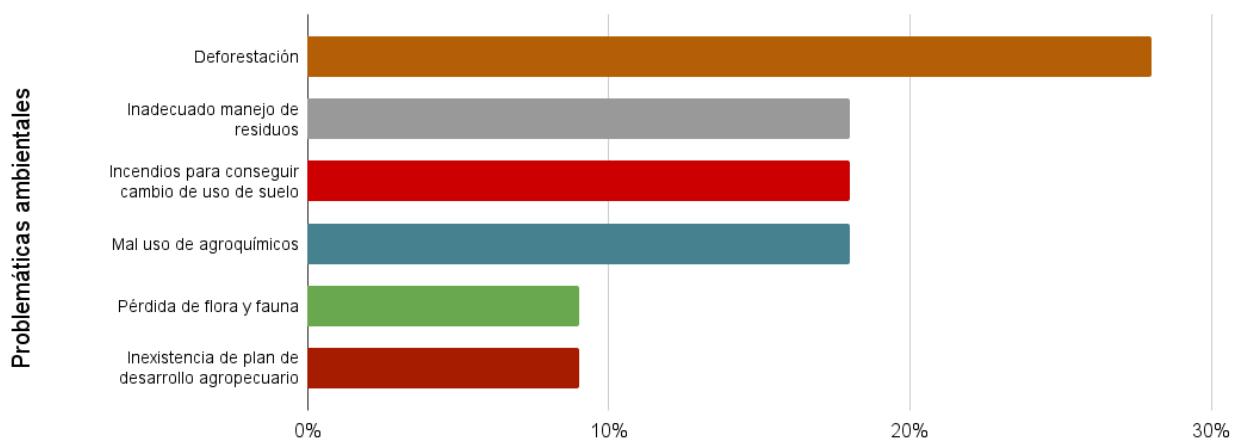
Sobre los cambios estructurales y la reconversión productiva del campo en el Sur de Jalisco, Díaz (2016) y Macías y Sevilla (2007), señalan que a partir de los años ochenta comenzó en el Sur de Jalisco un proceso de reconversión productiva, cuando México ingresó al libre comercio y adoptó el modelo neoliberal. Particularmente, en la región Sur de Jalisco se encontraron condiciones óptimas para el desarrollo de cultivos de alta rentabilidad y con posibilidades de exportación, debido a las condiciones climáticas y geofísicas, así como por la disposición de tierra, agua y mano de obra baratas.

Entre los cambios estructurales en la política agraria que propiciaron la reconversión productiva, apuntan Macías y Sevilla (2007), la reducción de los apoyos gubernamentales al campo, la liberalización del mercado agrícola y la reforma al artículo 27 de la Constitución que abrió posibilidad de que capital privado accediera a tierras ejidales. Bajo ese contexto, refieren los investigadores, los pequeños productores locales cayeron en crisis por la falta de rentabilidad de sus productos y la apertura comercial, mientras que otros actores externos encontraron la oportunidad de incursionar en esta región el cultivo intensivo.

Desde los años ochenta, pero particularmente a partir del año 2000, los cultivos tradicionales (maíz, caña de azúcar y forrajes), así como los bosques de pino, fueron paulatinamente reemplazados por hortalizas y, posteriormente, por frutas que generaban mayor rentabilidad. Los dos cultivos que han ganado predominio y fuerza en la zona, refieren Díaz (2016) y Macías y Sevilla (2007), son las *berries* y el aguacate. El boom generado en torno a la producción de estas frutas, anotan Macías y Sevilla (2007), se explica por la posibilidad de exportación a Estados Unidos y la buena promoción que estos productos han tenido por sus beneficios en la salud. Los grandes productores de estos cultivos han encontrado en la región sur tierras que generan muy buenos rendimientos y las condiciones climáticas adecuadas para generar una producción de alta calidad, óptima para el mercado europeo y norteamericano.

Lo anterior ha llevado a un deterioro del territorio multicausal y sinérgico que el propio sector agropecuario de Zapotlán reconoce y dimensiona. La deforestación, el inadecuado manejo de residuos, los incendios provocados para lograr cambios de uso de suelo, o el inadecuado uso de agroquímicos lideran las problemáticas ambientales, seguidos por la pérdida de biodiversidad y la necesidad de planes de desarrollo agropecuario. La Ilustración 48 representa en porcentajes la información anterior.

Ilustración 48 Problemáticas ambientales relacionadas con el sector agroalimentario

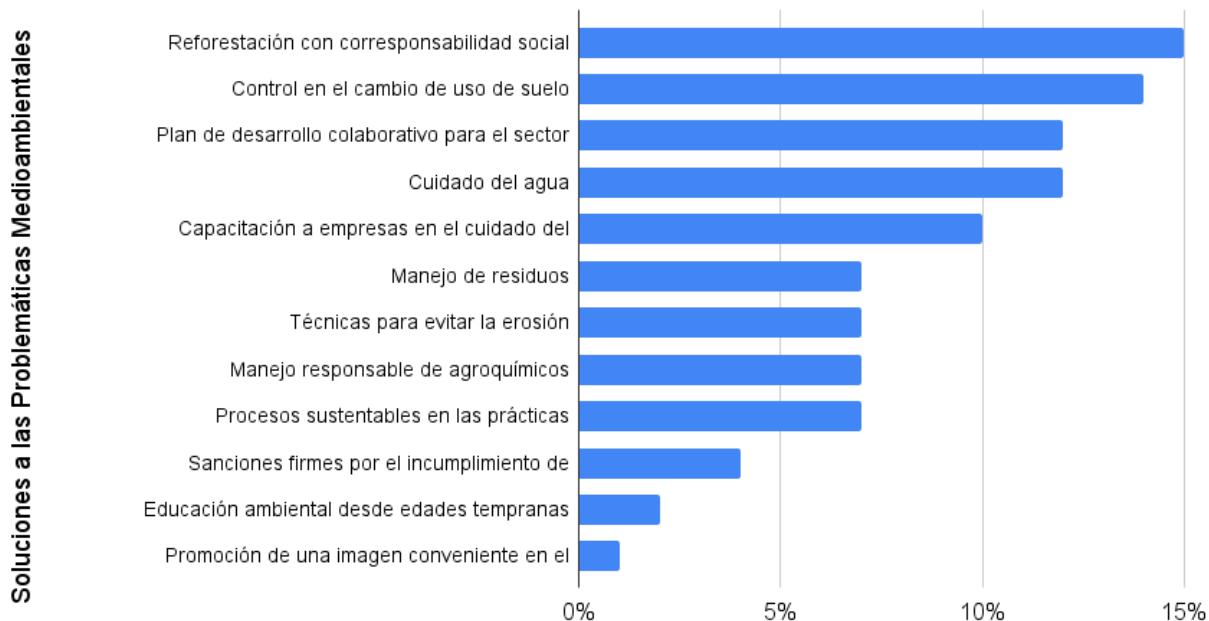


Fuente: Elaboración propia con datos de resultados de la consulta ciudadana
Zapotlán el Grande Rumbo al 2033

Por su parte, y según la misma fuente, las soluciones a las problemáticas ambientales apuntadas desde el sector agroalimentario zapotlense primordialmente apuntan a reforestar, controlar los cambios de uso de suelo, planeación colaborativa del sector, el cuidado del agua y la capacitación ambiental empresarial.

No obstante, de nuevo figuran otras soluciones en materia de manejo de residuos, control de erosión, uso responsable de agroquímicos y prácticas-procesos sustentables, seguidos por la aplicación de sanciones por incumplimiento, la educación ambiental temprana, y la promoción de una imagen adecuada del sector.

Ilustración 49 Soluciones a las problemáticas ambientales desde el sector agroalimentario

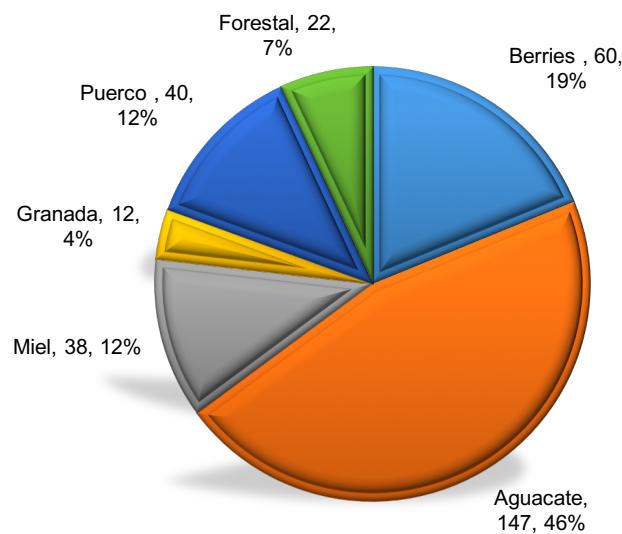


Fuente: Elaboración propia con datos de resultados de la consulta ciudadana
Zapotlán el Grande Rumbo al 2033

Como parte de estas soluciones, la región sur de Jalisco está apostando a diversos centros de valor agregado en asuntos forestales y agroalimentarios (con relevancia especial de caña de azúcar, agave, aguacate, jícama, *berries*, *carne*, *cera* y *miel de abeja* entre otros), con soporte tecnológico, y que se vincula con la creación y gestión de la innovación, el emprendimiento y el conocimiento, con sede destacada en Zapotlán. Destaca el Centro de Innovación y Emprendimiento de Zapotlán El Grande, promovido al menos desde dependencias de desarrollo económico municipal, así como desde el Gobierno de Jalisco, a través de la Secretaría de Desarrollo Rural y la de Innovación, Ciencia y Tecnología.

Cabe señalar, a su vez, que la Cuenca alberga la estructura productiva más importante de la Región Sur de Jalisco, y que aproximadamente 319 Unidades Económicas son las más grandes e impactan sobre manera en el desarrollo agropecuario.

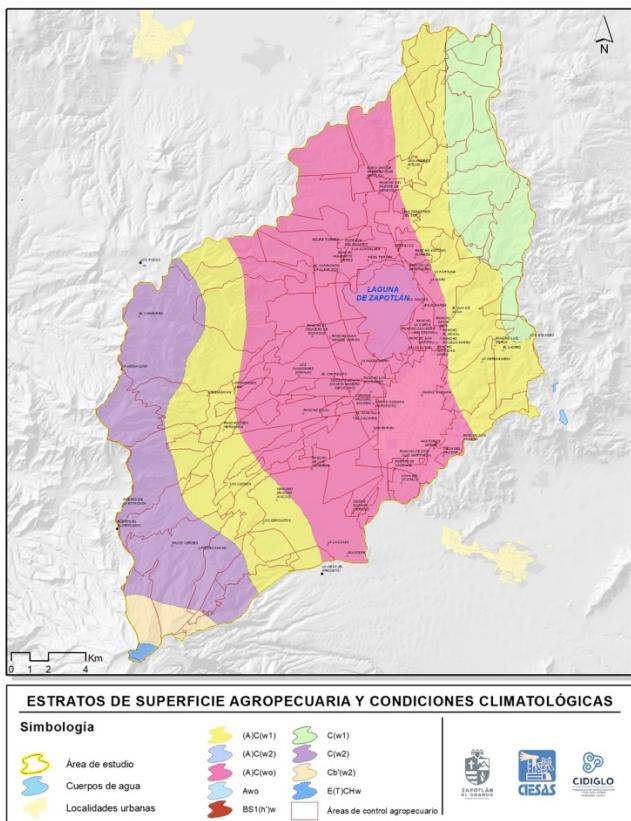
Ilustración 50. Unidades Económicas de gran magnitud en la zona de estudio.



Fuente: Elaboración propia.

Esta realidad demuestra que la región en estudio se caracteriza porque representa un importante nodo de desarrollo agropecuario en el estado de Jalisco. Sin embargo, existen aún situaciones de vulnerabilidad que pueden afectar el crecimiento sectorial, entre los que destacan, los cambios en las condiciones climatológicas, explotación del agua sin evaluaciones de impacto reales para la toma de decisiones en el corto, mediano y largo plazo. Naturalmente esto es algo de máxima relevancia dado que el sector agroalimentario es sumamente sensible a las características climáticas.

Ilustración 51 Estratos de superficie agropecuaria y condiciones climatológicas.



Fuente: Elaboración propia

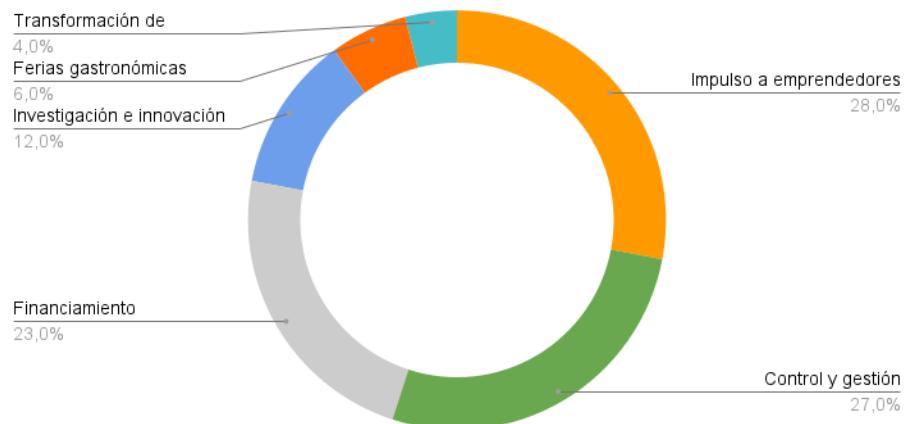
Aunado a lo anterior, en el ámbito de desarrollo agroindustrial existen reducidos niveles de generación de valor a los productos agropecuarios, pero, también se observa una relación importante de vulnerabilidad social.

Por ejemplo, en Zapotlán el Grande el porcentaje de población ocupada con ingreso de hasta 2 salarios mínimos alcanzó en 2015 el 31.35%, San Gabriel 41.56% y Gómez Farías 37.61%. de esta manera, se evidencia la necesidad de examinar los encadenamientos y sistemas productivos más importantes, sobre todo, se requiere identificar cuáles son las problemáticas actuales de las cadenas valor con el propósito de mejorar el diseño e implementación de las políticas públicas e incentivar la economía agropecuaria regional así como de los hogares (familias) más vulnerables cuyos ingresos dependen de la misma.

Los planes de desarrollo municipal de Zapotlán el Grande y de otros municipios de sur de Jalisco han identificado desde hace más de una década entre sus prioridades el reducir la presión natural la limitada especialización pecuaria como vulnerabilidad productiva.

En cuanto a las acciones para impulsar la agroindustria, el sector agroalimentario y forestal de Zapotlán identificó principalmente las siguientes.

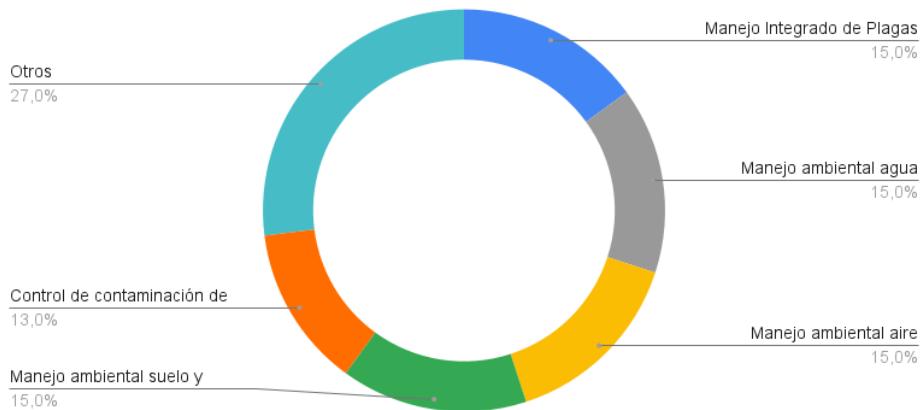
Ilustración 52 Acciones para impulsar la agroindustria



Fuente: Elaboración propia con datos de resultados de la consulta ciudadana
Zapotlán el Grande Rumbo al 2033

En materia de buenas prácticas en el sector agroalimentario, los participantes en los talleres de la referida consulta manifestaron que realizan buenas prácticas relacionadas con manejo de plagas y control de contaminación de producto, y manejo ambiental de agua, aire, y suelo o residuos prácticamente por partes iguales.

Ilustración 53 Buenas prácticas agroalimentarias

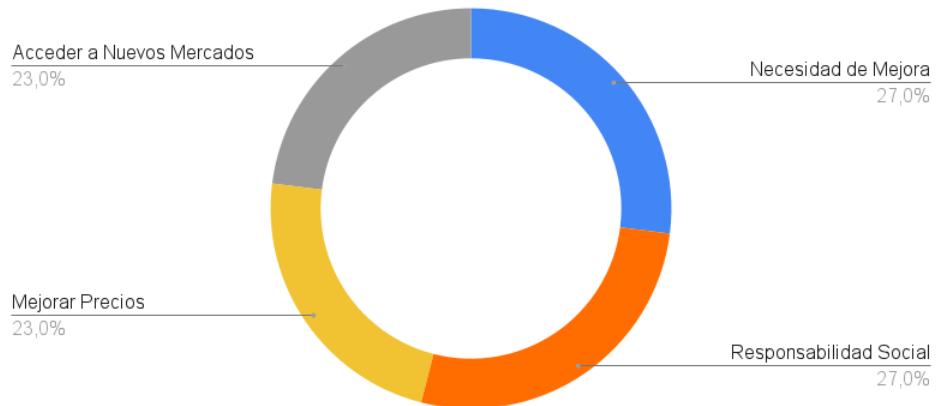


Fuente: Elaboración propia con datos de resultados de la consulta ciudadana
Zapotlán el Grande Rumbo al 2033

Resulta también relevante para los productores, principalmente en vistas a la exportación, acceder a certificaciones de productos y procesos, conscientes de que se orientan al cumplimiento de estándares de calidad.

Los intereses en las certificaciones resultaron del siguiente modo.

Ilustración 54 Motivos de interés en certificaciones agroalimentarias



Fuente: Elaboración propia con datos de resultados de la consulta ciudadana
Zapotlán el Grande Rumbo al 2033

2.5.1. El sector agrícola

En la región, aunque no propiamente en la cuenca de estudio, la puesta en operación de las presas El Carrizo y Vista Hermosa, en el municipio de Tamazula de Gordiano, apuntan Macías y Sevilla (2007), garantizó el acceso al agua y favoreció el desarrollo de huertas e invernaderos. El auge de estos nuevos productos agrícolas, apuntan Macías y Sevilla (2007), ha modificado radicalmente el mapa de actores presentes en la región y las formas de producción. Díaz (2016) destaca, entre estos cambios: la venta de tierras agrícolas y forestales por parte de ejidatarios y propietarios privados, la presencia de empresas de capital nacional y extranjero y de productores de aguacate del estado de Michoacán, una alta concentración de la tierra en manos de pocos productores, así como la proletarización o salarización de campesinos de la región y la migración de jornaleros agrícolas.

Dos eventos favorecieron particularmente estos cambios, anotan Macías y Sevilla (2007), el primero fue el “Programa de Desarrollo de la Industria de Berries en el estado de Jalisco”, lanzado por el gobierno estatal en 2007 con objeto de hacer la región sur de Jalisco una región exportadora de *berries* mediante contratos entre productores locales y agroempresas nacionales y transnacionales y; el segundo, en 2018 cuando SAGARPA declaró que Zapotlán el Grande y Gómez Farías eran zonas libres de gusano barrenador de hueso, proceso previo para exportar aguacate a Estados Unidos.

La reconversión agroproductiva en el Sur de Jalisco, señalan Díaz (2016) y Macías (2010) ha tenido diferentes impactos en el plano económico y laboral. Como efectos positivos, destacan los beneficios económicos de los productores de estos cultivos, el crecimiento de unidades económicas que proveen maquinarias e insumos agrícolas o que fungen como intermediarios comerciales, la disminución de la migración y las oportunidades laborales en medianas y grandes empresas. Empero, como efectos negativos subrayan el hecho de que la mayoría de los empleos no son bien remunerados ni permanentes y que se han registrado casos de explotación laboral y violaciones a los derechos humanos de los jornaleros agrícolas. Este muy considerable

auge de la agricultura protegida particularmente (invernaderos), ha incrementado el empleo, femenino en buena medida, aunque también la problemática del agua, de por sí ya complicada por la veda aplicada por el Gobierno Federal a través de la CONAGUA.

La incorporación de la mujer dichos empleos también ha ocasionado problemas sociales y familiares (incluso infantes que se quedan solos en la vivienda, según entrevistados), aunado a la costumbre de tomar alcohol en la calle, y la problemática social, pública, y multifactorial que supone. Del mismo modo, la carencia de personal local, tanto técnicos como jornaleros, obliga a los productores a conseguir talento y mano de obra fuera del estado, lo cual genera problemas adyacentes como la necesidad de albergues, atención en salud suficiente y específica, entre otros (Aguilera, Cáñez, y Balderas 2018:21)

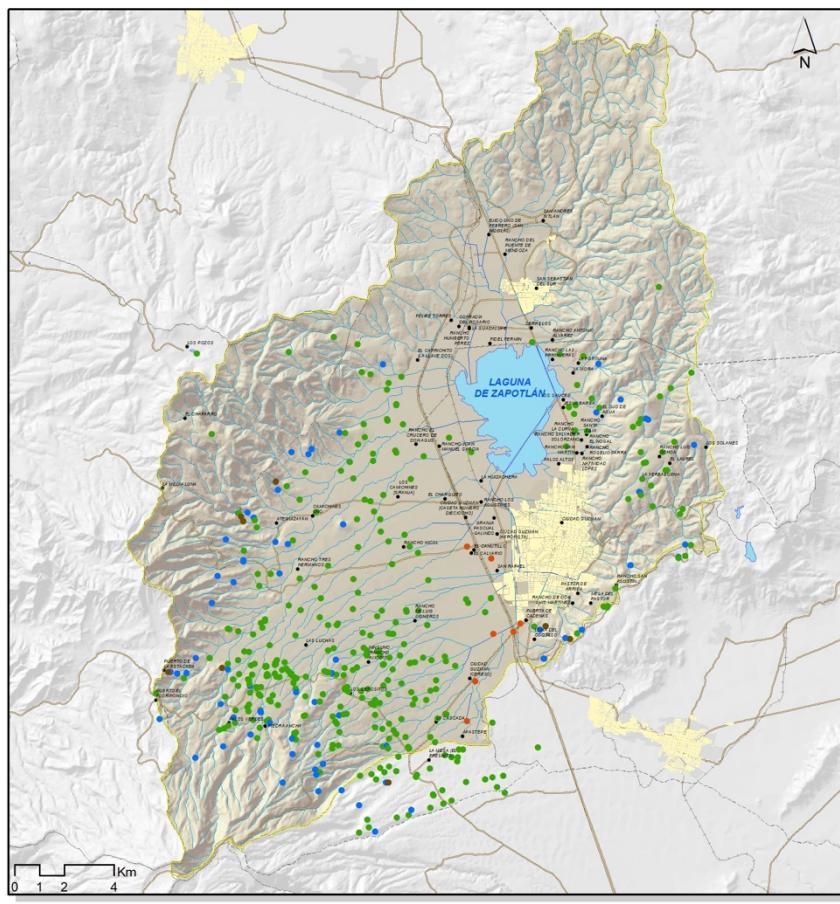
En el estudio de Escobar, et. al. (2020), se entrevistó a más de 805 trabajadores en cultivos de *berries* y se encontró que el salario de los jornaleros está por encima de los salarios normalmente accesibles para personas de baja escolaridad y que hablan una lengua indígena. Algunos trabajadores refirieron que el salario en las *berries* es superior a lo que han obtenido, por ejemplo, trabajando en la industria de la manufactura. Incluso en temporada alta, pueden obtener un mejor salario y ahorrar o pagar algunas deudas. La migración de trabajadores agrícolas, refieren los investigadores, ha generado cierto descontento o perjuicios en la población de Ciudad Guzmán, ya que algunos habitantes refieren que los jornaleros se embriagan en público y se pueden generar conflictos en las calles, así como que se han elevado los precios de bienes básicos y, particularmente, de las viviendas. En cuanto a los daños ambientales generado por estos cultivos y el uso de agroquímicos, Macías (2010) subraya el peligro del agotamiento de los suelos, la pérdida de superficie boscosa, la afectación de la flora y fauna originaria, la disminución de las reservas de agua y el aumento de plagas agrícolas.

De acuerdo con el Marco Censal Agropecuario (INEGI 2016) existe un total 6,622 terrenos agrícolas en una superficie de 128,089.5837 hectáreas (ha) en los municipios de Gómez Farias, San Gabriel y Zapotlán el Grande. Asimismo, la distribución total en los territorios en estudio es de la siguiente manera: al interior del Municipio de Gómez Farias se contabilizaron 1,684 terrenos agrícolas en una superficie total de 32,779.72 ha; en San Gabriel 3,514 terrenos y 72,016.13 ha, y en Zapotlán el Grande 1,424 terrenos con 23,293.73 ha.

El régimen de escorrentía de la cuenca se ha visto alterado por los cambios de uso de suelo y otras dinámicas de transformación territorial y paisajística, con diversas consecuencias en materia ambiental y de riesgo.

Muestra de ello es la siguiente ilustración que identifica los almacenamientos artificiales de agua (conocidos como ollas) y su ubicación en razón de gradientes de pendiente. Y donde se observa al compararla con la siguiente que la agricultura de temporal habría pasado a ser de riego, favorecida por las ollas de almacenamiento de agua, llenadas con agua de pozo o de lluvia en temporada.

Ilustración 55 Almacenamiento de agua a cielo abierto (ollas) por pendientes



ALMACENAMIENTO DE AGUA A CIELO ABIERTO (OLLAS) POR PENDIENTES

Simbología

- Área de estudio
- Cuerpos de agua
- Localidades urbanas

Pendiente

- | | | |
|---|----------------|----------------------------------|
| ● | 20 - 80 grados | (8 depósitos) |
| ● | 10 - 20 grados | (69 depósitos) |
| ● | 0 - 10 grados | (336 depósitos) |
| ● | 0 - 10 grados | (7 depósitos cercanos a canales) |



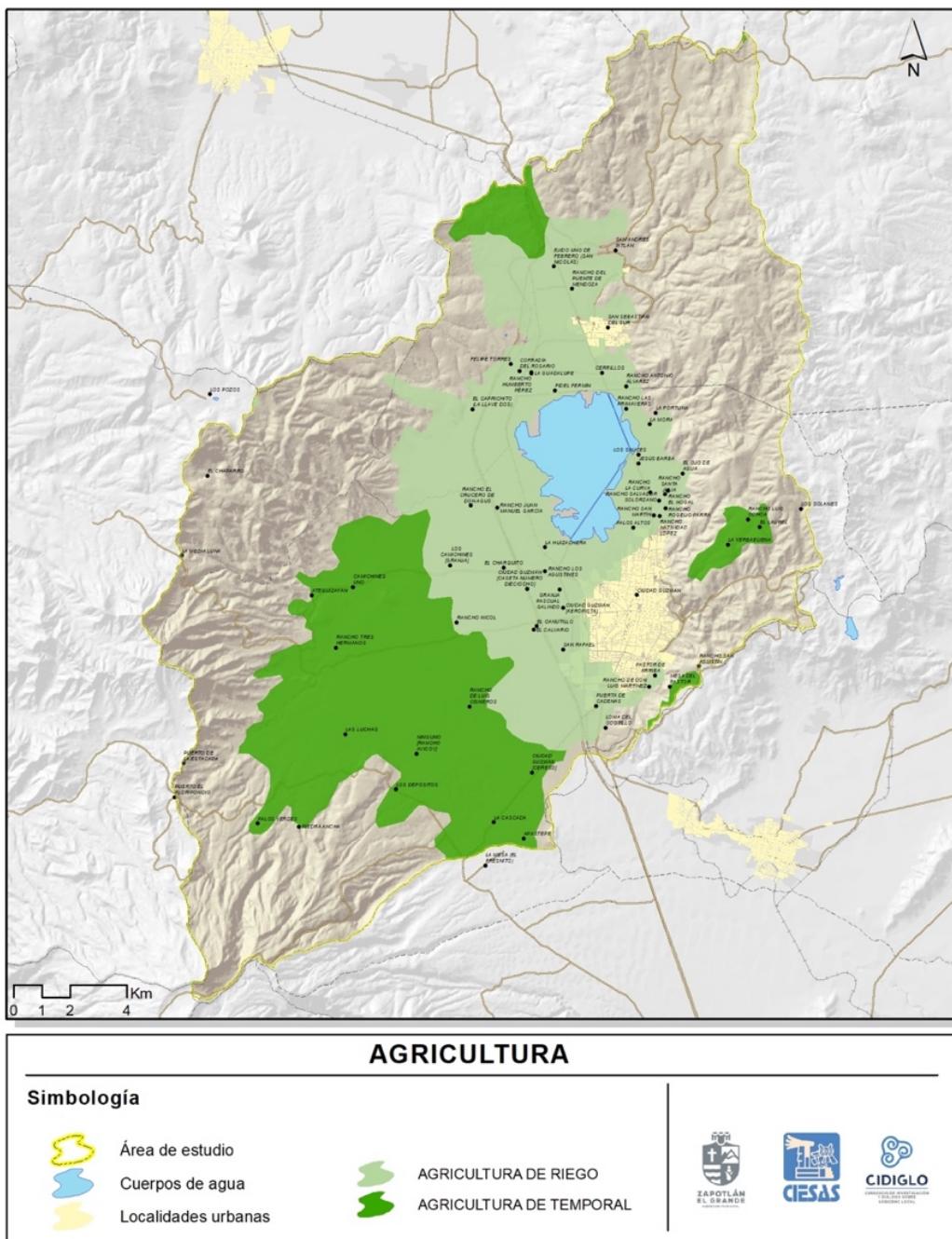
Fuente: Elaboración propia. Trabajos de actualización del Programa de Ordenamiento Ecológico Local de Zapotlán el Grande.

Fotografía 8 Olla de almacenamiento de agua para riego de aguacate en Gómez Farías



Fuente: Acervo fotográfico propio, 2021.

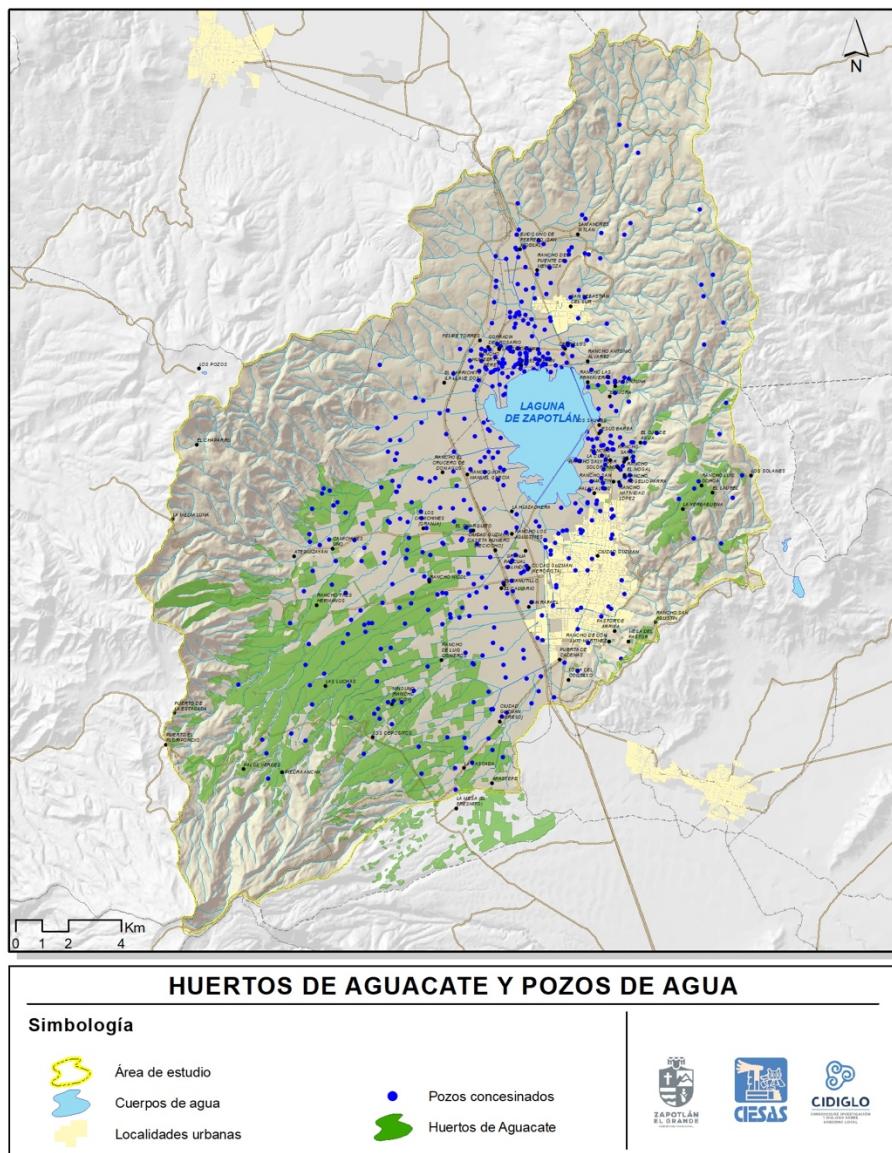
Ilustración 56 Agricultura de riego y de temporal en la cuenca.



Fuente: Elaboración propia

Lo cual guarda a su vez relación con la proliferación de huertas de aguacate en la cuenca, principalmente en el área sur y suroeste de la misma.

Ilustración 57 Superficie destinada a huertas de aguacate, y aprovechamiento de aguas



Fuente: Elaboración propia

Regresando al tema de los invernaderos, Housini *et. al.* (2015) aportaron diversos datos relevantes al evaluar el cambio de uso del suelo provocado por los invernaderos en el periodo 2000-2015 en el municipio de Zapotlán el Grande, a través de imágenes satelitales LANDSAT, a fin de determinar el estado de fragmentación del paisaje (ver Ilustración 59). El paso de 350 Ha de invernaderos en 2010 a 1,250 en 2015. Y de un 3,5% del total de la superficie agrícola de dicho municipio, a un 12,5% de la misma.

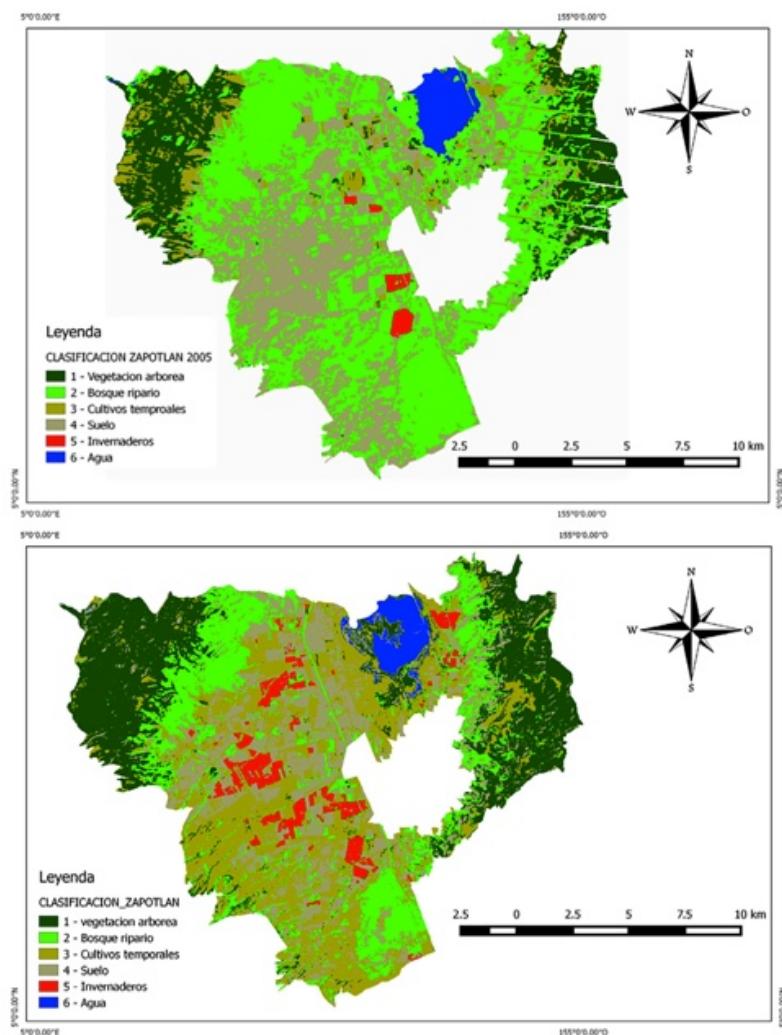
Ilustración 58. Superficie ocupada por invernaderos por año (2000-2015)



Fuente: Housini et. al. (2015)

Claramente se puede apreciar la pérdida de vegetación de todo tipo y la sustitución de cultivos, como la proliferación de invernaderos en la cuenca (ver ilustración, para 2005 y 2015)

Ilustración 59. Mapa de cobertura y uso de suelo en Zapotlán el Grande (2005 Vs 2015)



Fuente: Housini et. al. (2015)

No obstante, lo anterior, como se puede identificar en la información que se muestra en la Tabla 7, los datos nos confirman dicha tendencia e incluso marcan un incremento muy significativo especialmente en años recientes, y se estaría cerca de las 3,500 has de superficie destinada a agricultura protegida en la cuenca, solamente entre Zapotlán El Grande y Gómez Farías, pues en el territorio de San Gabriel en la cuenca no se dan estos usos.

Tabla 7. Distribución de unidades económicas con agricultura protegida en la Cuenca (total municipal)

Municipio y principal cultivo	Terrenos principalmente con agricultura protegida	
	Número	Superficie total (ha)
Zapotlán El Grande	221	3147.39
Frambuesa	79	1186.60
Otros cultivos	139	1127.89
Cultivos agrupados	3	1332.89
Gómez Farías	18	256.21
Jitomate (tomate rojo)	7	78.83

Frambuesa	3	35.66
Otros cultivos	5	17.61
Cultivos no especificados	3	124.11
San Gabriel	56	688.58
Jitomate (tomate rojo)	49	638.14
Cultivos agrupados	7	50.43

Fuente: Elaboración propia con datos de INEGI. Marco censal agropecuario 2016.

Fotografía 9 Laguna e invernaderos desde manantial en Gómez Fariás



Fuente: Acervo fotográfico propio, 2021.

Concluyen los autores en la obra indicada, que “estos cambios tienen una mayor extensión en las áreas que eran para agricultura temporal aun cuando, en términos absolutos, las cifras pueden estar subvaluadas o sobrevaloradas. La extensión de dichos cambios puede conllevar a problemas ambientales severos que a su vez podrán afectar la alimentación y por supuesto la seguridad alimentaria de la población del Municipio de Zapotlán el Grande.” Housini et. al. (2015:43)

Existen cultivos que han experimentado una tasa de crecimiento media anual en el periodo 2006-2020 positiva: Aguacate (34.29% en Zapotlán, en Gómez Farias 46.12%, y en San Gabriel con 20.05%, respectivamente), agave (en el caso de San Gabriel), chile verde, tomate rojo entre otros. Esta conversión productiva se debe fundamentalmente a la utilización de niveles de tecnología productiva en espacios

controlados y agricultura protegida, generando un mayor nivel de valor agregado de los productos agrícolas.

Como contraparte, el sector agrícola de producción convencional ha sufrido una reducción entre 2006 y 2020 muy importante en la producción de cultivos como son: Alfalfa achicalada, Avena forrajera seca, Calabacita, Chile verde, Maíz en grano, Sorgo en grano, entre otros, cuyos datos específicos se aportan en la Tabla 8.

Tabla 8 Tasas de Crecimiento media anual de los principales productos agrícolas en la Región (2006/2020)

Municipio/Porcentaje	Gómez Farías	San Gabriel	Zapotlán el Grande
Agave		22.05	
Aguacate	20.05	46.12	34.29
Alfalfa verde	-1.94	-0.27	-1.05
Avena forrajera en verde	-7.70		
Calabacita		14.55	-14.50
Chile verde		11.15	
Frijol		9.14	
Maíz grano	2.22		-16.98
Pepino		1.82	
Sorgo grano		-3.77	-21.36
Tomate rojo (jitomate)		29.65	7.07
Tomate verde		-3.76	
Trigo grano		-23.25	

Fuente: Elaboración propia con datos de SIAP SIACON – SADER, 2020..

Para dimensionar lo anterior en cada uno de los principales productos agrícolas para cada uno de los tres municipios principales en la cuenca, se incorporan a continuación las respectivas Tablas 9, 10, y 11 con datos informativos de los respectivos volúmenes de producción para el periodo 2013-2020.

Tabla 9 Volumen de la producción de principales productos agrícolas en Gómez Farías en toneladas (ton) 2003-2020.



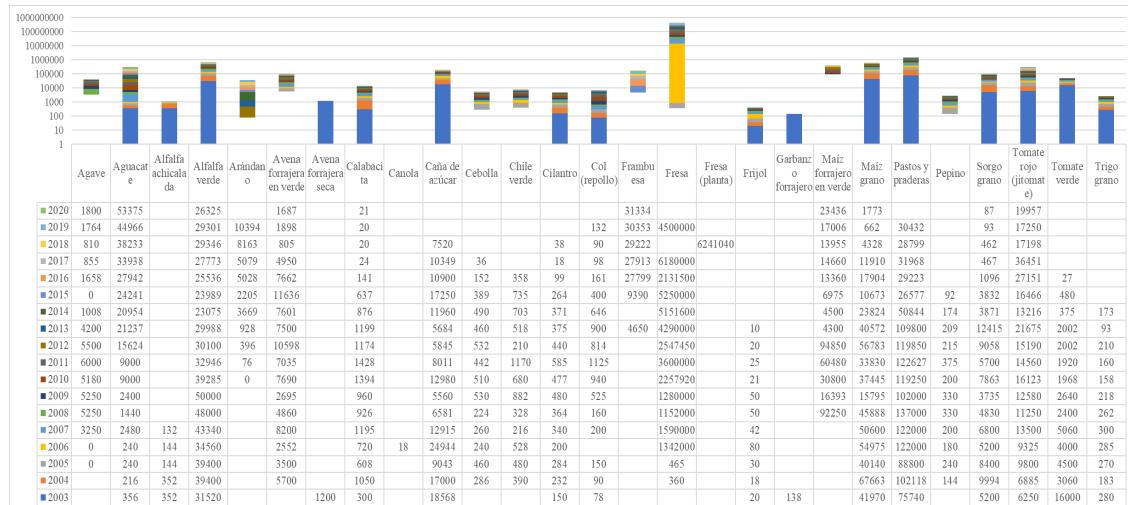
Fuente: Elaboración propia con datos de SIAP SIACON – SADER, 2020

**Tabla 10 Volumen de la producción de principales productos agrícolas en San Gabriel en toneladas (ton)
2003-2020.**



Fuente: Elaboración propia con datos de SIAP SIACON – SADER, 2020

Tabla 11 Volumen de la producción de principales productos agrícolas



Fuente: Elaboración propia con datos de SIAP SIACON – SADER, 2020

Agroquímicos, hidrología y transporte de contaminantes

A la escasez inducida por la sobreexplotación de aguas subterráneas, se suman las fuentes de contaminación antropogénica del agua resultante del uso desmedido de fertilizantes, plaguicidas y abonos, con un crecimiento importante en cultivos intensivos como el aguacate y las *berries*, y en su búsqueda de competitividad internacional con la mayor rentabilidad posible para estos productos exportables, principalmente a Estados Unidos de América, Europa y Japón, que no obstante requieren de certificaciones de buenas prácticas para lograr su comercialización satisfactoria.

El incremento exponencial de huertas de aguacate provoca impactos socioambientales que si no se controlan será un contribuyente importante a la vulnerabilidad regional ante el cambio climático, aunado a sus emisiones por deforestación y degradación de suelos, y al uso de agroquímicos, además de la alteración hidrológica por su elevada demanda del recurso, principalmente (Aguilera, Cáñez, y Balderas 2018:21)

Subrayan Macías y Sevilla (2021), que el uso intensivo de agroquímicos también ocasiona efectos en la salud de animales humanos y no humanos; y en 2016 y 2017, en municipios como Zapotlán y San Gabriel, se registró un incremento en la mortandad de abejas en sus colmenas, así como la disminución del número de colmenas y la producción de miel por colmena. Apicultores y especialistas en el tema, refieren los investigadores, relacionan estos fenómenos con el envenenamiento ocasionado por pesticidas. Terriquez y Housini (2019) analizaron los datos de plaguicidas utilizados entre 2008 y 2018 en Zapotlán, y encontraron que se utilizaron 78 tipos de plaguicidas distintos con alto riesgo sobre la salud.

Particularmente, destacan Macías y Sevilla (2007), el caso de la Laguna de Zapotlán, el recurso hídrico más importante en el sur de Jalisco. En los últimos años, señalan los investigadores, se ha recrudecido el azolvamiento de la Laguna por la deforestación de las zonas serranas y se ha incrementado el nivel de contaminación del agua por el arrastre de los agroquímicos utilizados en huertas e invernaderos.

La proliferación de maleza acuática ha provocado deterioro ecológico e impactos negativos en la economía local. Su presencia provoca riesgos a la salud, incrementa la presencia de vectores de infección, azolve y dificultades en la navegación en detrimento de valores paisajísticos y pérdida de agua por aumento en la evapotranspiración (Hernández 2016). Según la autora las especies más comunes son lirio acuático (*Eichhornia crassipes*), junco (*Schoenoplectus californicus*) tule (*Typha domingensis*), carrizo (*Arundo donax*), lechuga de agua (*Pistia stratiotes*), y lenteja de agua (*Lemna minor*)

Fotografía 10 Barcas de pesca artesanal y malezas acuáticas en la laguna de Zapotlán



Fuente: McCulligh et al. 2018.

La descripción del efecto de agroquímicos en fuentes de agua superficial y subterránea e indicios de su presencia en el ambiente en general es relevante, tomando en cuenta el debate actual que existe sobre pesticidas y su sobre utilización teniendo al glifosato a la cabeza de los agroquímicos más utilizados y con efectos nocivos probados sobre la salud.

A pesar de que la problemática de malezas continúa, han dado resultados los esfuerzos colectivos de control biológico y mecánico desde hace al menos 3 años. El control biológico se ha realizado para el control del lirio, con la introducción de dos especies de coleópteros (*Neochetina eichhornia* y *Neochetina bruchiipara*) y una especie de hongo fitopatógeno (*Acremonium zonatum*). Y se trabaja también en atender las causas, a través de diversas actividades con los productores agrícolas para reducir la cantidad de fertilizante químico, y sustituirlos por fertilizantes orgánicos o biofertilizantes (Gobierno de Zapotlán et. al. 2021)

Por lo que se refiere al uso de agroquímicos, de acuerdo al Plan de Manejo de Envases Vacíos de Agroquímicos y Afines (PLAMEVAA), denominado “Conservemos un Campo Limpio” de la Asociación Mexicana de la Industria Fitosanitaria A.C. (AMIFAC) y como parte de su misión (recolectar los envases vacíos de agroquímicos y afines que se encuentran en el campo mexicano para minimizar la reutilización de los mismos), tiene como objetivo evitar la contaminación de mantos acuíferos y canales de riego, así como evitar la acumulación y quema de los envases con su consiguiente contaminación a la atmósfera, y establecer formas de manejo como el triple lavado y la disposición segura y adecuada de los envases. (AMIFAC, 2007). En el Plan de manejo señalado se recomienda que los usuarios finales (Agricultores, empaques, empresas de aerofumigación, controladores de plagas urbanas, etc.) cuenten con un máximo de seis meses para regresar los envases de agroquímicos y afines que compró o que tienen al centro de acopio primario o temporal más cercano. Este requisito lo podrán comprobar presentando su nota de compra.

La estimación de generación de envases vacíos de agroquímicos en la cuenca aún no se determina. Las autoridades en colaboración con los generadores y otros aliados están trazando los instrumentos de gestión de estos residuos en el ámbito de la cuenca.

Los plaguicidas utilizados en la agricultura vienen generalmente en tres presentaciones, líquidos, granulados y en polvo. Los que vienen en polvo si no se tiene un buen manejo estos pueden transportarse con el viento y llegar hasta aguas superficiales y contaminar. En general los plaguicidas se mezclan con agua como medio de transporte para su aplicación y el líquido sobrante se llega a verterlo al drenaje o desagüe, esto ocasiona la contaminación de cauces, canales, acequias y aguas subterráneas.

En la producción de aguacate se realizan aplicaciones con parihuelas o bombas de bazuca para aplicar plaguicidas como el “Paracuat” (plaguicida altamente tóxico, pues provoca lesiones pulmonares irreversibles, además de eliminar microorganismos del suelo que favorecen el crecimiento de las plantas) esto ocasiona una propagación de estos productos por el viento sin tener un control en su desplazamiento, así como el uso excesivo de fertilizantes en huertas que no cuentan con un sistema de riego tecnificado.

La producción de *berries*, en su mayoría cuenta con tecnificación en sistema de riego, uso de macetas, sustratos, etc. Y utilizan principalmente agua del subsuelo, lo cual ocasiona abatimientos sobreexplotación hídrica, y salinización de suelos en cultivos que no se encuentran en maceta. Así como el uso de plaguicidas como “Malation”, insecticida tóxico para el hombre y la fauna que puede persistir por muchos años contaminando las aguas. En la producción de granos, se utiliza con frecuencia el glifosato, herbicida considerado por la OMS como posible causante de cáncer, y que también es un contaminante de suelos, mantos acuíferos y factor de pérdida de biodiversidad.

2.5.2. El sector pecuario

En cuanto a los sistemas y prácticas de producción agropecuaria, en la cuenca se da la ganadería en todas las modalidades existentes, se produce leche con tecnología especializada para un manejo preventivo y de mejoramiento genético, con dietas basadas en silo mayormente producidos por ellos mismos (alfalfa y avena), ordeña mecanizada, por otro lado están los llamados sistemas de producción familiar o de traspatio, con niveles de producción bajos, instalaciones rudimentarias y ordeño manual con producción de leche para autoconsumo o vendida a intermediarios que la llevan a las queserías regionales (Michel P., 2006). También se cría ganado para producción de carne tanto de forma intensiva como familiar, la producción de porcinos ha crecido debido a la demanda de carne y de manera muy incipiente producción de ovinos y caprinos (RAMSAR, Programa de conservación y manejo de la Laguna de Zapotlán).

El municipio de Zapotlán el Grande, presenta una problemática muy similar con el agrícola debido a la falta de organización y participación accionaria de los productores con las empresas industrializadoras, el escaso acceso al financiamiento formal para modernizar sus procesos trae como resultados altos costos de producción, así como las dificultades para adquisición de insumos en común que abaraten sus costos. Por otra parte, se tiene la importación de carne, leche en polvo, lácteos y sueros por las grandes empresas comercializadoras nacionales y trasnacionales.

Se observa que entre los años 2006 al 2020 el área de estudio ha experimentado, en general, una caída de ciertos productos pecuarios; por ejemplo, la producción de huevo – plato en Zapotlán El Grande experimentó una reducción del 29.73% de crecimiento media anual; le sigue la producción de cera, miel, entre otros. No obstante, se evidencia que la producción de carne y ganado en pie ganó terreno marginalmente durante el periodo en estudio. Entre los municipios de la cuenca que mayor repunte han tenido en el crecimiento pecuario se encuentra San Gabriel en el caso de carnes, ganado en pie y leche, principalmente.

A su vez, se ha generado un desplazamiento de los ranchos ganaderos que se encontraban alrededor de la laguna en favor de cultivos de *berries* (Gobierno de Zapotlán et. al. 2021:40)

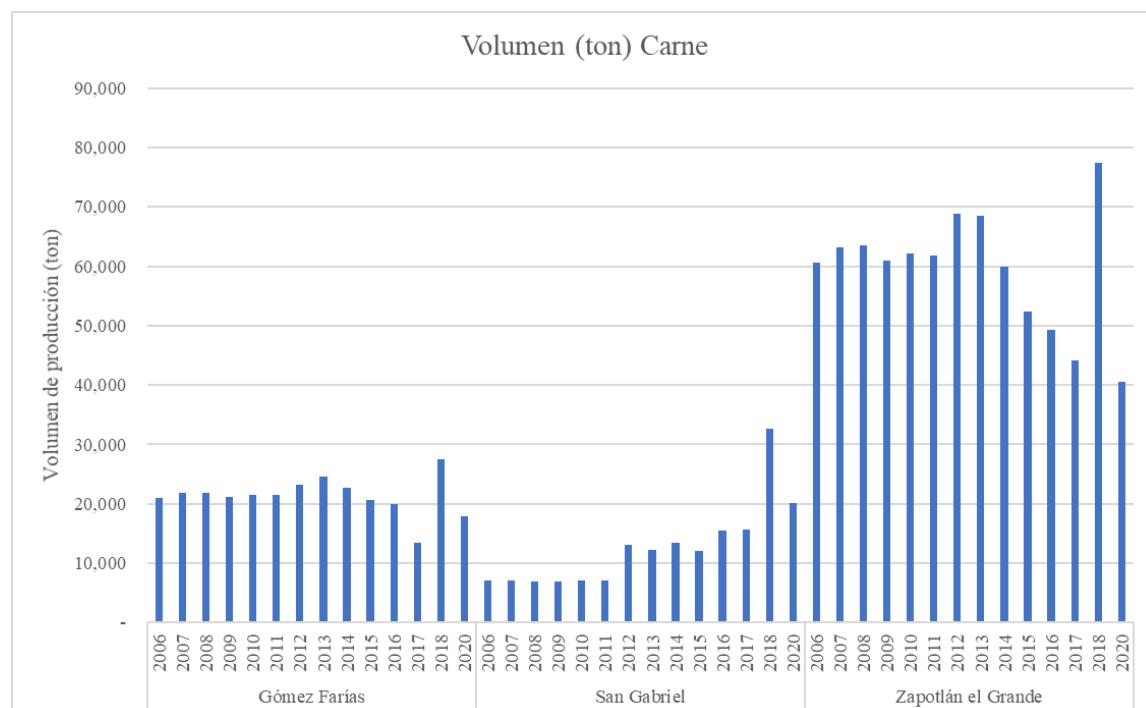
Tabla 12 Tasas de Crecimiento media anual de los principales productos pecuarios (2006/2020)

Municipio/ Porcentajes	Carn e	Ganado en pie	Huevo- plato	Leche	Miel	Cera	Total general
Gómez Farías	-6.45	-6.13	-28.84	0.19	10.85	1.09	-1.24
San Gabriel	11.53	9.47	-8.17	6.24	-3.19	-11.64	8.40
Zapotlán el Grande	1.66	1.52	-29.73	-4.41	-4.80	-13.20	-3.06

Fuente: Elaboración propia con datos de SIAP SIACON – SADER, 2020

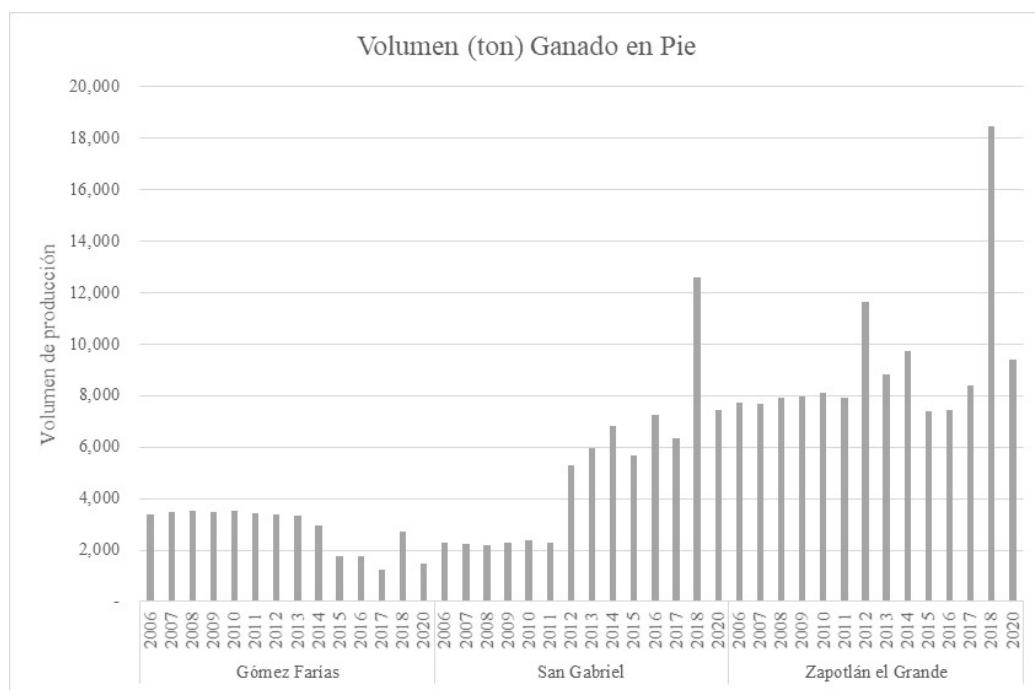
En relación a lo anterior, en el siguiente conjunto de ilustraciones se exponen las tendencias de los últimos 14 años respecto al volumen de producción de los principales productos pecuarios, con el mismo orden expuesto en la tabla previa.

Ilustración 60 Volumen de la producción de Carne en municipios de la cuenca Zapotlán en toneladas (ton) 2006-2020.



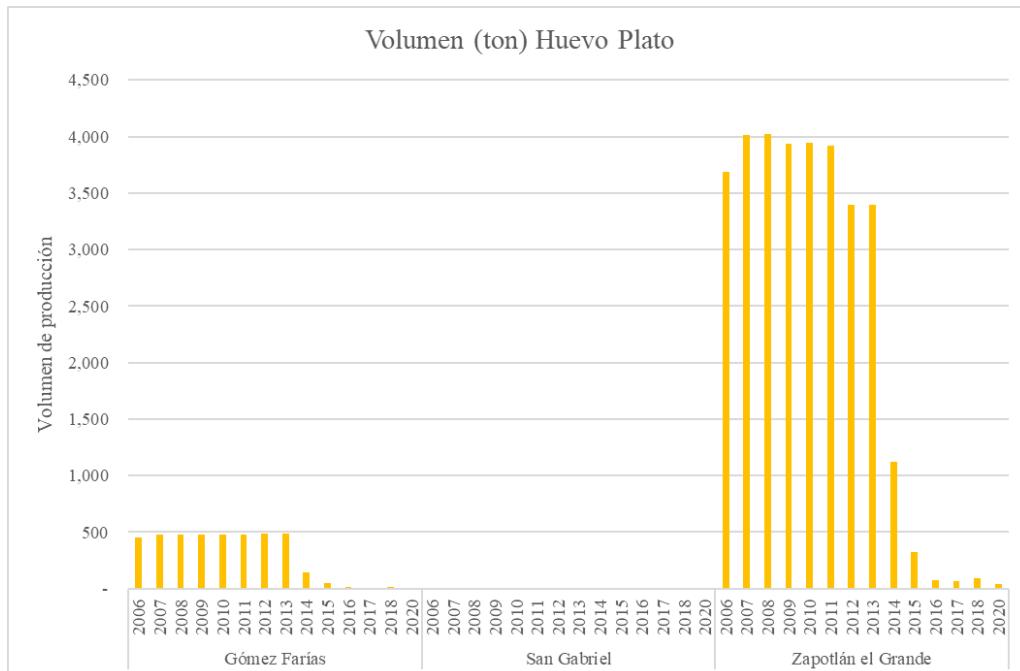
Fuente: Elaboración propia con datos de SIAP SIACON – SADER, 2020

Ilustración 61 Volumen de la producción de Ganado en pie en municipios de la cuenca Zapotlán en toneladas (ton) 2006-2020.



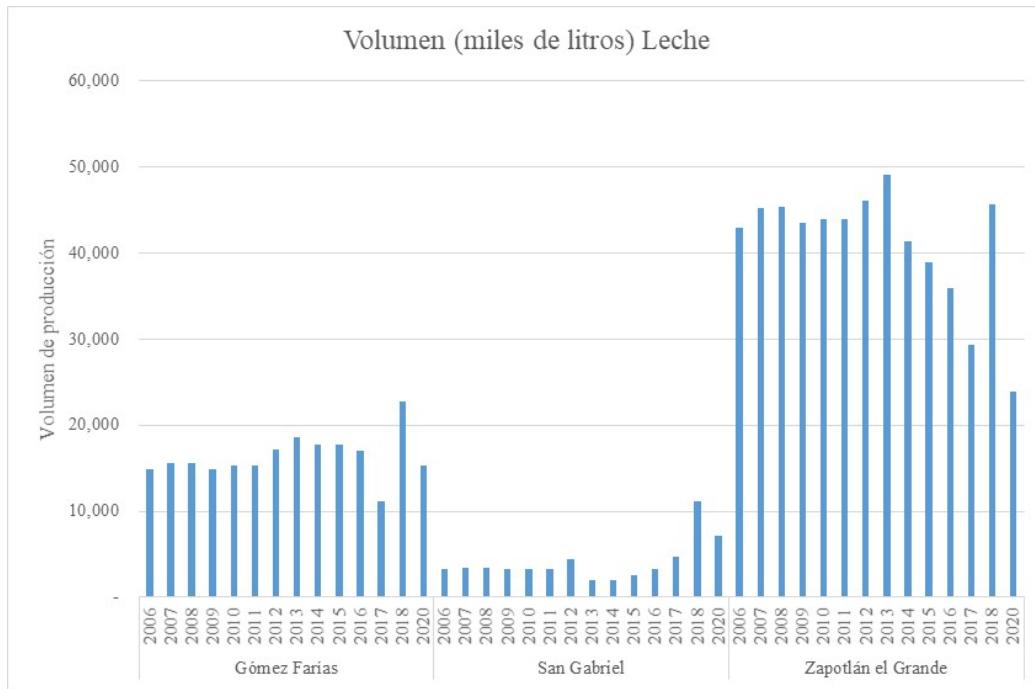
Fuente: Elaboración propia con datos de SIAP SIACON – SADER, 2020

Ilustración 62 Volumen de la producción de Huevo Plato en municipios de la cuenca Zapotlán en toneladas (ton) 2006-2020.



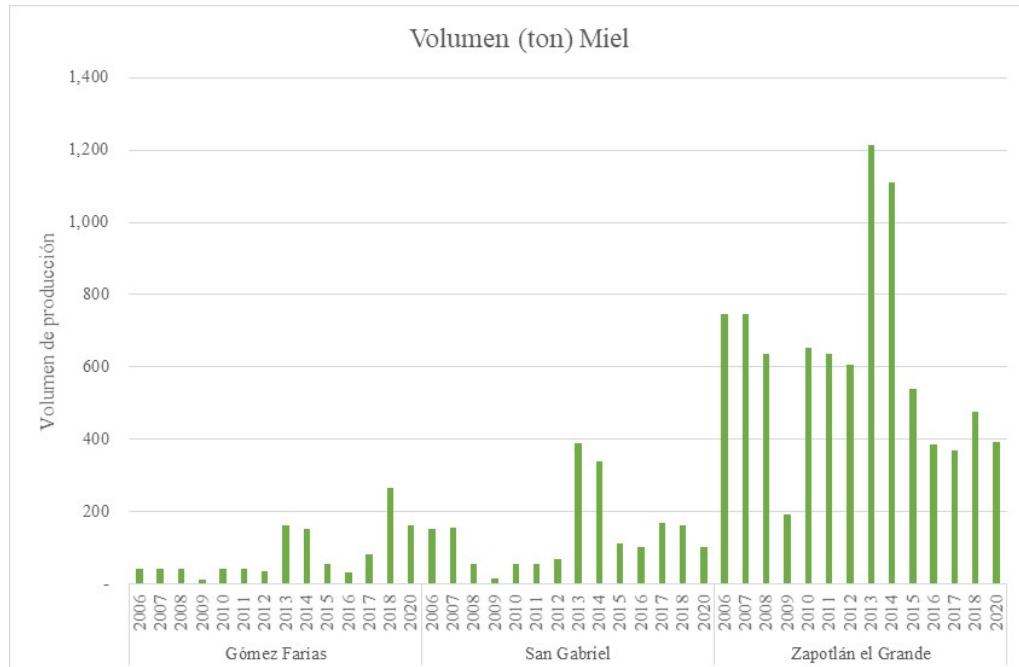
Fuente: Elaboración propia con datos de SIAP SIACON – SADER, 2020

Ilustración 63 Volumen de la producción de Leche en municipios de la cuenca Zapotlán en toneladas (miles de litros) 2006-2020.



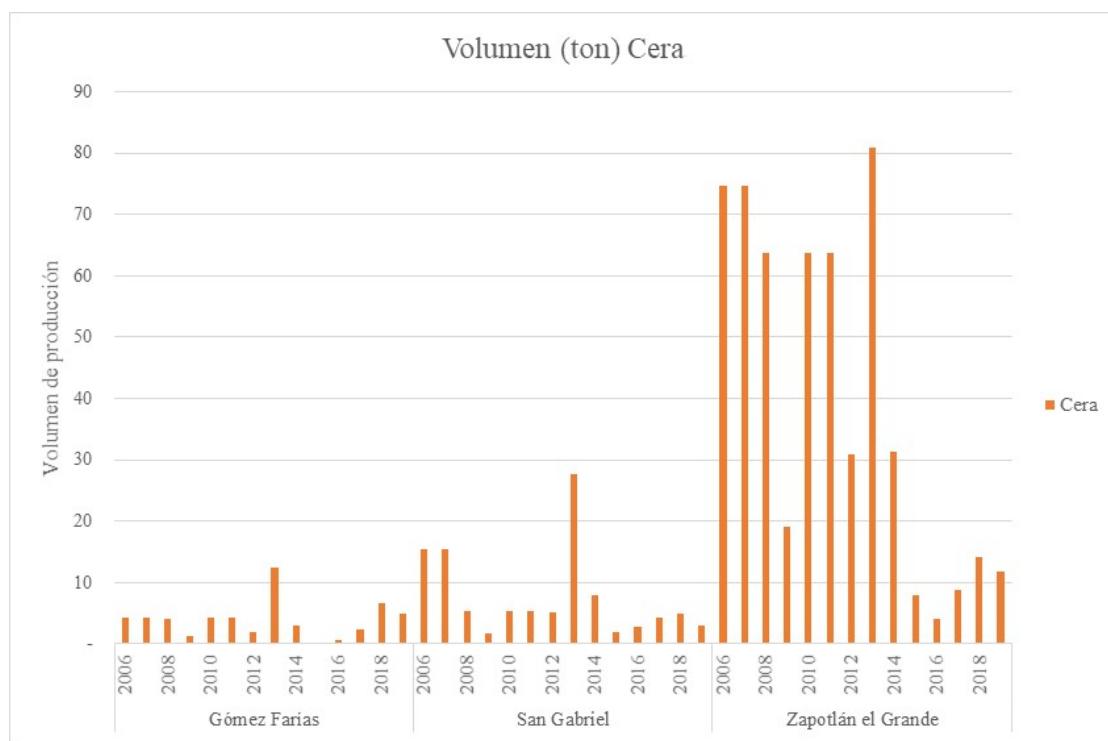
Fuente: Elaboración propia con datos de SIAP SIACON – SADER, 2020

Ilustración 64 Volumen de la producción de Miel en municipios de la cuenca Zapotlán en toneladas (ton) 2006-2020.



Fuente: Elaboración propia con datos de SIAP SIACON – SADER, 2020

Ilustración 65 Volumen de la producción de Cera en municipios de la cuenca Zapotlán en toneladas (ton) 2006-2020.



Fuente: Elaboración propia con datos de SIAP SIACON – SADER, 2020

Se muestran a continuación (Tabla 13) las principales características sobre la distribución de las unidades económicas pecuarias, así como, las superficies con terrenos de agricultura protegida principal, con los productos más importantes en los tres municipios en estudio. En dicha tabla las letras representan las sumatorias según corresponda: B significa la suma de la columna D más la F, y C corresponde a la suma de las columnas E más G.

Tabla 13 Unidades económicas pecuarias según municipio, especie y terrenos en la Cuenca

Municipio, aprovechamiento del terreno y principal especie	Terrenos principalmente con actividad ganadera		Tipo de productor			
			Grandes productores		Pequeños y medianos productores	
	Número	Superficie total	Número de terrenos	Superficie total	Número de terrenos	Superficie total
	B = D + F	C = E + G	D	E	F	G
Zapotlán el Grande	102	2 006.97	13	101.08	89	1 905.89
Bovinos	64	1 311.43	9	69.01	55	1 242.42
Porcinos	5	45.64	3	31.67	2	13.97
Otras especies	28	630.19	0	0.00	28	630.19
Especies agrupadas	5	19.71	1	0.40	4	19.31
Gómez Fárias	45	3 776.32	4	238.00	41	3 538.32
Bovinos	38	3 663.00	4	238.00	34	3 425.00
Especies agrupadas	7	113.32	0	0.00	7	113.32
San Gabriel	165	2 357.15	11	100.00	154	2 257.15
Bovinos	139	1 409.89	6	94.44	133	1 315.45
Porcinos	3	17.37	1	3.91	2	13.45
Colmenas	4	3.95	3	0.21	1	3.75
Otras especies	15	907.42	0	0.00	15	907.42
Especies agrupadas	4	18.51	1	1.44	3	17.07

Fuente: Elaboración propia con datos de INEGI. Marco censal agropecuario 2016.

Resultará relevante también estimar la pérdida de suelo en diferentes condiciones de terrenos de uso agropecuario, considerando carga animal y otras variables como especie, ubicación, número de cabezas de ganado, condición de estabulación, o volumen de estiércol potencialmente aprovechable, para lo cual será preciso identificar y muestrear las unidades de producción pecuaria en la cuenca.

De acuerdo con el Plan de Acción Climática de Zapotlán (PACMUN Zapotlán 2015) en el municipio se emitieron 2,574,960.37 Ton de CO₂ equivalente, siendo la categoría Agropecuaria la más alta con un 88.49% de emisiones por esta actividad, seguida con un 7.85% en la categoría de Energía. Mientras que todo el sector primario (agricultura,

ganadería, aprovechamiento forestal, pesca y caza) representaban en 2010 el 9.66% de la población económicamente activa²².

En el municipio de Gómez Farías la mayor contribución a las emisiones totales proviene también de la categoría de agropecuaria que anualmente aporta en promedio el 64% de las emisiones totales. En esta categoría, la actividad suelos agrícolas es la principal fuente de emisiones en el municipio, ya que contribuye en promedio con el 33% de las emisiones totales anuales. Igualmente es seguida por la categoría de Energía con un 27% del total. (PACMUN Gómez Farías, 2015).

Tabla 14 Emisiones de gases efecto invernadero por actividad en el sector agropecuario de Zapotlán.

Emisión	Gas	Fórmula	Gg	CO ₂ eq	Ton CO ₂ eq	%
Fermentación Entérica y Manejo de Estiércol	Metano	CH ₄	4.462	93.692	93,691.86	4.11
	Óxido Nitroso (Manejo de Estiércol)	N ₂ O	0.020	6.245	6,244.57	0.27
Quemas Agrícolas	Metano	CH ₄	0.005	0.096	95.676	0.00
	Óxido Nitroso	N ₂ O	0.00	0.067	67.199	0.00
Suelos Agrícola	Óxido Nitroso (Fertilizantes)	N ₂ O	7.0275	2,178.538	2,178,537.94	95.61
Total			11.514	2278.637	2,278,637.245	100

Fuente: PACMUN Zapotlán, 2015.

Tabla 15 Emisiones de gases efecto invernadero por actividad en el sector agropecuario de Gómez Farías.

Emisión	Gas	Formula	Gg	CO ₂ eq	Ton CO ₂ eq	%
Fermentación Entérica y Manejo de Estiércol	Metano	CH ₄	1.1	23.11	23,109.99	46.92
	Óxido Nitroso (Manejo de Estiércol)	N ₂ O	0.001	0.243	242.89	0.49
Quemas Agrícolas	Metano	CH ₄	0	0.003	3.246	0.01
	Óxido Nitroso	N ₂ O	0	0.002	2.28	0.00
Suelos Agrícola	Óxido Nitroso (Fertilizantes)	N ₂ O	0.0835	25.89	25,894.12	52.57
Total			1.185	49.253	49,252.53	100

Fuente: PACMUN Gómez Farías, 2015

Tabla 16 Emisiones de gases efecto invernadero por tipo de gas para el sector agropecuario en Zapotlán y Gómez Farías

Emisiones por tipo de gas para el sector Agropecuario				
Tipo de Gas	Zapotlán		Gómez Farías	
	Ton CO ₂ eq	%	Ton CO ₂ eq	%
CH ₄	93,787.5	4.11	23,113.2403	47
N ₂ O	2,184,849.7	95.88	26,139.2913	53
Total	2,278,637.2	100	49,252.5316	100

²² <http://www.microrregiones.gob.mx/zap/Economia.aspx?entra=nacion&ent=14&mun=069>

Fuente: PACMUN Zapotlán, 2015 y PACMUN Gómez Farías, 2015.

2.6. Análisis forestal

La Cuenca de la Laguna de Zapotlán es un área prioritaria de conservación, debido a la sobreexplotación de recursos naturales que se ha ejercido históricamente en la región. Uno de los problemas principales ha sido la reducción de la superficie forestal a través de la deforestación. La Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), define la deforestación como la conversión de los bosques a otro tipo de uso de la tierra, puede ser el cambio de uso de suelo a agricultura, pastizales, embalses o áreas urbanas.

El INEGI (2019) describe el tipo de vegetación que se desarrolla en la Cuenca de la siguiente manera:

La vegetación dominante es el bosque de pino-encino, comunidad vegetal característica de las zonas montañosas del país. Se conforma por diferentes especies de pino (*Pinus spp.*) y encino (*Quercus spp.*), con dominancia de las primeras, y la transición del bosque de pino al de encino está determinada por el gradiente altitudinal. Esta se distribuye en las zonas altas de la cuenca, principalmente sobre las sierras al norte, noreste y sur. En menor proporción se encuentran los bosques de pino, localizados también en la zona funcional alta, especialmente al norte de la cuenca, sobre la Sierra del Tigre. Estas comunidades vegetales son amenazadas por el incremento en la implementación de cultivos como el aguacate en la Sierra del Tigre, y traen como consecuencia la pérdida de cubierta vegetal natural y de suelo por efecto de la erosión. Enseguida se encuentra la selva baja caducifolia en las zonas funcionales alta y media, en el norte y un poco al sureste de la cuenca. Este tipo de vegetación se encuentra principalmente sobre las laderas de los cerros con suelos de buen drenaje. Otro grupo de importancia en términos de superficie es el pastizal inducido, con casi cinco por ciento del área total de la cuenca. Esta comunidad, dominada por las gramíneas, aparece como consecuencia del desmonte de los bosques, y en la zona se distribuye al norte, en las áreas de transición entre los bosques y selvas bajas y las áreas agrícolas de la parte media y baja.

Otros bosques de coníferas se localizan en la cuenca en proporciones menores, siendo estos los bosques de encino-pino, bosques de oyamel, y bosques de encino, ubicados en las partes altas, al igual que las praderas de alta montaña presentes en las faldas del volcán Nevado de Colima, en el parteaguas sur.

Desde mediados de los años cuarenta en la región sur de Jalisco se ha vivido un proceso hacia una creciente mecanización, irrigación, uso de semillas mejoradas, agroquímicos y una mayor vinculación con mercados regionales, nacionales e internacionales. Todo esto trajo consigo el surgimiento de agroempresarios y diversos actores buscando aprovechar los recursos forestales y la fertilidad de dichos suelos para la adquisición de un mayor poder económico y social (1999 como se citó en Macías y Sevilla, 2021). Y fue para mediados del siglo XX que se empezó a realizar un desmedido aprovechamiento maderable por parte de muchos industriales, con la finalidad de satisfacer necesidades de vivienda, combustible, edificación, entre otras. Pero también se empieza a usar como materia prima en la Compañía Industrial de Atenquique (CIDASA), ahora llamada Bio Pappel Kraft, fundada en el año 1941 (García, 2006). La Villa de Atenquique se localiza estratégicamente en un punto en el que se facilita la captura de agua y tenía una conexión ferroviaria que conectaba al pueblo con la fábrica (2014 citado en Carrillo, 2019).

La compañía de Atenquique fue una empresa pública y propiedad del Estado y estaba relacionada con la creación de fuentes de empleo en el sur de Jalisco. Los procesos de globalización resultaron en la privatización de la Compañía Industrial de Atenquique, S. A. (CIDASA) (2006 citado en Carrillo, 2019). Existía la Unión Forestal de Jalisco y Colima con la finalidad de controlar la explotación de los recursos naturales, sin embargo, a CIDASA obtuvó una concesión para realizar una explotación forestal desmedida, como lo menciona Digna Carrillo en su tesis.

En 1940, los productores de la sierra el Halo y la Leona organizaron la Unión Forestal de Jalisco y Colima para mantener el control de los recursos forestales y proteger los bosques de posibles riesgos. Pero cuando se fundó la Compañía Industrial de Atenquique, S.A. (CIDASA) para tomar ventaja de los recursos forestales en el Sur de Jalisco. El decreto estableció la concesión para la explotación forestal en el Sur de Jalisco por 50 años en favor de CIDASA para la elaboración de celulosas químicas, pastas mecánicas, papel, fibras sintéticas y diversos materiales plásticos. La concesión fue dada a la Compañía Industrial de Atenquique S. A. (CIDASA) para explotar un millón, ochenta mil hectáreas una concesión libre para la explotación durante los siguientes 50 años. Esta extensión representaba el 1.7 % del total de los bosques en todo el territorio mexicano. Desde entonces, CIDASA operó como un monopolio regional porque fijaba sus propios precios, cancelando las oportunidades a los dueños de los bosques para vender su producción en el mercado abierto (Vargas, 2006). ... No obstante, es en 1995 cuando la Compañía de Atenquique sufre un golpe trascendental debido al término de la concesión exclusiva que tenía desde 1945, para explotar los bosques de la región; derivado de ello, las condiciones para el acceso a materia prima se volvieron más difíciles para la empresa, teniendo que establecer en 1997, sus propias plantaciones de pino.

El término de la concesión que tenía la empresa para la explotación exclusiva de los bosques permitió el surgimiento de nuevos actores y nuevas formas de trabajar la tierra, sin embargo, no significa el término de la explotación forestal. Unos de estos actores impulsarían la tala de bosques para la producción de madera en aserraderos (Carrillo, 2019)

La región sur de Jalisco alberga una gran cantidad de superficie forestal, lo que representa un gran potencial productivo en esa área, por lo que el aprovechamiento forestal realizado en los municipios de Gómez Farías, San Gabriel y Zapotlán el grande ha ido en aumento para proveer a todo el sector forestal. En el municipio de Gómez Farías, se cuenta con una superficie de 10,700 ha a intervenir para aprovechamiento forestal, de las cuales 897 son de propiedad ejidal y 9,804 de predios particulares. Por otro lado, en el municipio de San Gabriel se cuanta con una superficie de 8,817 ha a intervenir, de los cuales 5,526 son de propiedad ejidal y 3,290 de predios particulares. Finalmente, en el municipio de Zapotlán el Grande, la superficie a intervenir es de 3,934 ha, de las cuales 582 son de propiedad ejidal y 3,352 de predios particulares.

Por su parte, Zapotlán el Grande, desde hace ya muchos años es el principal municipio en el desarrollo de servicios y comercio y al terminarse la concesión de Atenquique propició el surgimiento de una gran industria de aserraderos en la región y una gran parte se concentró alrededor de la Sierra del Tigre y aunque sigue siendo una industria fuerte, la producción aguacatera y de berries ha modificado la dinámica económica, social y de uso del suelo en el municipio y en toda la región.

La cobertura forestal puede verse afectada por múltiples alteraciones naturales y sociales, tales como: incendios forestales, sequías, deslizamientos, invasiones de especies, brotes de insectos, enfermedades, tormentas y huracanes. El cambio climático es uno de los factores que impactará en la vulnerabilidad de los bosques con el aumento de combustibles, aumento en las temporadas de incendios y de incendios más intensos. (CONAFOR, 2020) Pero El cambio climático también tendrá un efecto negativo en las plagas forestales autóctonas de insectos y patógenos, facilitando el establecimiento de especies exóticas invasoras (2009 citado en CONAFOR 2020) Cada una de las perturbaciones en los bosques permite la vulnerabilidad de los mismos y esto tendrá un impacto al sector forestal.

Un factor importante y persistente como problemática de degradación del suelo forestal en toda la región ha sido el cambio de uso de suelo para la agroindustria, que actualmente se conforma en su mayoría de aguacate y berries en la zona que comprende a la Cuenca de la Laguna. Del año 1970 en adelante, a partir de la apertura comercial, se intenta hacer cultivo de muchos productos, como la papa, jitomate, elote, entre muchos otros. Sin embargo, con el aumento de la fruticultura industrializada (Macías y Sevilla, 2021) focalizada en su mayoría en los municipios de Zapotlán el Grande y Gómez Farías, el impacto ambiental en la zona ha ido rápidamente en aumento a través de la degradación del suelo y la explotación de las aguas subterráneas.

Las huertas dedicadas al aguacate existen desde los años setenta del siglo XX, pero fue hasta 1999 que empezó a representar un negocio rentable. En ese entonces, existían tan solo 305.8 hectáreas plantadas, la mayoría instaladas en las partes bajas de la Sierra del Tigre, en los municipios de Zapotlán el Grande y Gómez Farías (Macías y Sevilla, 2021), sin embargo, el crecimiento que tuvo desde el año 2000 hasta el 2019 fue muy grande. En el año 2019 ya se encontraba un total de 20,315 hectáreas registradas distribuidas en 25 de los 27 municipios de la región sur (Macías y Sevilla (2021).

Los cambios de uso de suelo de terrenos forestales son un problema severo para los municipios de la cuenca (aunque no les corresponde al municipio sino al gobierno federal) e inclusive un motivo de irregularidades. La presión de aguacateros y productores de *berries* ha sido y es muy importante en ese sentido, y los municipios está perdiendo capacidades de protección del territorio en sentido ambiental y de riesgos, y descompensación hacendaria (la intervención municipal en permisos, y recaudación, para con los invernaderos es muy escasa), pero también por asuntos sociales aparejados.

A fines del Siglo XX e inicio del XXI, se intensificó la agricultura tecnificada de frutales de aguacate y berries en su mayoría, lo cual generó cambios de uso de suelo significativo y una alta demanda de agua que ha impactado significativamente al Acuífero, siendo alrededor de 1500 ha forestales que pasaron a ser agrícolas (Gobierno de Zapotlán et. al 2021)

Otro elemento importante que influye en la deforestación de la zona, está relacionado a los incendios forestales y plagas. Gómez Farías entre el año 2015 y 2019, este mismo municipio se encontraba entre los 3 municipios con una mayor cantidad de incendios forestales registrados en la región sur de Jalisco, lo que podría significar un aumento en las plagas por descortezadores debido al debilitamiento del arbolado.

Los cambios de uso de suelo y los incendios forestales persisten en la región, no obstante, así como la problemática sigue creciendo, también lo hacen las acciones intencionadas para la mitigación del daño a la Cuenca. Una serie de organizaciones, instituciones, grupos conformados e incluso algunas empresas de la misma agroindustria, se han organizado para realizar acciones de reforestación, la conformación de Centros de Investigación focalizado en la Cuenca de la Laguna de Zapotlán el Grande, así como la realización de algunos talleres de Educación Ambiental en ejidos, con la finalidad de concientizar a las personas acerca de esta y muchas otras problemáticas ambientales.

La pérdida de superficie boscosa, refieren Macías y Sevilla (2021), está relacionada con los cambios de usos de suelo - conseguidos muchas veces de manera ilegal-, o bien, realizando tala clandestina o incendios intencionados en los bosques. En 2019, subrayan los investigadores, ocurrió un desastre en la cabecera municipal de San Gabriel, cuando el río Salsipuedes se desbordó y arrastró pinos que fueron derrumbados ilegalmente, cayendo en la zona urbana y causando daños en viviendas y la muerte de varias personas.

La sustitución de bosques de pinos por huertas de aguacate, refieren Macías y Sevilla (2021), ha impactado en la sobreexplotación de los acuíferos de la región. El aguacate, a diferencia de los pinos, no retiene agua para el subsuelo y, en muchas huertas se ha instalado infraestructura para captar agua de lluvia, lo que también ha perjudicado las posibilidades de recarga de los mantos acuíferos.

La siguiente tabla identifica las unidades económicas según superficie forestal con actividad, y tipos de productores.

Tabla 17 Distribución de unidades económicas según superficie forestal (total municipal)

Municipio y principal especie forestal	Terrenos principalmente con actividad forestal		Tipo de productor			
	Número	Superficie total	Grandes productores		Pequeños y medianos productores	
			Número de terrenos	Superficie total	Número de terrenos	Superficie total ha
Zapotlán el Grande						
Especies agrupadas	7	579.70	1	6.83	6	572.87
Gómez Farías						
Pino	22	2 052.77	2	46.07	20	2 006.70
Especies agrupadas	10	832.38	0	0.00	10	832.38
San Gabriel						
Especies no especificadas	5	1 944.10	0	0.00	5	1 944.10
Especies agrupadas	3	189.27	0	0.00	3	189.27

Fuente: Elaboración propia con datos de INEGI. Marco censal agropecuario 2016.

Aunado a lo anterior, estos cambios de las vocaciones del suelo incrementan el riesgos de procesos de remoción en masa (deslaves, flujos de lodo, asentamientos de ladera), erosión laminar, erosión remontante, carcavamiento, pérdida de cobertura vegetal y suelos, azolve de los cuerpos de agua, y provocan alteraciones de las condiciones naturales de la Cuenca. Entre los impactos acumulativos relevantes registrados aguas abajo destacan desvíos de los cauces y distorsiones de la recarga natural de los acuíferos, acumulados con otros impactos de consideración para el humedal RAMSAR (la Laguna de Zapotlán sustenta especies de aves acuáticas, brindándoles refugio en

las etapas críticas de su desarrollo, reproducción y tránsito migratorio) que sufre pérdidas incalculables en su calidad ecológica (incluso con rompimiento de cadenas tróficas de biodiversidad), función ecosistémica regional y de servicios ambientales de soporte, provisión, culturales y regulación, entre otros impactos indirectos.

Macías y Sevilla (2021) mencionan algunos elementos ocasionados por la agroindustria desmedida en la región: En las nuevas zonas de producción las agroempresas utilizan distintos mecanismos para acceder a los recursos estratégicos y disminuir los riesgos asociados con su uso. Estos mecanismos son aplicados diferenciadamente dependiendo del producto y sus características, así como del destino que este tenga, aunque siempre se utiliza el medio ambiente y sus recursos con una perspectiva individualista, que maximice las utilidades en el corto plazo, sin que realmente se atienda el cuidado de la naturaleza.

En este marco, las agroempresas y los agricultores vinculados a ellas realizan acciones como hacer cambios de uso de suelo sin considerar las consecuencias que ello tiene sobre los ecosistemas que existen en los territorios; implementan sistemas de producción intensiva para disminuir los costos por unidad, utilizando en ocasiones los recursos territoriales-suelo, agua y recursos bióticos- a tasas mucho mayores que las consideradas sustentables; aplican en demasía toda clase de productos sintéticos – fertilizantes, agrotóxicos y plásticos-, con la única limitación en sus funciones de producción y en las restricciones impuestas por los países compradores; generan contaminación sin aplicar las medidas de seguridad estipuladas por las leyes nacionales y locales, etc. Las consecuencias de tales decisiones es un medio ambiente que comienza a ser inhóspito, tanto para el ser humano como para otras especies animales y vegetales, por lo que se vuelven más vulnerables ante fenómenos futuros.

Los incendios forestales a nivel estatal han ido en aumento debido a múltiples factores, tanto ambientales -calentamiento global, sequías prolongadas, etc.-, como sociales (Plan Estatal de Manejo del Fuego en el Estado de Jalisco, 2018) -mal uso del fuego en actividades de ganadería y agricultura, acumulamiento de combustible, incendios provocados, etc-. El deterioro y disminución de los ecosistemas forestales -cobertura vegetal, calidad del aire y agua y exponiendo al suelo a la erosión- a partir de los incendios forestales pueden generar una modificación en la composición, estructura y densidad de los mismos. (2005 como se citó en Plan Estatal de Manejo del Fuego en el Estado de Jalisco, 2018)

También es importante tener en cuenta que no toda presencia de fuego es dañina para los ecosistemas, dependiendo dónde y cómo ocurran puede ser dañino o benéfico. Cuando el fuego está restringido a campos agrícolas o como tratamiento complementario en las actividades de manejo forestal puede ser benéfico, sin embargo, cuando se presenta en ecosistemas con flora y fauna que no cuenten con las adaptaciones necesarias para sobrevivir, se vuelve dañino (CONAFOR, 2020-2024). También se vuelve dañino cuando son provocados con la finalidad de hacer cambios de uso de suelo no autorizados, ocasionando que la cobertura forestal de una región disminuya considerablemente a través de los años, situación que se ha presentado desde hace algunos años en gran parte de la región sur del Estado de Jalisco, incluida la Cuenca de la Laguna de Zapotlán. El 90% de los incendios forestales en el Estado son causados por actividades humanas, principalmente actividades agropecuarias (2015 como se citó en Plan Estatal de Manejo del Fuego en el Estado de Jalisco, 2018).

Los incendios forestales en el territorio de la Cuenca de la Laguna de Zapotlán han sido un factor importante en la creciente deforestación de la zona, así como las plagas en el

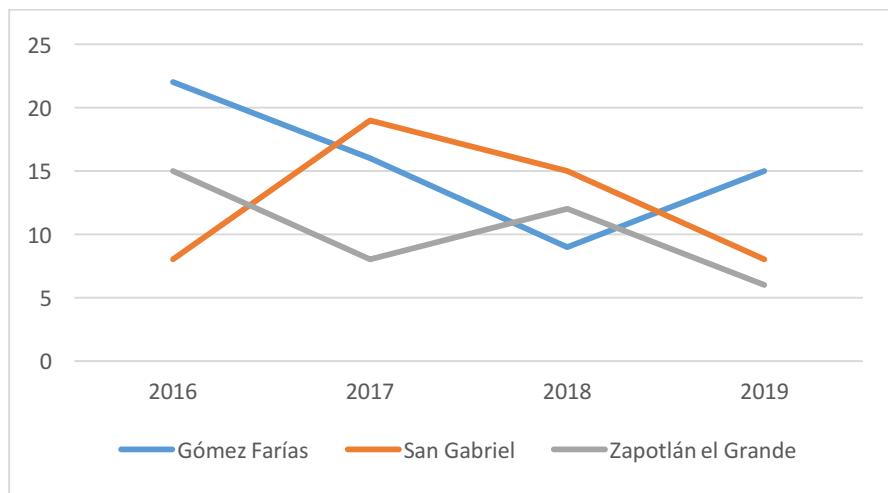
arbolado. De acuerdo a la Carta de Uso de Suelo y Vegetación del INEGI (2014), el municipio de Gómez Farías contaba con una superficie forestal de 22,071 ha, pero tan solo entre el año 2016 y 2019, este municipio se encontraba entre los 3 municipios con una mayor cantidad de incendios forestales registrados en la región sur de Jalisco, lo que podría significar un aumento en las plagas por descortezares debido al debilitamiento del arbolado o podría verse reflejado en cambios de uso de suelo, lo que significaría una disminución en la superficie forestal del municipio.

Así mismo, los municipios de Zapotlán el Grande y San Gabriel, de acuerdo a la Carta de Uso de Suelo y Vegetación del INEGI (2014), contaban con una superficie forestal de 10,414 ha y 45,913 ha respectivamente. Aunque ninguno se encuentra dentro de los tres municipios con mayor cantidad de incendios forestales en la región, sí se encuentran dentro de los municipios con mayor superficie forestal afectada por incendios, esto significa que los incendios fueron de mayor magnitud.

En el municipio de Gómez Farías en el año 2016, se registraron 22 incendios forestales con una superficie afectada de 423 hectáreas; en 2017 se registraron 16 incendios y una superficie afectada de 1592; en 2018 fueron 9 incendios y una superficie afectada de 325; y finalmente, en 2019 se registraron 15 incendios y una superficie afectada de 286 hectáreas. Por otra parte, en San Gabriel se registraron en el año 2016 8 incendios forestales con una superficie afectada de 161 hectáreas; en 2017 fueron 19 incendios con una superficie afectada de 3544 hectáreas; en 2018 se registraron 15 incendios con una superficie afectada de 525; y en el año 2019 fueron tan solo 8 incendios con una superficie afectada de 141 hectáreas. Finalmente, en el municipio de Zapotlán el Grande, se registraron en el año 2016 un total de 15 incendios forestales teniendo como consecuencia una superficie afectada de 1645; en 2017 fueron 8 incendios con una superficie afectada de 174; en 2018 se registraron 12 incendios con una superficie afectada de 57 hectáreas; por último, en el año 2019 se registraron tan solo 6 incendios, pero con una superficie afectada de 11, 461 hectáreas. En las siguientes tablas se pueden ver representados estos datos.

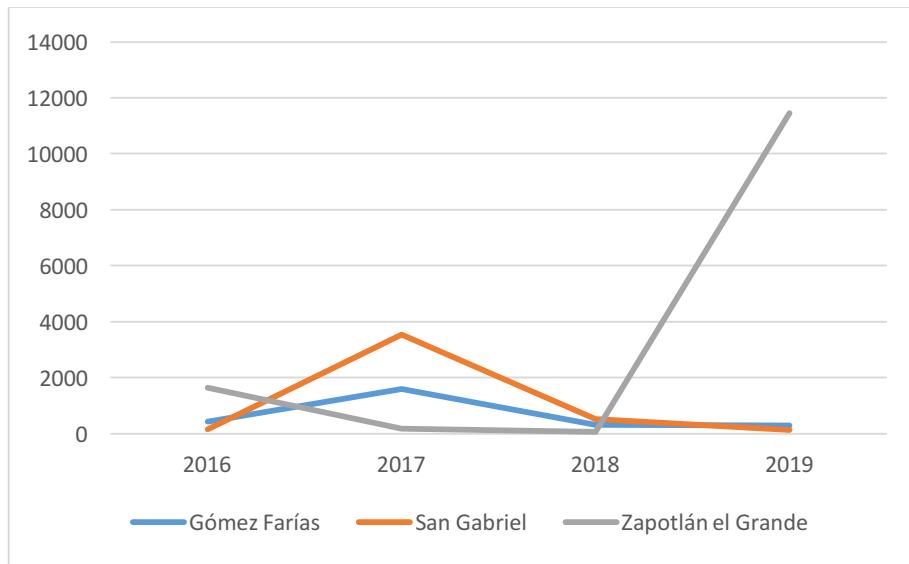
Como se puede observar, en algunos años la cantidad de incendios forestales que se presentaron fue mucho menor que en otros, pero resultaron con una superficie forestal excesiva y en algunos casos se dieron muchos incendios forestales que resultaron con una superficie afectada mucho menor. Tal es el caso del resultado en el año 2019 en el municipio de Zapotlán el Grande que fueron pocos incendios y la mayor superficie afectada o el caso de Gómez Farías que tuvo muchos incendios forestales, pero la superficie no fue tan grande.

Ilustración 66 Incendios forestales registrados



Fuente: Elaboración propia con base en datos obtenidos de SEMADET y Programa Estatal de Manejo de fuego del Estado de Jalisco

Ilustración 67 Superficie forestal afectada por incendios forestales (ha)



Fuente: Elaboración propia con base en datos obtenidos de SEMADET y Programa Estatal de Manejo de fuego del Estado de Jalisco

Un elemento importante en la prevención y disminución de incendios forestales es la creación de brigadas forestales. La función de estas brigadas es la de realizar acciones de prevención, reforestación y combate del fuego. En el territorio que corresponde a la Cuenca de la Laguna de Zapotlán, existen algunas brigadas forestales por parte del gobierno federal y de algunas Asociaciones. Se encuentra la brigada de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), la brigada de la Comisión Nacional Forestal (CONAFOR) y la brigada de la Asociación de Productores Exportadores de Aguacate de Jalisco A. C. (APEAJAL). Esta última brigada tiene su base en el municipio de Gómez Farías en el Ejido El Rodeo. En este año 2021, la brigada ha realizado actividades de reforestación, ha apoyado en la construcción de corredores

biológicos y atendió cerca de 150 hectáreas en incendios forestales que se presentaron en Gómez Farías y algunos en Zapotlán el Grande.

Los cambios de uso de suelo y los incendios forestales persisten en la región, no obstante, así como la problemática sigue creciendo, también lo hacen las acciones intencionadas para la mitigación del daño a la Cuenca. Una serie de organizaciones, instituciones gubernamentales de los tres niveles de gobierno, instituciones no gubernamentales, asociaciones productivas, etc., se han organizado a través de la Comisión de Cuenca Laguna de Zapotlán, para realizar diversas acciones que permitan mitigar el impacto ambiental que ha recibido la cuenca en los últimos años. Han realizado diagnósticos de la Cuenca, acciones de reforestación, talleres de Educación Ambiental en algunos ejidos, entre otras actividades, con la finalidad de conocer la problemática, concientizar a la población y proponer posibles soluciones a esta y muchas otras problemáticas ambientales que se pueden percibir en la Cuenca.

Son diversas las instituciones y empresas que se han sumado a actividades de reforestación en la cuenca. Destacan las reforestaciones llevadas a cabo por el gobierno municipal de Zapotlán, con al menos 40 ha reforestadas con buenos porcentajes de sobrevivencia, y con el apoyo entre otros de la CONAFOR, SEMADET, Cerritos, Membranas los Volcanes, Transportes Tovi, viveros Masvi, Berrymex, y el Patronato del Nevado (Gobierno de Zapotlán, 2020)

Productores de la Asociación de Productores Exportadores de Aguacate de Jalisco, A.C. (APEAJAL) fomentan la reforestación y buenas prácticas. Cuentan con un convenio con Rain Forest Aliance, y ya cuentan con 1000 hectáreas certificadas en ese esquema. También cuentan con un vivero forestal. Implementan proyecto de educación ambiental, pláticas de diversos temas en ferias agrícolas; y sobre bosques, plagas, polinizadores, manejo de cuencas, etc.

Y otras iniciativas interinstitucionales y productivas para crear islas o bosques que faciliten corredores biológicos en cultivos de aguacate donde no hay siembra, reforestando con árboles nativos que ayudan a detener plagas y actúan como barrera contra viento y heladas.

Actualmente las principales plagas forestales son las siguientes: por descortezadores, defoliadores, chupadores, barrenadores, plantas parásitas, entre otras. Para evitar que las plagas se propaguen, es necesario mantener un esquema de monitoreo y alerta temprana con la finalidad de combatir las plagas a tiempo. También, es importante trabajar en la prevención de incendios forestales para evitar el debilitamiento del arbolado.

En la CONAFOR se ha desarrollado una Estrategia Nacional de Sanidad Forestal, siendo utilizada como un instrumento de planeación táctica e intervención que permite definir las estrategias a implementar, plantear indicadores y metas en función de las necesidades y disponibilidad de recursos (CONAFOR, 2020), no obstante, debido a los recortes presupuestales que se han presentado en los últimos años, se ha dificultado el cumplimiento de las metas propuestas. Es necesario implementar un esquema más efectivo de prevención de plagas, sin necesidad de llegar a un estado crítico en las zonas que ven afectadas.

En el año 2019 en el municipio de Gómez Farías se registró una afectación de más de 5 hectáreas por insectos descortezadores. Por otra parte, en el municipio de San Gabriel se registró una afectación de poco más de 100 hectáreas. Esto significa que en el municipio de San Gabriel se tiene un problema más delicado en el debilitamiento del

arbolado y es un asunto que se tiene que atender por parte de las autoridades correspondientes. (SEMARNAT, 2019)

Dentro de los actores que conforman la Comisión de Cuenca Laguna de Zapotlán se encuentran los siguientes: CUSur, CONAGUA, CONAFOR, Centro Regional de Investigación Pesquera de Manzanillo, Comisión Estatal del Agua de Jalisco, Secretaría de Cultura del Estado de Jalisco, Secretaría de Medio Ambiente y Desarrollo Territorial del Estado de Jalisco, Junta Intermunicipal de Medio Ambiente para la Gestión Integral de la Cuenca del Río Coahuayana, Uso Público Urbano del municipio de Zapotlán el Grande y Gómez Farías, Asociación de Productores Exportadores de Aguacate de Jalisco A.C., Sociedad Cooperativa de Producción Pesquera “Pescadores de Gómez Farías”, S.C. de R. L., Asociación Civil de Prestadores Turísticos de Zapotlán, Asociación Civil de Distribuidores de Insumos y Maquinaria Agrícola, Federación de Propietarios Rurales de Jalisco y Patronato del Parque Nacional del Nevado de Colima y Cuencas Adyacentes.

La conformación de la Comisión de Cuenca Laguna de Zapotlán ha permitido un trabajo interdisciplinario e interinstitucional y cuentan con un repositorio que alberga trabajos que han realizado investigadores o instituciones a nivel socioambiental. En el Centro Universitario del Sur de la Universidad de Guadalajara, se creó un centro de investigación exclusivamente para la realización de investigaciones concernientes a la Cuenca de la Laguna de Zapotlán, el Centro de Investigación Lago de Zapotlán y Cuencas por parte del Centro Universitario del Sur.

Muchas acciones y proyectos se encuentran en marcha para la restauración y conservación de la cuenca, no obstante, es importante una regulación por parte de los distintos niveles de gobierno para evitar que los cambios de uso de suelo sigan extendiéndose como lo han hecho en los últimos años.

A modo de conclusión, el área correspondiente a la Cuenca de la Laguna de Zapotlán cuenta con una gran riqueza forestal, pero históricamente se ha realizado una sobreexplotación de recursos con fines industriales, desde el sector forestal, hasta los cambios de uso de suelo por aguacates y *berries*. Actualmente, existen múltiples actores -Asociaciones, organizaciones e instituciones gubernamentales y no gubernamentales- preocupadas por atender la problemática y evitar que el impacto ambiental de la cuenca siga creciendo de forma desmedida, y es importante seguir atendiendo la problemática para la conservación de los ecosistemas forestales.

2.7. Análisis urbano y de instrumentos de planeación territorial

Se caracteriza a continuación una serie de información dentro de los ámbitos territorial y social, por vincularse de manera directa con las dinámicas que suceden en la Unidad de Administración Territorial para la Planeación (UATP)²³, en materia ecológica e

²³ Unidades de Administración Territorial para la Planeación. Refiere a los límites virtuales o espaciales, establecidos a partir del estudio o caracterización de un territorio, desde un enfoque, materia o perspectiva determinada. Estas unidades, tienen el objetivo de ser el referente para la administración territorial, y en ellas, integrar las estrategias de política, programación y operación. Por ejemplo, las Unidades de Gestión Ambiental (UGA), referentes a la materia ecológica, las cuales, con base en la identificación de ciertos atributos ambientales, determinan una serie de políticas y criterios para su consideración y aplicación. Igualmente, los distritos urbanos, referentes al desarrollo urbano, que integran estrategias de clasificación

hídrica, denominada Cuenca de Zapotlán El Grande, la cual, se emplaza primordialmente en los municipios de Zapotlán El Grande, Gómez Farías y San Gabriel²⁴.

El tratamiento o perspectiva de la información se establece a partir del análisis de los instrumentos de planeación existentes y vigentes en materia de desarrollo urbano y ecológico y, con ello, la identificación de tres variables: armonización, alineación, y congruencia; así como la integración de la cuenca como el referente ambiental.

Dichas variables refieren a lo siguiente:

- Armonización. Se establece con base en la integración de elementos estratégicos de una política de nivel superior o de referencia, para la generación de criterios de planeación y programación;
- Alineación. Se identifica con base en la asociación de políticas de nivel superior o de referencia, en la generación de estrategias; y
- Congruencia. A la relación lógica y de articulación que guardan las estrategias en los diversos niveles, y que se integran a través de la consideración de las UATP de los sistemas de planeación auxiliares.

La lectura, parte del estatus de los instrumentos de ordenamiento territorial de tres sistemas de planeación. El primero, Sistema Estatal de Planeación Democrática (SEPD)²⁵, el segundo, Sistema Estatal de Áreas Naturales Protegidas (SEANP), y el tercero, Sistema Estatal de Planeación para el Desarrollo Urbano (SEPDU). Esta selección se establece con base en los ámbitos mencionados, que identifican una serie de herramientas de carácter conexo, y que integran en sus UATP una estrategia territorial.

De conformidad con lo planteado, se parte de la identificación del estatus de los instrumentos de planeación municipal con base en el SEPDU, ya que es el sistema que integra las materias ecológica, del desarrollo urbano y del riesgo.

Tabla 18 Instrumentos de planeación existentes y su estatus

Municipio/ Instrumento	Sistema Estatal de Planeación para el Desarrollo Urbano (SEPDU)						SEPD
	Instrumentos de planeación municipal						
	Programa de Ordenamiento Ecológico Local (POEL)	Programa Municipal de Desarrollo Urbano (PMU)	Plan de Desarrollo Urbano de Centro de Población (PDCP)	Plan Parcial de Desarrollo Urbano (PPDU)	Atlas Municipal de Riesgos (AMR)	Plan de Municipal de Desarrollo y Gobernanza	
Año de elaboración							
Zapotlán El Grande	En proceso de actualización	2020	2012	2015	2011	2019	
Gómez Farías	2014	N/E	1996	N/E	N/E	2019	
San Gabriel	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	2019	

Materia ecológica

Materia desarrollo urbano

Materia gestión del riesgo

Materia desarrollo social

N/E No existe
S/I Sin información

Fuente: Elaboración propia

de áreas, uso de suelo y estructura urbana. En materia hídrica las UATP, establecen categorías de cuencas, sub cuencas, micro cuencas.

²⁴ Ver de superficies en apartados introductorios

²⁵ Sistemas referidos (1) en la Ley de Planeación para el Estado de Jalisco y sus municipios, (2) Ley Estatal de Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente, y (3) Código Urbano para el Estado de Jalisco.

Conforme al estatus de los instrumentos de planeación, se observa que Zapotlán El Grande es el municipio que cuenta mayor diversidad de instrumentos de planeación. Sin embargo, un dato relevante es que en materia de desarrollo y gobernanza, los 3 municipios cuentan con un instrumento actualizado, lo cual permite realizar una base homologada y congruente con el SEPD, que promueve 7 materias estratégicas, de las cuales 2 se relacionan con el objetivo del presente Plan Maestro:

- Medio ambiente y cambio climático; y
- Desarrollo urbano, ordenamiento territorial y resiliencia.

A continuación, se hace la evaluación de la alineación, armonización y congruencia, con base en los instrumentos de planeación que inciden directamente en materia ecológica o que tienen relación directa con la operación del desarrollo territorial para efectos de la Cuenca y su Laguna.

La unidad de valor base por cada variable se representa con 1.0, respecto al análisis de los parámetros anteriormente descritos, debiendo cada instrumento tener como valor máximo 3.0. En donde: 3.0/3.0=bueno, 1.5/3.0=regular, y 1.4-0 =malo

Como puede observarse en la tabla siguiente los municipios de la Cuenca no garantizan la alineación y congruencia, en virtud de identificar instrumentos que estratégicamente se encuentran rebasados por las necesidades actuales versus su fecha de elaboración o debido a su inexistencia. Zapotlán El Grande observa, una ruta congruente de actualización que ha partido del Plan de Desarrollo y Programa Municipal de Desarrollo Urbano, y actualmente de la elaboración del proyecto del POEL.

Las estrategias plasmadas en los PDUCP y PPDU, son la referencia para la dictaminación municipal. A través de la dictaminación, se establecen los parámetros técnicos y condicionantes para las acciones urbanísticas, de edificación o construcción, alineamiento, número oficial, permiso de giros, etc.

La dictaminación, es la actividad que rige gran parte de la operación de un municipio, toda vez que el actor o persona interesada en ejercer alguna gestión relacionada con el aprovechamiento del territorio, debe adoptar los lineamientos emitidos por el municipio que se basan en el traslape de las estrategias vigentes del desarrollo urbano.

Un gobierno al no integrar en este documento el traslape las políticas inmediatas, es decir, las UATP como son las UGAS, desprovee a esta sustancial actividad de una alineación necesaria para una adecuada administración territorial; y con ello, una gobernanza de la urbanización así como eficiencia del suelo expuestos de manera negativa.

Reforzando la anterior descriptiva, la evaluación del Índice Básico de las Ciudades Prósperas (CPI)²⁶ evaluó a Zapotlán El Grande con un 53.83/100, recomendando el fortalecimiento de Políticas Urbanas, en donde la eficiencia del suelo identifica una evaluación de 0. Aunque Gómez Farías y San Gabriel no se encuentran dentro de esta evaluación, resulta obvio la necesidad de la actualización de instrumentos, que afectan de manera directa la administración de la Cuenca.

Tabla 19 evaluación de la alineación, armonización y congruencia, con base en los instrumentos de planeación territorial

(Fuente: Elaboración propia, con base en análisis del contenido por cada instrumento)

²⁶ Por sus siglas en inglés. City Prosperity Index, 2018

Agenda/Sistema	Armonización/Estado, Región y Municipios	Zapotlán El Grande						SUMA MÁXIMA	Gómez Farias						SUMA MÁXIMA	San Gabriel						SUMA MÁXIMA	MUNICIPIOS DE LA CUENCA		
		PPDU			POEL				PDUCP			POEL				PDUCP			POEL						
		1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0		1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0		1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	6.0	18.0		
Agenda Internacional	Nueva Agenda de Desarrollo Sostenible	0	0	0	0.5	0.5	0.5	1.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.5	
	Objetivos de Desarrollo Sostenible	0	0	0	0.5	0.5	0.5	1.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.5	
Sistema Nacional de Planeación Democrática	Plan Nacional de Desarrollo	0	0	0	0.5	0.5	0.5	1.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.5	
Sistema Nacional de Planeación del Ordenamiento Territorial, Desarrollo Urbano y Metropolitano	Programa Nacional de Ordenamiento Territorial y Desarrollo Urbano	0	0	0	0.5	0.5	0.5	1.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.5	
Agenda Estatal/ Sistema Estatal de Planeación Participativa	Plan Estatal de Desarrollo y Gobernanza ²⁷	0	0	0	0.5	0.5	0.5	1.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.5	
	Planes Regionales de Desarrollo y Gobernanza	0	0	0	0.5	0.5	0.5	1.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.5	
Sistema Estatal de Planeación para el Desarrollo Urbano/Vinculación con el Sistema Nacional de Áreas Naturales Protegidas	Programa Estatal de Ordenamiento Territorial y Desarrollo Urbano ²⁸	0	0	0	0.5	0.5	0.5	1.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.5	
	Planes Regionales de Integración Urbana	0	0	0	0.5	0.5	0.5	1.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.5	
	Programa de Ordenamiento Ecológico Regional del Estado	0	0	0	0.5	0.5	0.5	1.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.5	
	Atlas Estatal de Riesgos	0	0	0	0.5	0.5	0.5	1.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.5	
Armonización Alineación Congruencia		*Se asignó un valor de 0.5 al instrumento que integra parcialmente criterios de los referentes, como es el caso del ordenamiento ecológico del municipio de Zapotlán El Grande que se encuentra en actualización, y con ello, una integración a los referentes de programación y planeación superiores. En donde 3.0/3.0=bueno; 1.5/3.0=regular,1.4-0 =malo																							

²⁷ En actualización

²⁸ En actualización

Tabla 20 Instrumentos de planeación existentes y su estatus

Municipio	Instrumento de planeación	Materia	Unidad de Administración Territorial para la Planeación				Año	Reforma/año	Vinculación ODS	
			Distrito	Subdistrito	Unidad de Gestión Ambiental	Otro				
Zapotlán Grande	Plan Municipal de Desarrollo y Gobernanza 2018-2021 (PMDG)		NA	NA	NA	Municipio	2019	NA	11	
	Programa de Ordenamiento Ecológico Local (POEL)		NA	NA	37	NA	2015	2017	13	
	Planes de Desarrollo Urbano		Distrito 1. Cd. Guzmán	8	NA	*Actualización Distrito 1 y 2	2015	*2017/2018	11	
			Distrito 2. Lago de Zapotlán	5						
			Distrito 3. Montaña Oriente	-						
			Distrito 4. Los Mazos	-						
			Distrito 5. El Fresnito	1						
			Distrito. 6 Los Depósitos	1						
			Distrito 7. Atequizayán	1						
	Programa Municipal de Desarrollo Urbano (PMDU)		(07)	-	NA	NA	2020	-	11	
	Plan Director Urbano		1	06	NA	NA	2003		11	
	Atlas Municipal de Peligros y Riesgos Naturales de Zapotlán el Grande		NA	NA	NA	Municipio	2016	-	11	
Gómez Farías	Plan de Acción Climática Municipal de Zapotlán el Grande, Jalisco.		NA	NA	NA	Municipio	2019	-	13	
	Plan Municipal de Desarrollo y Gobernanza 2018-2021 (PMDG)		NA	NA	NA	Municipio	2019	-	11	
	Programa de Ordenamiento Ecológico Local (POEL)		NA	NA	25	NA	2014	-	13	
	Planes de Desarrollo Urbano		CeP ¹	NA	NA	NA	1996	-	11	
	Programa Municipal de Desarrollo Urbano (PMDU)		NE	NE	NA	NA	-	-	11	
	Atlas Municipal de Peligros y Riesgos Naturales		NE	NE	NA	Municipio	-	-	11	
Sangarí	Plan de Acción Climática Municipal		NA	NA	NA	Regional/Municipio ²	2018	-	13	
	Plan Municipal de Desarrollo y Gobernanza 2018-2021 (PMDG)		NA	NA	NA	Municipio	2019	-	11	
	Programa de Ordenamiento Ecológico Local (POEL)		NA	NA	NA	Regional/Municipio ²	2018	-	13	
	Planes de Desarrollo Urbano		SI	SI	SI	Municipio	SI	-	11	
	Programa Municipal de Desarrollo Urbano (PMDU)		SI	SI	SI	Municipio	SI	-	11	

	Atlas Municipal de Peligros y Riesgos Naturales		SI	SI	SI	Municipio	SI	-	11
	Plan de Acción Climática Municipal		SI	SI	SI	Municipio	SI		13
1. CeP. Centro de Población 2. Instrumento de la Junta Intermunicipal de Medio Ambiente para la Gestión Integral de la Cuenca del Río Coahuayana (JIRCO). En esta junta se encuentran integrados los municipios de Gómez Farías y Zapotlán El Grande NE=No existe NA=No aplica *Actualización del Plan Parcial Distrito 1 Ciudad Guzmán, Sub-Distrito 2 "ISSSTE-Solidaridad", del Plan de Desarrollo Urbano de Centro de Población de Zapotlán el Grande, Jalisco, 2017 Decreto mediante el cual se actualiza el plan parcial distrito 2 "Laguna de Zapotlán", Subdistrito 2 "El Quemado" cuya solicitud es autorizar el cambio de densidad, 2018									

Fuente: Elaboración propia, con base en análisis del contenido por cada instrumento.

Con el fin de ahondar en el estado actual de las herramientas de planeación, en la tabla anterior se hace una relación desagregada de los instrumentos por municipio. En el caso de la cuenca se observa que se tiene una instrumentación en materia ecológica y de desarrollo urbano, parcialmente actualizada²⁹.

Cabe mencionar que el municipio de Gómez Farías solo cuenta con la planeación a nivel cabecera, auxiliándose de la política regional para el manejo de la temática ecológica, al igual que San Gabriel. En el caso de Zapotlán El Grande, aunque cuenta con instrumentos más actualizados, en materia de desarrollo urbano, identifican algunas inconsistencias respecto a los distritos que establece el Plan Rector, versus el PMDU, y que pueden observarse en la Tabla 21.

Tabla 21 Comparativa de la estructura territorial por instrumento de Desarrollo Urbano

Instrumentos de Desarrollo Urbano. Comparativa de la estructura territorial por instrumento									
Municipio	Plan Rector Urbano 2020		Programa Municipal de Desarrollo Urbano		Planes de Desarrollo Urbano/ Parciales				
	Distrito	Subdistrito	Distrito	Subdistrito	Distrito	Subdistrito	Distrito	Subdistrito	
Zapotlán El Grande	Se interpreta es la administración del Centro de Población	ZPG-1/6 San Cayetano-Las Peñas	Distrito 1. Cd. Guzmán	Subdistrito 1 Centro Histórico Subdistrito 2 ISSSTE-Solidaridad Subdistrito 3 El Zapote Subdistrito 4 Tecnológico Subdistrito 5 Constituyentes	Distrito 1. Cd. Guzmán	Subdistrito 1 Centro Histórico Subdistrito 2 ISSSTE-Solidaridad Subdistrito 3 El Zapote Subdistrito 4 Tecnológico Subdistrito 5 Constituyentes	Distrito 1. Cd. Guzmán	Subdistrito 1 Centro Histórico Subdistrito 2 ISSSTE-Solidaridad Subdistrito 3 El Zapote Subdistrito 4 Tecnológico Subdistrito 5 Constituyentes	Subdistrito 1 Centro Histórico Subdistrito 2 ISSSTE-Solidaridad Subdistrito 3 El Zapote Subdistrito 4 Tecnológico Subdistrito 5 Constituyentes

²⁹ Respecto a la identificación de proyectos relacionados con el ordenamiento territorial, no se cuenta con información certera para Gómez Farías y San Gabriel, y algunos datos de Zapotlán El Grande. En el caso de los dos primeros, si bien en el portal oficial del municipio se puede acceder a las secciones de transparencia, la descripción de la información no permite obtener un desglose puntual del dato expuesto, respecto al tipo de proyecto y categorización

Esta situación se relaciona con la evaluación del CPI, específicamente la dimensión 6, que identifica la falta de acceso a datos como una variable negativa, y en ello, una comunicación pública poco clara, que impacta en la esfera de la gobernabilidad, y su relación con el derecho de la evaluación y gobernanza a escala ciudadana.

³⁰ Se refiere a la representación gráfica visualizada en los planos de zonificación



				Subdistrito 6 Autopista		Subdistrito 6 Autopista		Subdistrito 6 Autopista
				Subdistrito 7 Central Camionera		Subdistrito 7 Central Camionera		Subdistrito 7 Central Camionera
				Subdistrito 8 CUSUR		Subdistrito 8 CUSUR		Subdistrito 8 CUSUR
		ZPG 2/6 ISSSTE Solidaridad	Distrito 2. Lago de Zapotlán	Subdistrito 1 La Fortuna-La Catarina	Distrito 2. Lago de Zapotlán	Subdistrito 1 La Fortuna-La Catarina	Distrito 2. Lago de Zapotlán	Subdistrito 1 La Fortuna-La Catarina
				Subdistrito 2 El Quemado		Subdistrito 2 El Quemado		Subdistrito 2 El Quemado
				Subdistrito 3 Las Carboneras		Subdistrito 3 Las Carboneras		Subdistrito 3 Las Carboneras
				Subdistrito 4 El Salitral		Subdistrito 4 El Salitral		Subdistrito 4 El Salitral
				Subdistrito 5 La Cofradía		Subdistrito 5 La Cofradía		Subdistrito 5 La Cofradía
		ZPG 3/6 Constituyentes-Tecnológico	Distrito 3. Montaña Oriente	Actualmente no se cuenta con su plan parcial, solo con su polígono	Sin información	Sin información	Distrito 3. Montaña Oriente	Sin información
			Distrito 4. Los Mazos	En juicio	Sin información	Sin información	Distrito 4. Los Mazos	Sin información
		ZPG 4/6 Panteón Autopista	Distrito 5. Fresnito-Apastepetl	No indica subdistrito	Distrito 5. Fresnito-Apastepetl	Subdistrito 1 Fresnito-Apastepetl	Distrito 5. El Fresnito	Subdistrito 1 Fresnito-Apastepetl El Nevado
		ZPG 5/6 CUSUR CREN	Distrito. 6 Los Depósitos	No indica subdistrito	Distrito. 6 Los Depósitos	Subdistrito 1 Los Depósitos	Distrito. 6 Los Depósitos	Subdistrito 1 Los Depósitos La Mesa
		El subdistrito 6 no aparece en el documento de consulta	Distrito 7. Atequizayán	No indica subdistrito	Distrito 7. Atequizayán	Subdistrito 1 Atequizayán	Distrito 7. Atequizayán	Subdistrito 1 Sin nombre Subdistrito 2 Sin nombre

Fuente: Elaboración propia, con base en análisis del contenido por cada instrumento

Puntos sensibles:

- Vulnerabilidad de la cuenca a nivel administrativo por falta de criterios ambientales actualizados.
- Plataformas municipales de transparencia con información desactualizada, o en su caso sin información, y en ello, la ausencia del derecho de acceso a la información.
- Falta de armonización, alineación y congruencia de las UATP, lo que vulnera la administración del suelo, que difícilmente podrá prevenir técnicamente e incluso fomenta, la tendencia de mayor consumo de territorio.
- Susceptibilidad urbana a inundaciones en temporada de lluvias.

Puntos positivos:

- Municipios con Planes de Desarrollo y Gobernanza vigentes, situación que promueve una integración a la agenda estatal, y materia de interés relacionadas con el medio ambiente y el ordenamiento territorial.

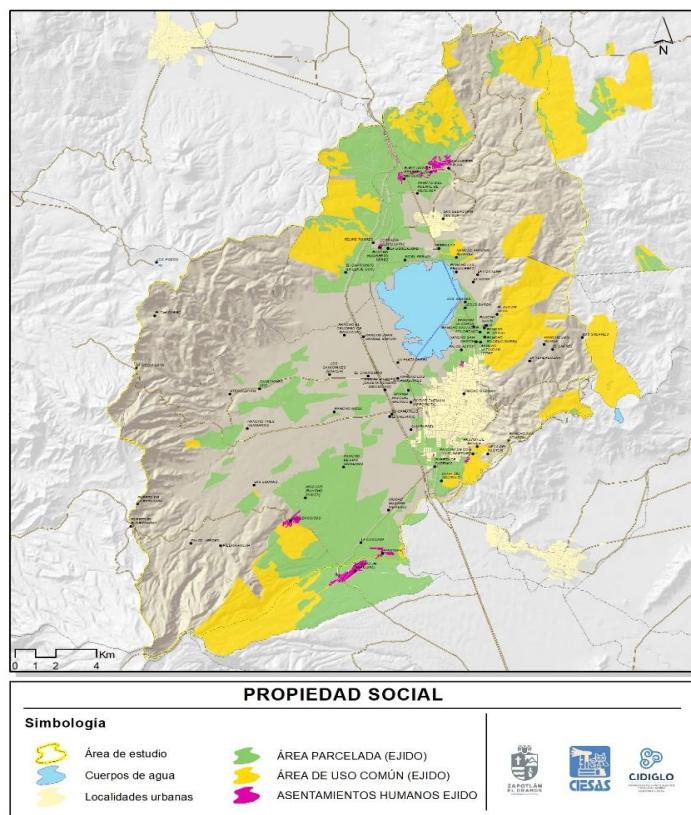
- Actualización del POEL por parte de Zapotlán El Grande, que es el municipio con mayor representatividad de territorio de la cuenca.

Territorio y sociedad

Con la finalidad de hacer un análisis integral de los ámbito social y territorial, el presente apartado agrupa una serie de datos estadísticos e informativos, que permitan perfilar la cuenca respecto a la suficiencia de servicios y equipamientos, así como otros relacionados con el emplazamiento de sectores de producción en el territorio, y la sociedad en general.

Relacionado a la especulación y cambios paulatinos del suelo, el régimen de propiedad suele ser un factor en muchos casos permisible respecto sus alcances de administración del o los poseicionarios. En el caso de las propiedades ejidales o comunales la administración de su titulares está inmersa en dinámicas totalmente diferenciadas del régimen de propiedad privada, y en donde los gobiernos no pueden incidir directamente, sin embargo ello en muchos casos promueve el traslado de propiedad y con ello, el aprovechamiento y explotación del suelo³¹.

Ilustración 68 Propiedad social en la cuenca

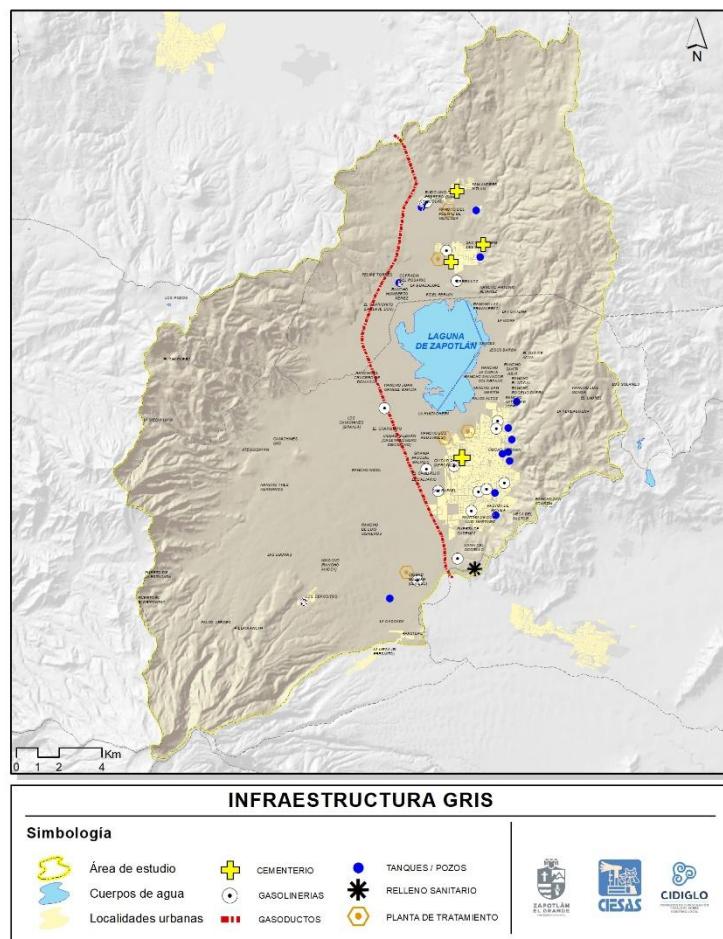


Fuente: elaboración propia con base en los datos abiertos del Registro Agrario Nacional (RAN)

³¹ Basada en la reglamentación interna del ejido, y lo establecido en la Ley Agraria. La tenencia de la tierra en el ordenamiento territorial resulta ser una variante de importancia, ya que la categoría parcelaria define en gran medida las limitaciones de acciones por representar unidades con derechos y administración colectiva

Aunado a la agrupación de elementos naturales que en conjunto representan activos y servicios representativos naturales (previamente identificados como Infraestructura Verde e Infraestructura Azul), existe además ciertos servicios urbanos artificiales que por su localización o distribución en el territorio identifican la concentración del desarrollo. El siguiente mapa de Infraestructura Gris, IN-G, agrupa una serie de servicios que se encuentran mayormente localizados al oriente de la cuenca, y encuentran una lógica de emplazamiento respecto a los centros de población de Gómez Farías y Zapotlán El Grande.

Ilustración 69 Infraestructura gris en la Cuenca



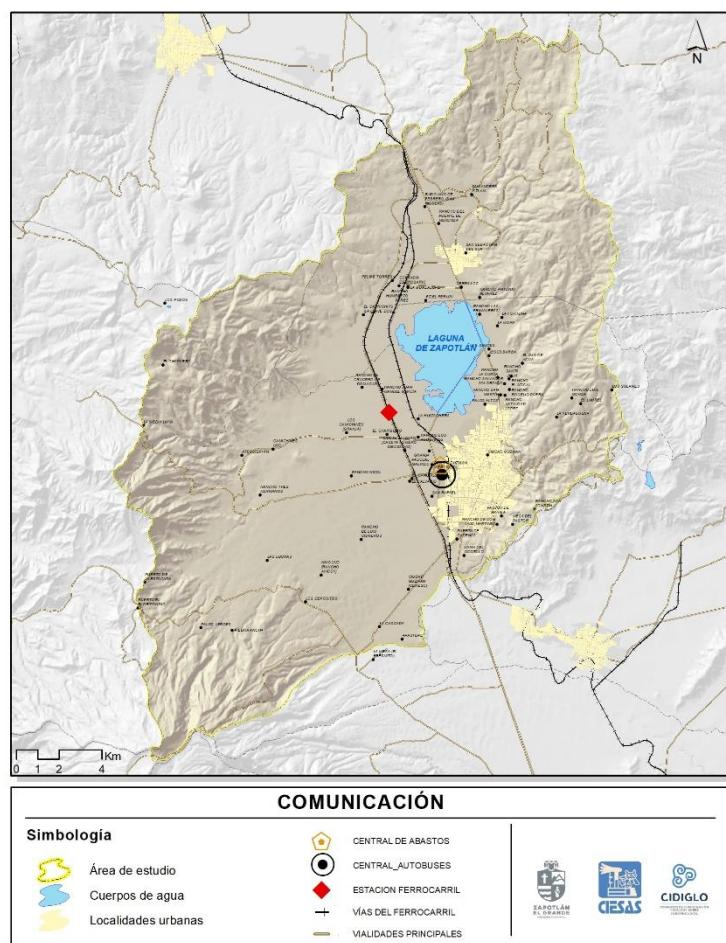
Fuente: elaboración propia con base en el Conjunto de datos espaciales del Marco Geo estadístico del Censo de Población y Vivienda (2020) y Conjunto de datos vectoriales de información topográfica escala 1:50 000 serie III del INEGI e Imagen satelital de Google Earth Pro y Mapa red de gasoductos México (2019) de la Comisión Federal de Energía (CFE)

Dicha ubicación de servicios obedece a su vez a la topografía, y localización de centralidades. En el caso de San Gabriel, el territorio perteneciente a la cuenca es escarpado (catalogado en su mayoría como bosque), mientras que Zapotlán por su jerarquía centraliza el mayor número de servicios, sin embargo Gómez

Farías se encuentra dotado de una IN-G básica, en donde la diferencia es la ausencia de un sitio de disposición de residuos (relleno sanitario).

Relacionado con la IN-V las redes de comunicación juegan un papel en algunos casos dicotómico, ya que por una parte son sinónimo de comunicación, fomenta la cercanía, y por otra son promotores de un desarrollo especulativo. A diferencia de la localización de los servicios de IN-G, en el caso de las comunicaciones y servicios de abasto Zapotlán representa la centralidad con mayores beneficios. Mientras Gómez Farías cuenta con una trama propia, y el paso de la vía férrea, es dependiente de la centralidad de abasto, y de servicio de autobuses de Zapotlán.

Ilustración 70 Infraestructura de comunicación en la Cuenca



Fuente: elaboración propia con base en el Conjunto de datos vectoriales de información topográfica escala 1:50 000 serie III del INEGI e Imagen satelital de Google Earth Pro

Se hace notar que existe una carretera, el libramiento norte, que atraviesa la Laguna, sin permeabilidad subsuperficial, y vulnerable a inundaciones en crecidas del nivel del cuerpo de agua. La cual además presenta continuos deterioros de la infraestructura, a pesar de que se realicen reparaciones frecuentes.

Y del mismo modo, la cabecera municipal de Zapotlán presenta inundaciones severas en ocasiones como la que se muestra.

Fotografía 11 Inundación de libramiento que cruza la Laguna



Fuente: Fotografía capturada del video “Laguna de Guzmán se desborda” (KtvNews 3 de septiembre de 2021)<https://www.youtube.com/watch?v=tHHacFFeYnc>

Fotografía 12 Inundaciones en sur de área urbana de Zapotlán

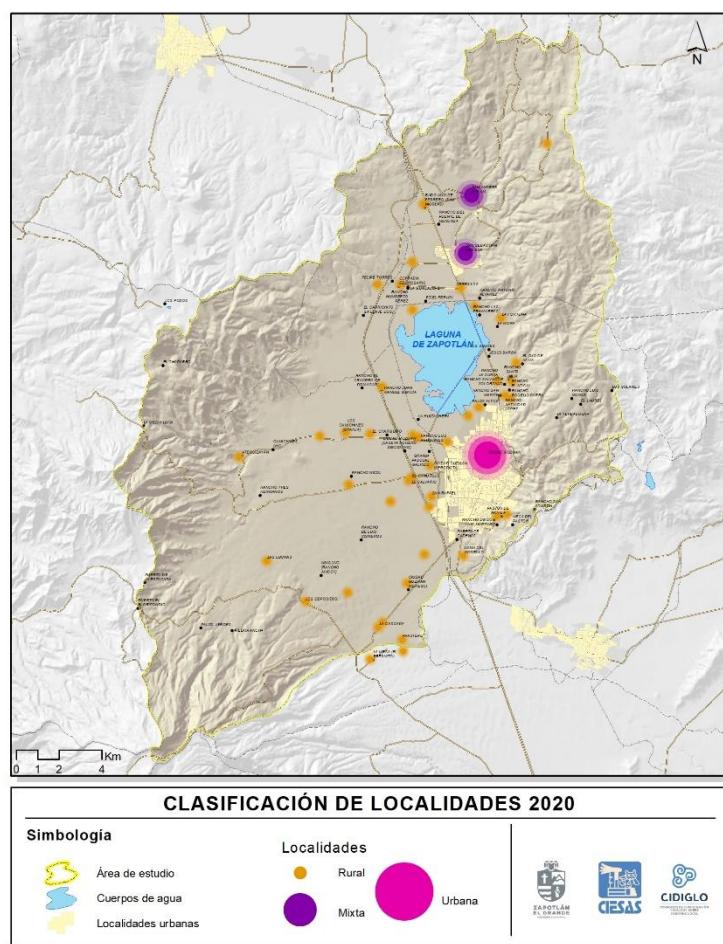


Fuente: La Voz del Sur, 12 de junio de 2021.
“Fuerte lluvia provoca inundaciones en la zona sur de Ciudad Guzmán”

En la Ilustración 72 se identifica la distribución territorial de las poblaciones, que se clasifica en localidades rurales, mixtas y urbanas. Para efectos de la clasificación de un sistema de ciudades (IMEPLAN, 2015) el presente estudio se basa en la clasificación de tres grupos de población, siendo los siguientes:

1. Población Urbana (más de 15 mil habitantes);
2. Población en transición rural-urbana (entre 2,500 y 14,999 habitantes);
3. Rural (menos de 2,500 habitantes).

Ilustración 71 Clasificación de localidades en la Cuenca



Fuente: elaboración propia con base en el Marco Geo estadístico y principales resultados por localidad del Censo de Población y Vivienda (2020) del INEGI

Zapotlán es el único municipio que cuenta con una considerable población urbana, a diferencia de Gómez Farías y San Gabriel, que cuentan únicamente con localidades mixtas y rurales. Esta condición según las proyecciones de población (ver tabla respectiva) no cambia en la cuenca al 2025, que en total suma una población de 130,141 habitantes.

Tabla 22 Población actual y proyecciones en la Cuenca

CLAVE	MUNICIPIO	POBLACIÓN INEGI		PROYECCIÓN CRECIMIENTO EXPONENCIAL		
		2010	2020	2025	2030	2035
23	ZAPOTLÁN EL GRANDE	99,720	114,956	123,426	132,520	142,284
79	GÓMEZ FARÍAS	13,693	15,179	15,981	16,826	17,716
113	SAN GABRIEL	4	6	7	9	11
TOTAL CUENCA		113,417	130,141	139,415	149,355	160,011



Fuente: elaboración propia con base en el Marco Geo estadístico y principales resultados por localidad del Censo de Población y Vivienda (2010 y 2020) del INEGI y al Modelo de Crecimiento Exponencial

Los requerimientos tanto de suelo, como de vivienda para la cuenca aunque no se observan exorbitantes respecto a casos análogos como el Área Metropolitana de Guadalajara (AMG), sí deberán integrar un criterio de compacidad y no promover la expansión. Si bien en la cuenca actualmente se observa un crecimiento horizontal, deberá tenerse especial cuidado con los emplazamientos y ubicaciones de la nueva oferta de vivienda en términos de densidades.

Tabla 23 Hectáreas requeridas de suelo y vivienda para uso urbano

MUNICIPIO	HECTAREAS REQUERIDAS			TOTAL DE HA
	2025 Corto	2030 Mediano	2035 Largo	
ZAPOTLÁN EL GRANDE	38.12	53.06	69.99	161.17
GÓMEZ FARÍAS	3.61	4.93	6.38	14.92
SAN GABRIEL	0.01	0.01	0.01	0.03
TOTAL CUENCA	41.74	58.00	76.38	176.11

Fuente: elaboración propia, con base en el análisis del Programa de Ordenamiento Ecológico y Desarrollo Urbano de la cuenca del Río Zula

Nota: Los datos para cálculo tanto de vivienda como de suelo, se recuperaron del Programa de Ordenamiento Ecológico y Desarrollo Urbano de la cuenca del Río Zula, que se basa en densidades para el cálculo de los dos componentes, en el sentido de representar ciudades de tipo media, aplicables al contexto de la región en estudio. Se calculó de la siguiente manera.

$$\begin{aligned}
 H1 &= \left(\frac{\%1 * Np1}{Ph1} \right) + \left(\frac{\%2 * Np1}{Ph2} \right) + \left(\frac{\%3 * Np1}{Ph3} \right) \\
 H2 &= \left(\frac{\%1 * Np2}{Ph1} \right) + \left(\frac{\%2 * Np2}{Ph2} \right) + \left(\frac{\%3 * Np2}{Ph3} \right) \\
 H3 &= \left(\frac{\%1 * Np3}{Ph1} \right) + \left(\frac{\%2 * Np3}{Ph2} \right) + \left(\frac{\%3 * Np3}{Ph3} \right) \\
 Th &= H1 + H2 + H3
 \end{aligned}$$

H1 = Hectáreas en el corto plazo

H2 = Hectáreas en el mediano plazo

H3 = Hectáreas en el largo plazo

%1 = 10 %

%2 = 20 %

%3 = 30 %

Np1= Nueva Población corto plazo

Np2= Nueva Población mediano plazo

Np3= Nueva Población largo plazo

Ph1 = Habitantes por Hectárea para H1-H

Ph2 = Habitantes por Hectárea para H2-H

Ph3 = Habitantes por Hectárea para H3-H

Th= Total de hectáreas

Tabla 24 Viviendas requeridas a corto, mediano y largo plazos

MUNICIPIO	VIVIENDAS REQUERIDAS ³²
-----------	------------------------------------

³² Resulta indispensable mencionar que aunque los criterios de densidades y autorizaciones de acciones urbanísticas se hace con base en los parámetros técnicos del desarrollo urbano, el sector de vivienda a nivel nacional es contemplado como un sector especial, y que durante años ha carecido de una estrategia en las escalas locales, por lo que actualmente se visualiza en un fenómeno de irregularidad relacionado con la sobre producción, y tienen graves consecuencias como el abandono. Por ello, se menciona tener especial cuidado en las formas producción y autorización, a falta de un sistema a nivel municipal a cargo



	2025 Corto	2030 Mediano	2035 Largo	TOTAL DE VIVIENDAS
ZAPOTLÁN EL GRANDE	1,016	1,091	1,172	3,279
GÓMEZ FARÍAS	96	101	107	304
SAN GABRIEL	0.2	0.2	0.2	1
TOTAL CUENCA	1,112.84	1,193	1,279	3,584

Fuente: elaboración propia, con base en el análisis del Programa de Ordenamiento Ecológico y Desarrollo Urbano de la cuenca del Río Zula

Se calculó de la siguiente manera.

$$\begin{aligned}V1 &= (Hac * Vh1) + (Hbc * Vh2) + (Hcc * Vh3) \\V2 &= (Ham * Vh1) + (Hbm * Vh2) + (Hcm * Vh3) \\V3 &= (Hal * Vh1) + (Hbl * Vh2) + (Hcl * Vh3) \\TV &= V1 + V2 + V3\end{aligned}$$

V1 = Viviendas en el corto plazo

V2 = Viviendas en el mediano plazo

V3 = Viviendas en el largo plazo

Hac, Ham, Hal = Hectáreas en el corto plazo para H1-H

Hbc, Hbm, Hbl = Hectáreas en el mediano plazo para H2-H

Hcc, Hc, Hcl = Hectáreas en el largo plazo para H3-H

Vh1 = Viviendas por Hectárea para H1-H

Vh2 = Viviendas por Hectárea para H2-H

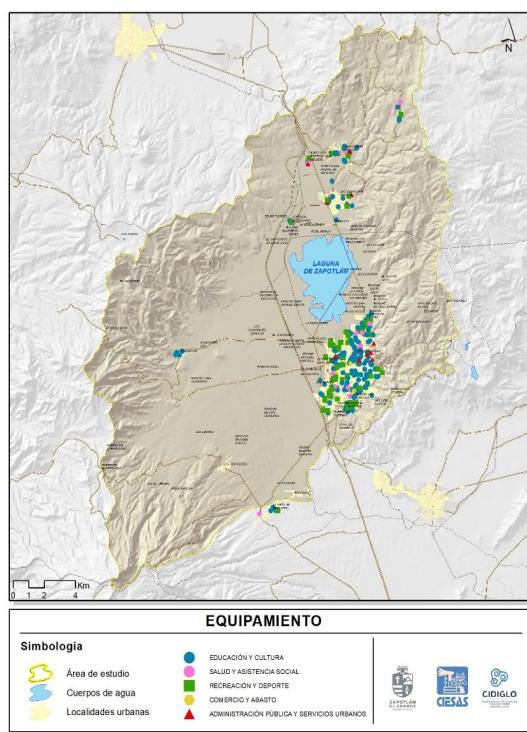
Vh3 = Viviendas por Hectárea para H3-H

Vh = Total de Viviendas

La distribución población y ubicación localidades encuentra un diálogo en torno a los equipamientos existentes y su cobertura. De conformidad con los alcances del presente Plan Maestro, es que se observa que los equipamientos encuentran una suficiencia en los centros de población, al igual que las unidades económicas de índole industrial, generadores de empleo dentro de los municipios de la cuenca.

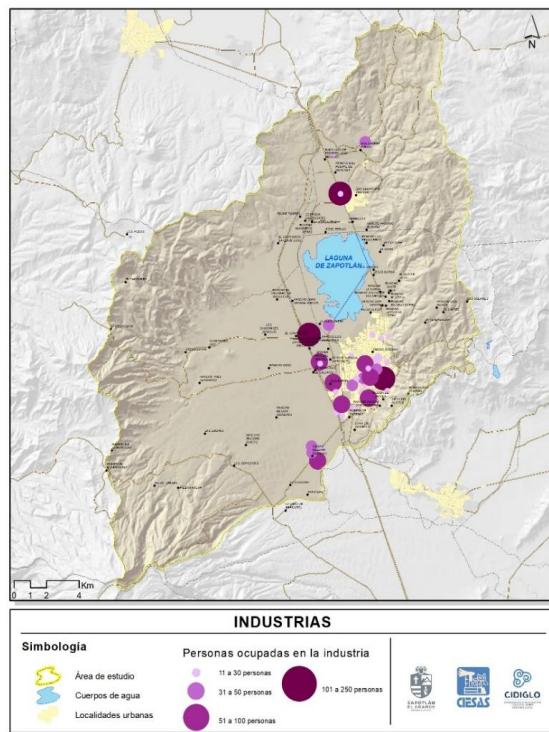
de la materia como política, y no dejar de lado la recomendación de compacidad como un criterio de precaución.

Ilustración 72 Equipamiento en la Cuenca



Fuente: elaboración propia con base en el Conjunto de datos espaciales del Marco Geoestadístico del Censo de Población y Vivienda (2020) del INEGI

Ilustración 73 Industrias en la Cuenca



Fuente: elaboración propia con base en el Directorio Estadístico Nacional de Unidades Económicas del INEGI (2021).



Aspectos sensibles:

- Vulnerabilidad de la cuenca por actividades de aprovechamiento de suelo en zonas con política ecológica restrictiva.
- Amenazas para la biodiversidad por agroquímicos.
- Cambios de uso del suelo, debido a la presión sobre su vocación natural por parte de inversionistas y la dicotomía de la activación del mercado local.
- Desestabilización ecosistémica.
- Ausencia de una política específica de vivienda en la cuenca.
- Un solo sitio de disposición final de residuos, el de Zapotlán el Grande, y con problemas de manejo.

Aspectos positivos:

- Tasa de crecimiento de población equilibrada.
- Servicios urbanos y equipamientos en las localidades con mayor concentración.
- Alta capacidad de servicios ambientales, respecto a las características IN-V e IN-A.



Tabla 25 Síntesis de datos del sistema urbano-rural de los municipios principales de la cuenca de la Laguna de Zapotlán

SISTEMA URBANO-RURAL DE LOS MUNICIPIOS DE LA CUENCA DE LA LAGUNA DE ZAPOTLAN									
TOTAL CUENCA	SAN GABRIEL	GOMEZ FARÍAS	ZAPOTLAN EL GRANDE	MUNICIPIO		A. POBLACION		B. TERRITORIO	
				POBLACION	POBLACION	SU P.	TOTA P.	SU P.	URBA NO
113,417	4	13,693	99,720	201	0				
130,141	6	15,179	114,956	202	0				
1.38%	4.14%	1.04%	1.43%						
42,641	1	4,971	37,669	TOTAL VIVIENDAS (2020)					
46,015.39	4,113.82	13,758.05	28,143.52	SU P.	TOTA P.				
2,636	0.00	616.88	2,018.91	SU P.	URBA NO				
6%	0%	4%	7%	%	%				
43,379.60	4,113.82	13,141.17	26,124.61	SU P.	RURA L				
94%	100%	96%	93%	%	%				
111,975	-	-	111,975	POBLACION URBA NAS					
1	-	-	1	NUMERO LOCALIDADE S	NUMERO LOCALIDADE S				
14,677	-	14,677	-	POBLACION MIXTO					
2	-	2	-	NUMERO LOCALIDADE S	NUMERO LOCALIDADE S				
3,489	6	502	2,981	POBLACION RURA L					
50	1	12	37	NUMERO LOCALIDADE S	NUMERO LOCALIDADE S				
14,477.47	546.55	5,987.88	7,943.04	TOTAL HA					
126.74	0.00	70.28	56.46	SU P.	ASEN TAMIE NTOS HUMA				
0.9%	0%	1.2%	0.7%	%	%				
6,151.33	546.55	2,893.27	2,711.51	SU P.	USO COMU N				
42%	100%	48%	34%	%	%				
8,199.40	0.00	3,024.33	5,175.07	SU P.	PARC ELAD A				
57%	0%	51%	65%	%	%				

Fuente: elaboración propia con base en el Marco Geo estadístico y principales resultados por localidad del Censo de Población y Vivienda (2010 y 2020) del INEGI y datos abiertos del Registro Agrario Nacional (RAN)

3 Agenda Territorial

3.1. Metodología de elaboración

La metodología de elaboración de la Agenda Territorial articula métodos y herramientas de planificación orientadas a resultados y la formulación de proyectos evaluables, con indicadores de monitoreo y seguimiento, aunado a mejoras prácticas internacionales, que consideraron lógicas de causalidad entre condiciones ambientales y actividades económicas, públicas y sociales identificadas en el diagnóstico territorial, y destacadamente con base en la identificación de efectos acumulativos para la evaluación de los impactos (consecuencias) ambientales de planes y programas, conocida internacionalmente como Evaluación Ambiental Estratégica, según lineamientos propuestos en la International Association of Impact Assessment, IAIA).

La Agenda Territorial se desarrolla bajo el Enfoque de Marco Lógico (EML), también conocido como Sistema de Marco Lógico, enfoque metodológico de mayor uso en el diseño, ejecución y evaluación de intervenciones tanto de carácter estratégico como específico, que pretenden alcanzar mejores niveles en términos de efectividad, calidad y eficiencia.

Dado que se trata de un instrumento enfocado al diseño y formulación, se concibe desde un enfoque sistémico que, de forma subsecuente, permite construir la estructura de la intervención en congruencia con lo que debe resolverse (o lograrse), a fin de asegurar su consistencia lógica interna, partiendo desde las causas y efectos de la problemática y los actores que se involucran en su planteamiento, en una secuencia de seis pasos:

1. Análisis de involucrados: Este se construye al identificar a los actores que serán beneficiadas o afectadas por el programa su postura (positiva o negativa, a favor o en contra y, en su caso, con sus respectivos matices) sus demandas y lo que ofrecen, así como posibles alianzas de actores entre sí, acompañado de sus respectivas observaciones que recogen y precisan aspectos adicionales de interés.
2. Árbol/es de Problemas, el cual se construye al identificar:
 - ✓ el problema principal que debe resolverse por el programa.
 - ✓ lo que sucederá, de no resolverse el problema principal.
 - ✓ sus causas estructurales (de 1er orden) y las causas subyacentes de éstas (de 2do orden).
3. Árbol/es de Objetivos, que se construye al plantear:
 - ✓ el objetivo principal, a partir del problema central del árbol de problemas, transformándolo en positivo,
 - ✓ una versión positiva de los efectos, como fines, con viabilidad de realizarse.
 - ✓ una versión positiva de cada causa, como medios con viabilidad de realizarse,

4. Estructura Analítica del Programa, con los siguientes pasos:
 - ✓ Enfrentar y revisar la situación negativa (-) versus la situación positiva (+), verificando su congruencia.
 - ✓ Crear un clasificador acorde a los medios subyacentes e,
 - ✓ Incluir las alternativas que habrán de atender los medios subyacentes.
5. Análisis de Alternativas, que se genera al:
 - ✓ Ponderar las viabilidad de las alternativas desde el punto de vista técnico, económico, político, social, ambiental y comunitario.
 - ✓ Asignar un presupuesto aproximado o como referencia, a cada una de las que resultaron con mayor viabilidad.
 - ✓ Fusionar o integrar alternativas según su clasificación y viabilidad.
6. Matriz/matrices de Marco Lógico (MML)

Es el Instrumento de gestión de programas y proyectos que:

- ✓ Fortalece la preparación y ejecución.
- ✓ Resume resultados previstos del programa o proyecto.
- ✓ Permite seguimiento gerencial de ejecución, y
- ✓ Facilita evaluación de resultados e impactos.

Dicha matriz sigue una lógica tanto vertical como horizontal, y se construye con los siguientes pasos:

- ✓ Determinar el propósito, a partir del objetivo central.
- ✓ Concentrar las alternativas en componentes.
- ✓ Desglosar cada componente en pasos necesarios para llevarlos a cabo, en orden cronológico
- ✓ Identificar las condiciones de riesgo ajenas a la gerencia del programa para cada nivel de objetivo, escribiéndolas con sentido positivo.
- ✓ Construir indicadores para cada objetivo (al menos 3 para el propósito)
- ✓ Elaborar las fuentes de datos para asegurar la veracidad de la fuente de cada variable, para cada indicador, cuidando que sean precisas.

Desde su concepción, el EML fue diseñado para consolidar la estructura de los proyectos y programas con capacidad de atender tres problemas básicos:

1. La planificación imprecisa: Múltiples objetivos con distintos niveles que estaban poco relacionados con las actividades puntuales de los proyectos, dificultando la precisión para identificar el éxito o fracaso de lo sucedido gracias a la intervención.
2. El confuso manejo de la responsabilidad: Dificultad para que los administradores de proyectos identificaran el nivel de responsabilidad de todos los que participaban en él, tanto a nivel desempeño como de resultados.
3. El proceso de evaluación controversial: Con la ausencia de claridad en lo que debía lograrse, surgían múltiples confusiones y desacuerdos, incluso entre los miembros del mismo proyecto, en la medida que no había criterios precisos para determinar el sentido positivo o negativo de las acciones y su contribución a resultados (buenos o malos).

Al estar orientada a resultados y ser capaz de rendir cuentas de su implementación la Agenda Territorial:

1. Representa una lectura territorial para identificar los desequilibrios y asimetrías.
2. Se ajusta a las obligaciones legales correspondientes.
3. Se apoya en un sistema de información geográfica (SIG).
4. Integra monitoreo y evaluación para calibrar avances y retrocesos respecto de lo planificado, generando los datos para los correspondientes reportes e informes.
5. Funciona como base para diseñar proyectos de inversión y rediseñar programas presupuestales orientados a resultados.

Con ello se trata de evitar errores sistémicos al iniciar definiendo estrategias o predeterminando el rumbo, sin partir de la realidad y su problemática, así como errores clásicos como los siguientes en los que la planeación tradicional suele incurrir en nuestro contexto:

- Ignorar los desequilibrios en el territorio, desconocer las brechas o asumir que el territorio es unitario o lineal.
- Proponer o predeterminar proyectos o programas sin formular la relación causa-efecto entre la solución y los problemas, ni evaluar el alcance de sus beneficios.
- Mantener desconectado el desempeño interno de las áreas y los resultados que espera la ciudadanía.
- Diseñar o ampliar organigramas sin fundamento técnico ni relación con el desempeño requerido, carente de criterios para evaluar al personal.
- Diseñar y operar un presupuesto “por objeto de gasto” a base de partidas presupuestales que deben ‘vaciarse’ antes de fin de año.
- Construir indicadores aislados, desconectados de objetivos y responsabilidades, sin metas, para terminar “evaluándose a sí mismo”.

Se trata, en resumen, de una técnica cualitativa de análisis científico y participativo; permite presentar en forma resumida y estructurada cualquier iniciativa o intervención; contribuye a fortalecer el diseño y la operación de programas o proyectos, resumiendo los principales resultados esperados, facilitando el monitoreo y evaluación de sus efectos, bajo una lógica fundamentada paso a paso, que inicia desde la concepción aristotélica de la problemática.

En esencia, la gestión pública orientada a resultados cuenta con cinco elementos *mínimos* que pueden ser vistos desde un ciclo, particularmente en intervenciones de esta naturaleza como el Plan Maestro de la cuenca endorreica de Zapotlán el Grande, según muestra el diagrama:

Ilustración 74 Elementos mínimos del Ciclo de Gestión Pública



Fuente: Elaboración propia

De forma puntual, siguiendo el diagrama en orden ascendente, puede determinarse que:

- (1) En un primer momento, es preciso identificar y cuantificar los rezagos (brecha) que determinan las distintas formas de desigualdad en la dotación de infraestructura y servicios a que se está obligado, puesto que la desigualdad no solo es de ingresos. Contar con información precisa para tener a la vista esta realidad con detalle a partir de estructuras de datos sólidas contribuye a solventar con certeza el diagnóstico. En el caso de la cuenca endorreica de la laguna de Zapotlán, la brecha se construye desde 2 perspectivas:
 - Los servicios ecosistémicos afectados
 - La población del área relevante que padece la afectación del activo ambiental.
- (2) Sin embargo, no todos los ciudadanos de cualquier territorio tienen la misma perspectiva de sus prioridades y no todos identifican los problemas con la misma postura, además que el conocimiento del territorio y su capacidad o medios para el procesamiento de datos también es asimétrico. Lograr un consenso de base ciudadana para concebir de la manera relativa en que la problemática plantea y determina la postura del ciudadano, fortalece el ejercicio de participación y abre el camino para una adecuada rendición de cuentas. Para este caso, el lunes 26 y martes 27 de julio se realizaron ejercicios a manera de taller en el municipio de Zapotlán el Grande, en los que se plantearon tanto la problemática identificada como las posibles vías de transformar la situación actual negativa en una versión positiva, pero viable. Los participantes de estas sesiones conocieron la metodología, analizaron y opinaron sobre ambos planteamientos, además de identificar posibles alternativas de solución.
- (3) Las intervenciones deberán formularse en congruencia y apoyo de metodologías que brinden certeza al ejercicio del presupuesto y contribuyan a mejorar las condiciones de vida de la población, sin embargo, este proceso es complejo y se requiere el manejo de herramientas de trabajo colectivo. Para el caso que nos ocupa, estas intervenciones

cuentan con el avance estructurado del Enfoque de Marco Lógico desarrollado y pueden ser manejadas a partir de su evolución en el Banco Integrado de Proyectos.

(4) La ejecución de cualquier intervención (programa o proyecto), cobra igualmente relevancia cuando se tiene claro que cualquier retraso o problema en esta etapa, retrasa o condiciona a los beneficiarios en el cambio de sus condiciones de vida, la apuesta central de cualquier intervención pública, además de poner en riesgo los recursos públicos que siempre son escasos. Es preciso construir mecanismos de prevención, no solo de control y exigencia, que garanticen que las intervenciones cumplan al menos con lo contractualmente planteado en términos de cuatro rasgos:

- Cantidad
- Calidad
- Costo
- Cronograma

(5) El monitoreo y la evaluación son ejercicios que, partiendo de una metodología precisa y solvente, fundamenten buena parte de las expectativas de resultados de cualquier grupo poblacional en cualquier forma de intervención puntual o permanente, sobre todo, en términos de resultados. Para que una intervención (programa o proyecto) pueda alcanzar resultados, requiere hacer visible con evidencia que, gracias a ella, ha sido posible transformar algo en la vida de los beneficiarios (o área de enfoque) hacia donde estaba orientado su propósito. Para ello, es importante diseñar y poner en marcha la estructura de monitoreo y evaluación con indicadores adecuados en cada uno de los niveles de la Cadena de Valor (procesos, productos y resultados).

El Plan Maestro de la cuenca endorreica de la Laguna de Zapotlán el Grande cuenta con la estructura lógica y tendrá capacidad de demostrar resultados y rendir cuentas a la sociedad, en la medida que las acciones (programas o proyectos) planteadas en el Banco Integrado de Proyectos puedan evolucionar y consolidarse para dar respuesta con certeza técnica demostrable a las prioridades de este instrumento de planificación.

A continuación se detallan los pasos y componentes del Sistema de Marco Lógico de la Agenda Territorial de este Plan Maestro. Se desarrollaron los primeros cuatro pasos, en tanto que la definición precisa de las alternativas (iniciativas de proyectos), en su caso (AA), estaría sujeta a la implementación y evolución del Banco Integrado de Proyectos propuesto, situación que se explicará posteriormente.

De acuerdo con el análisis situacional o de diagnóstico realizado, y dada la complejidad de abordar tanto el saneamiento de la laguna como la sustentabilidad de su cuenca, se han definido 2 problemas centrales íntimamente anidados:

- Uno según área de enfoque: La laguna de Zapotlán presenta problemas de contaminación que afectan la salud humana, la biodiversidad y los servicios ecosistémicos; y
- Otro en razón de población afectada: Los habitantes de los municipios de la cuenca de la laguna de Zapotlán afectados en sus derechos humanos al agua, al saneamiento y a un ambiente sano, su salud y entorno saludable por el sistema de gestión del agua y el territorio.



Estos 2 problemas centrales se determinaron en razón de la vulnerabilidad ecosistémica, y la vulnerabilidad social y humana en la cuenca, que aunque están íntimamente relacionadas, merecen atenciones diferenciadas.

Dado que el Árbol de Problemas (AP) constituye la base del análisis que permitirá asegurar la consistencia lógica interna³³ del programa, en este caso, del Plan Maestro, y por tratarse de un instrumento de planificación de gran alcance, se requiere considerar a todos los posibles afectados de la problemática, en este caso, tanto las personas como la propia laguna. Ello responde a lo establecido por los lineamientos de la Secretaría de Hacienda y Crédito Público (SHCP) en la “Guía para el diseño de la Matriz de Indicadores para Resultados³⁴ (MIR)”, página 28, que precisa la posibilidad de centrar el análisis de la problemática en dos tipos de afectaciones:

- (a) Hacia la población afectada, o bien,
- (b) Hacia un área de enfoque, es decir, un activo público de interés colectivo que no puede ser referido como población, en este caso, la laguna.

En este sentido, por las naturalezas diversas de los problemas, se optó por tomar los dos tipos de afectaciones posibles, con lo que se determinó que se desarrollarían los 2 ejercicios de Marco Lógico.

3.2. Análisis de involucrados

El marco de análisis socioambiental comprende las interrelaciones entre los actores clave que habitan y se desarrollan en la cuenca.

La cuenca, y destacadamente la Laguna, han sido objeto de la agenda pública y la sociedad del valle de Zapotlán desde hace décadas. Son numerosas las organizaciones de todo tipo que buscan su mejora desde diferentes frentes, a través de diversos medios, y con una marcada tendencia colaborativa digna de ser destacada. Resulta de especial interés la existencia de una estructura de diálogo y concertación acerca de la Laguna, donde se abordan los problemas y alternativas de acción ante los retos de sustentabilidad regional centrados en los hidrosistemas. Son también un espacio para generar intercambios de información y encontrar decisiones favorables para la Laguna más allá de los intereses particulares, así como para tratar la compleja conflictividad socioambiental en la cuenca desde procesos de reconocimiento, análisis e interlocución sectorial e intersectorial profundas.

Los mecanismos que existen para involucrar a partes interesadas son a través de la “Lago Viviente Zapotlán” donde cualquier persona interesada puede participar, además, se cuenta con la Mesa Técnica y con el Patronato del Nevado de Colima con el cual hay una comunicación constante donde se plantean preocupaciones sobre planes que se tienen a futuro y así se

³³ Por consistencia lógica interna se refiere a la congruencia que debe prevalecer entre la lógica vertical de la cadena de valor (procesos > productos > resultados y orientación a impactos) y la naturaleza de sus riesgos externos, en conjunción con la lógica horizontal, determinada esta última por los instrumentos de medición y sus fuentes de datos.

³⁴ Véase documento citado en página electrónica del Sistema de Evaluación del Desempeño de la SHCP, consultada el 15 de septiembre de 2021, disponible en: <https://www.gob.mx/shcp/documentos/guia-para-el-diseno-de-la-matriz-de-indicadores-para-resultados>

colaboran y comparten distintas opiniones. (Gobierno de Zapotlán et. al. 2021:67)

En el caso de la Mesa de la Laguna, esta surgió en 2020 conforme al Plan 2033, en la visión a mediano y largo plazo para el Municipio de Zapotlán, y se consideró la opinión de diferentes sectores comerciales, poblaciones desde niños hasta adultos mayores (Gobierno de Zapotlán et. al. 2021:66)

En un principio se contempló que la Mesa estuviera a su vez integrada por 4 mesas de colaboración intersectorial: técnica, infraestructura, económica, y social. Sin embargo la técnica en la práctica ha sido el mecanismo integrador de todo tipo de actores, tanto por participación habitual como por invitaciones puntuales.

La Mesa Técnica de la Laguna de Zapotlán aglutina principalmente a la Coord. de Desarrollo Agropecuario (Zapotlán), la Junta Intermunicipal de Medio Ambiente para la Gestión Integral de la Cuenca del Río Coahuayana (JIRCO), la Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural del Gobierno de Jalisco (SADER; Dir. Sustentabilidad Cadenas Productivas), el Centro Universitario del Sur, Universidad de Guadalajara (CUSUR), el Tecnológico Nacional de México Campus Cd. Guzmán, la Secretaría de Medio Ambiente y Desarrollo Territorial (SEMADET, Gobierno de Jalisco), al Parque Nacional Volcán Nevado de Colima, la Comisión Estatal del Agua (CEA, Gobierno de Jalisco), el SAPAZA (calidad agua), la Dir. Medio Ambiente y Desarrollo Sustentable Zapotlán, la Dir. de Ecología Gómez Farías, y la Dir. Fomento Agropecuario Gómez Farías. Además de empresas agrícolas como Grupo Cerritos, Berrymex, “Aguacates y Cortes, Cortes”, Hacienda “El Angel” asociaciones como: la Asociación Nacional de Exportadores de Berries (Aneberries), Asociación de Productores Exportadores de Aguacate de Jalisco (APEAJAL) (Gobierno de Zapotlán et. al. 2021:65)

La debilidad de la Mesa de la Laguna es no estar legalmente constituida, sin embargo se ha hecho una muy buena dinámica de gobernanza para toma de decisiones. La principal fuerza es la visión común que se tiene a mediano y largo plazo (Gobierno de Zapotlán et. al. 2021:66)

La Ilustración 75 muestra de una manera esquemática los principales sectores involucrados en la sustentabilidad de la cuenca.

Ilustración 75. Principales sectores involucrados en la sustentabilidad de la cuenca.



Fuente: elaboración propia.

Entre los actores primarios que se han identificado y destacan, se encuentran los siguientes.

Tabla 26 Análisis de involucrados en la sustentabilidad de la laguna y su cuenca.

Sector	Institución/Organización	Lo que ofrece	Lo que demanda	Anotaciones de interés
Público municipal	Municipio de Zapotlán El Grande, Coordinación General de gestión de la ciudad (medio ambiente y desarrollo sustentable, planeación, ordenamiento territorial y obras públicas)	Información disponible y colaboración para mejorar los instrumentos y sistemas a su cargo	Compromisos y corresponsabilidades sectoriales. Acceso a financiamiento a mediano y largo plazos. Alternativas de sustentabilidad productiva y ecosistémica	Integra la mesa técnica de la laguna. Coordina Medio Ambiente y desarrollo sustentable, y participa ordenamiento territorial. Se incorpora de manera integrada. Puede desglosarse para cada dirección específica.
Público municipal	Municipio de Zapotlán El Grande, Coordinación General de desarrollo económico turístico y agropecuario	Programas, proyectos y actividades para mejorar la competitividad del sector agropecuario. Estudios viables y sustentables de promoción económica y desarrollo turístico	Compromisos y corresponsabilidades sectoriales. Acceso a financiamiento a mediano y largo plazos.	Integra la mesa técnica de la laguna



Sector	Institución/Organización	Lo que ofrece	Lo que demanda	Anotaciones de interés
Público municipal	Municipio de Zapotlán El Grande, Coordinación General de construcción de comunidad (participación, cultura, deporte y salud)	Información disponible y colaboración para mejorar los instrumentos y sistemas a su cargo	Compromisos y corresponsabilidades sectoriales. Acceso a financiamiento a mediano y largo plazos.	
Público municipal	Municipio de Zapotlán El Grande, Coordinación de Salud municipal	Información disponible y colaboración para mejorar los instrumentos y sistemas a su cargo	Compromisos y corresponsabilidades sectoriales. Acceso a financiamiento a mediano y largo plazos.	
Público municipal	Municipio de Zapotlán El Grande, sindicatura y su unidad jurídica	Articulación jurídica para nuevas figuras como el Patronato de la Laguna. Aplicación de evaluaciones técnicas profundizadas en materia de licencias y autorizaciones municipales a determinados sectores como el de agricultura protegida. Disposición para establecer procedimientos de prevención control y sanción de descargas al sistema de agua junto con el SAPAZA	Procedimientos claros y jurídicamente bien diseñados e instrumentados. Acompañamiento jurídico en procesos de mejora regulatoria. Reglamentación de pesca deportiva. Reglamentación de usos, accesos y actividades.	
Público municipal	Municipio de Zapotlán El Grande, Sistema de Agua Potable de Zapotlán (SAPAZA)	Información disponible y colaboración para mejorar los instrumentos y sistemas a su cargo. Disposición para establecer procedimientos de prevención control y sanción de descargas al sistema de agua junto con otras dependencias municipales.	Corresponsabilidad pública y de la población. Mejorar eficiencias física y comercial de los sistemas, necesariamente a través de planeación a largo plazo, control financiero de los sistemas, reducir cartera vencida, incrementar los ingresos al mejorar la cultura contributiva. Obtener financiamiento adecuado para inversiones en infraestructura de largo plazo. Operar la recirculación de agua tratada y su uso en actividades públicas y privadas. Conocer la realidad del acuífero para tomar decisiones oportunas y adecuadas.	Integra la mesa técnica de la laguna. Organismo público descentralizado con oportunidades de trascender administraciones municipales, aunque su dirección general depende de decisiones políticas. Estructura apropiada y planeación razonable, con coordinación interna y externa. Buena relación con otros actores en general.
Público municipal	Municipio de Zapotlán El Grande, unidad municipal de protección civil y bomberos	Políticas y prácticas para la prevención y gestión integral de riesgos	Cultura de prevención y gestión de riesgos. Control de acceso, señalética y usos compatibles en la laguna.	
Público municipal	Municipio de Gómez Fariás, dirección de agua potable	Información disponible y colaboración para mejorar los sistemas a su cargo	Recursos para infraestructura y personal capacitado, generar información digitalizada de redes de agua.	
Público municipal	Municipio de Gómez Fariás, dirección de ecología	Información disponible y colaboración para mejorar los sistemas de tratamiento y saneamiento.	Personal y recursos para mejorar la infraestructura de tratamiento y saneamiento. Mejorar la coordinación y los procedimientos con otras dependencias,	



Sector	Institución/Organización	Lo que ofrece	Lo que demanda	Anotaciones de interés
			destacadamente de agua y desarrollo agropecuario.	
Público municipal	Municipio de Gómez Fariás, dirección de desarrollo urbano	Información disponible y colaboración para mejorar los instrumentos y sistemas a su cargo	Instrumentos armonizados para la gestión del territorio, y fortalecer coordinación intermunicipal	
Público municipal	Municipio de Gómez Fariás, dirección de desarrollo agropecuario	Información disponible y colaboración para mejorar los instrumentos y sistemas a su cargo	Alternativas de sustentabilidad productiva y ecosistémica	
Público municipal	Municipio de Gómez Fariás, dirección de turismo	Información disponible y colaboración para fortalecer las actividades turísticas y artesanales	Mayor promoción de actividades turísticas y artesanales. Alargar temporadas de visitación.	
Público municipal	Municipio de Gómez Fariás, dirección de protección civil	Políticas y prácticas para la prevención y gestión integral de riesgos	Cultura de prevención y gestión de riesgos. Control de acceso, señalética y usos compatibles en la laguna.	
Público intermunicipal	Junta Intermunicipal de Medio Ambiente para la Gestión Integral de la Cuenca del Río Coahuayana (JIRCO)	Alternativas de cooperación intermunicipal para la sustentabilidad de la cuenca endorreica. Asistencia técnica y aportación de recursos en especie (personal, estudios, planes y programas, acciones específicas). Ha estado a cargo de los trabajos de remoción de malezas acuáticas.	Compromisos y corresponsabilidades públicas y sectoriales. Coordinación intermunicipal. Acceso a financiamiento a mediano y largo plazos	La JIRCO cuenta con una dirección de la cuenca endorreica de la laguna. Ha liderado acciones de saneamiento, así como realizado estudios técnicos en materia de cambio climático, manejo forestal, entre otros. Integra la mesa técnica de la laguna, así como la comisión de cuenca. Es un organismo descentralizado clave para la sustentabilidad de la laguna más allá de las administraciones municipales, y con personal técnico capacitado. Además obtienen financiamiento de fuentes diversas, destacadamente del Gobierno de Jalisco a través de SEMADET principalmente.
Público estatal	Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural del Gobierno de Jalisco (SADER)	Apoyo técnico y económico en cadenas productivas agropecuarias y sustentabilidad	Compromisos y corresponsabilidades públicas y sectoriales.	
Público estatal	Secretaría de Medio Ambiente y Desarrollo Territorial del Gobierno de Jalisco (SEMADET)	Apoyo técnico y económico a los municipios e intermunicipalidad en aspectos de ordenamiento territorial y gestión de ecosistemas. Prevención y control de la contaminación en aspectos de su competencia. Colaboración interinstitucional y como	Compromisos y corresponsabilidades públicas y sectoriales.	La SEMADET es regulador de materias como residuos sólidos urbanos y de manejo especial, evalúa el impacto ambiental de proyectos de su competencia, lidera el comité estatal de humedales, y participa en la mesa técnica de la laguna, entre otros.



Sector	Institución/Organización	Lo que ofrece	Lo que demanda	Anotaciones de interés
		gobierno intermedio entre lo local y lo federal.		
Público estatal	Secretaría de Gestión Integral del Agua del Gobierno de Jalisco (SGIA)	Apoyo técnico y económico en sistemas de agua y saneamiento	Corresponsabilidad municipal	El rediseño y obras en la PTAR de cabecera de Gómez Farías se realiza con recursos estatales aportados a través de la SGIA.
Público estatal	Comisión Estatal del Agua (CEA, Gobierno de Jalisco)	Apoyo técnico en sistemas de agua y saneamiento	Corresponsabilidad municipal	La CEA realiza análisis de calidad de agua en favor de los municipios. Y participa en los órganos del SAPAZA, así como en la mesa técnica de la laguna, entre otros.
Público federal	Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT)	Mejorar la gestión ambiental y dictaminaciones ambientales de proyectos de su competencia. Apertura para convenios de coordinación y descentralización de facultades	Personal y otros recursos para mejorar su gestión y eficacia. Corresponsabilidad local	Las dependencias federales ambientales en Jalisco están realizando un plan de trabajo para focalizar recursos en la cuenca, que ha sido elegida como una de las 6-7 intervenciones prioritarias en Jalisco, según se nos ha hecho saber.
Público federal	Comisión Nacional del Agua (CONAGUA)	Mejorar la gestión ambiental y dictaminaciones hídricas de proyectos de su competencia. Apertura para convenios de coordinación y descentralización de facultades	Personal y otros recursos para mejorar su gestión y eficacia. Corresponsabilidad local	Las dependencias federales ambientales en Jalisco están realizando un plan de trabajo para focalizar recursos en la cuenca, que ha sido elegida como una de las 6-7 intervenciones prioritarias en Jalisco, según se nos ha hecho saber.
Público federal	Procuraduría Federal de Protección al Ambiente (PROFEPA)	Mejorar la inspección y vigilancia gestión ambiental. Apertura para convenios de coordinación y descentralización de facultades	Personal y otros recursos para mejorar su gestión y eficacia. Corresponsabilidad local	Las dependencias federales ambientales en Jalisco están realizando un plan de trabajo para focalizar recursos en la cuenca, que ha sido elegida como una de las 6-7 intervenciones prioritarias en Jalisco, según se nos ha hecho saber.
Público federal	Comisión Nacional Forestal (CONAFOR)	Programas, proyectos y actividades para mejorar la competitividad y sustentabilidad del sector	Organización productiva corresponsable y autoridades locales coordinadas	Invitado habitual de la mesa técnica de la Laguna.
Público federal	Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT)	Infraestructura y autorizaciones (destacadamente embarcaciones)	Organización productiva corresponsable y autoridades locales coordinadas	Regulador de las embarcaciones de la laguna
Público federal	Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA)	Investigación y tecnología aplicadas en materia de agua y sistemas acuáticos	Recursos para investigar y generar conocimiento	Aporta estudios y análisis sobre malezas acuáticas, especies invasoras. realizaron el Programa de Manejo Integral de Lirio en la Laguna de Zapotlán: control



Sector	Institución/Organización	Lo que ofrece	Lo que demanda	Anotaciones de interés
				biológico, extracción manual y control de aportes de nutrientes (PTARs) el cual se ejecutó desde 2018
Público federal	Instituto Nacional de Pesca y Acuacultura (INAPESCA)	Apoyo técnico y económico para el desarrollo de la pesca y la acuacultura	Organización productiva corresponsable y autoridades locales coordinadas	Supuestamente realizaría el Plan de Manejo Pesquero de la Laguna de Zapotlán (acta de la comisión de cuenca) sin embargo tras 3 años de retraso no se ha entregado de manera completa
Privado	Productores y empacadoras de aguacate	Implementar buenas prácticas ambientales y laborales, muchos ya las realizan por exigencias de certificación para exportación	Que se conozca cómo opera el sector y sus prácticas sin prejuicios. Que los costos del agua no resulten significativos en su cadena de insumos y valor. Formalización de huertas irregulares. Acceso a financiamiento y certificaciones por productores pequeños y medianos. Mayor presencia de autoridades que hagan valer la ley.	Productores asociados a APEAJAL fomentan la reforestación y buenas prácticas. Cuentan con un convenio con Rain Forest Alliance, y ya cuentan con 1000 hectáreas certificadas en ese esquema. También cuentan con un vivero forestal. Implementan proyecto de educación ambiental, pláticas de diversos temas en ferias agrícolas; y sobre bosques, plagas, polinizadores, manejo de cuencas, etc. Participan entre otros en la mesa técnica de la laguna y en el Comité para la preservación de polinizadores en Jalisco. Interesados en impulsar proyectos para incrementar la infiltración. La APEAJAL se ha mostrado interesada en intermediar para sistematizar información de la explotación y gestión del agua de sus asociados, elemento clave para conocer de manera real los sistemas de flujo de agua subterránea
Privado	Productores de <i>berries</i>	Implementar buenas prácticas, muchos ya las realizan por exigencias de certificación para exportación. Garantizar la inocuidad de sus productos. Prácticas ambientales adecuadas y laborales justas. Liderazgo y colaboración para el adecuado manejo	Que se conozca cómo opera el sector y sus prácticas sin prejuicios. Que los costos del agua no resulten significativos en su cadena de insumos y valor.	Invitado habitual de la mesa técnica de la Laguna.

Sector	Institución/Organización	Lo que ofrece	Lo que demanda	Anotaciones de interés
		de envases de agroquímicos		
Privado	Ganaderos	Adequado manejo de estiércoles y generación de compostas. Implementar buenas prácticas dentro de sus posibilidades. Interés en instalar biodigestores y paneles solares, rotación de cultivos, y lombricomposta.	Que los apoyos para el campo vuelvan a ser suficientes y adecuados. Que los costos del alimento para el ganado no aumente tanto ni tan rápido. Que se produzcan las pasturas en la región, pues con el aumento de la agricultura protegida se han reducido las pasturas en la cuenca y hay que importarlas de otras regiones. Que se facilite el acceso a apoyos por parte de productores pequeños, dado que algunos requerimientos para acceder están pensados en los grandes y se vuelven barreras. Recursos para hacer promoción y acompañamiento para quienes desean acceder a apoyos. Alternativas para manejo y aprovechamiento de las vísceras. Alternativas económicas para las mujeres,	
Privado	Sociedades cooperativas de pesca	Buenas prácticas y uso de artes de pesca legales, así como respetar los volúmenes de aprovechamiento y tamaños del pescado. Disposición para dialogar y lograr acuerdos que mejoren las condiciones de la laguna. Vigilar y reportar lo que sucede en la laguna. Facilitar pescado para análisis de inocuidad y otros.	Que no se descarguen a la laguna aguas sin tratar. Que el uso de agroquímicos no perjudique a la laguna y la pesca. Que se continúe con la remoción de malezas acuáticas, incluso que les capaciten para operar la maquinaria, lo cual se ha negado. Que se controle la siembra clandestina de lobinas para pesca deportiva ya que depredan a los peces más pequeños que ellos pescan. Que no se permita el uso de lanchas de motor. Que no se desazolve la laguna porque afectaría la pesca. Que se pare la deforestación para que no llegue tanto sedimento a la laguna. Que se controlen los residuos que llegan a la laguna, especialmente los plásticos.	Los pescadores no reportan evento alguno que haya acabado súbitamente con la pesca. Si saben de las escorrentías de agroquímicos al inicio de la temporada de lluvias, lo cual incluso se aprecia en las características del agua. Sin embargo tienen temor de que ocurra lo mismo que en algunas presas por la contaminación, como los casos de Cajititlán o Valencia.
Social	Asociación de remo y canotaje		Infraestructura y servicios adecuados para su práctica. Reducción y control de malezas acuáticas. Actividades deportivas sanas que acerquen a su vez a la población al disfrute de los servicios ecosistémicos del humedal.	
Privado	Sector del tule y artesanías derivadas de la laguna	Buenas prácticas. Disposición para dialogar	Mayor promoción de actividades turísticas y	



Sector	Institución/Organización	Lo que ofrece	Lo que demanda	Anotaciones de interés
			artesanales. Alargar temporadas de visitación.	
Académico	Universidad de Guadalajara, Centro Universitario del Sur	Investigación y educación en aspectos de interés para la sustentabilidad de la laguna y la cuenca	Recursos y convenios para investigar, generar y divulgar conocimiento sobre la laguna y la cuenca	Integra la mesa técnica de la laguna y preside la comisión de cuenca. Es una institución sumamente activa y que incide en la toma de decisiones por la calidad académica y moral de sus directivos e investigadores involucrados en la laguna y la cuenca. Alberga el repositorio de información digital, con toda la información técnica relacionada con la laguna. Ostenta la presidencia de la Comisión de Cuenca.
Privado	Agricultores de riego (destacadamente agave, alfalfa y pastos)	Buenas prácticas de manejo de suelos y agua	Agua suficiente y de calidad, subsidiada	
Privado	Agricultores de temporal (destacadamente maíz en grano y forrajero en verde)	Buenas prácticas de manejo de suelos y agua	Un régimen de precipitaciones predecible y suficiente	
Privado	Apicultores	Buenas prácticas. Disposición para dialogar y acordar agenda con otros sectores	Uso de químicos que no dañen la salud de las abejas	
Académico	Instituto Tecnológico de Ciudad Guzmán	Investigación y educación en aspectos de interés para la sustentabilidad de la laguna y la cuenca	Recursos y convenios para investigar, generar y divulgar conocimiento sobre la laguna y la cuenca	Integra la mesa técnica de la laguna
Académico	Centro de Bachillerato Tecnológico Agropecuario CBTA 293	Investigación y educación en aspectos de interés para la sustentabilidad de la laguna y la cuenca	Recursos y convenios para investigar, generar y divulgar conocimiento sobre la laguna y la cuenca	
Privado	Sector maderero	Buenas prácticas. Disposición para dialogar y acordar agenda con otros sectores	Control de deforestación. Buenas prácticas de manejo. Fortalecimiento productivo.	
Privado	Sector inmobiliario	Buenas prácticas. Disposición para dialogar y acordar agenda con otros sectores	Instrumentos actualizados y congruentes de planeación territorial	

Fuente: Elaboración propia

La vulnerabilidad del municipio se considera en la percepción de la población contenida en el Plan de Acción Climática Municipal (PACMUN), por los eventos hidrometeorológicos de sequías, lluvias torrenciales, heladas y granizadas que afectan a la producción agrícola, daños a la infraestructura urbana y vial, así como a las vías y medios de comunicación de Zapotlán El Grande (PACMUN Zapotlán, 2015). Por su parte el Municipio de Gómez Farías reconoce que el cambio climático es un tema que genera importantes efectos ambientales, económicos, sociales, sanitarios y hasta políticos, por lo que el PACMUN representa una respuesta a su interés por

contribuir a disminuir estos efectos y lograr el bienestar de su población; asimismo los principales eventos hidrometeorológicos que se perciben por la población y determinados en el Atlas de Riesgo Estatal para Gómez Farías son las lluvias torrenciales, granizadas y sequías, con impactos que afectan al sector productivo, la infraestructura y comunicaciones, posicionándolo en un espectro de riesgo medio bajo (PACMUN Gómez Farías, 2015). No se identifica que San Gabriel cuente con PACMUN, por lo tanto no se incorpora lo correspondiente.

Del análisis de afectaciones sectoriales más significativas por los impactos del cambio climático en Zapotlán y Gómez Farías los respectivos PACMUN identificaron lo siguiente:

Tabla 27. Afectaciones sectoriales más significativas por los impactos del cambio climático

Municipio	Sectores impactados por olas de calor	Sectores impactados por daños a infraestructura vial	Sectores impactados por inundaciones	Sectores impactados por disminución de flujo de agua en pozos
Zapotlán	Urbano, turismo, agrícola, pecuario y forestal (industrial)	urbano, turismo, agrícola y pecuario y forestal (industrial)	Urbano, turismo y agrícola	Agrícola, pecuario y urbano
Gómez Farías	Industrial (cantera), agrícola, pesca y urbano.	Industrial (cantera), agrícola, pecuario y urbano.		

Fuente: Elaboración propia con base en PACMUN Zapotlán, 2015 y PACMUN Gómez Farías, 2015.

Un asunto conflictivo adicional digno de mencionar es el ámbito de gestión de los residuos, pues imprime una huella humana en los ecosistemas de la cuenca de diversos modos. Es importante dimensionar la generación y manejo de residuos de todo tipo en la cuenca: peligrosos, de manejo especial y sólidos urbanos. Destacan los peligrosos provenientes de operación de maquinaria rural y otros generados en la agroindustria y servicios, así como de manejo especial significativos para la cuenca y los sectores productivos, por ejemplo agroplásticos, envases de agroquímicos, o escombros y materiales pétreos.

Por lo que respecta a prevención y gestión integral de residuos sólidos generados en el Municipio de Zapotlán el Grande, de acuerdo con las mediciones efectuadas por la concesionaria del servicio, se genera un total de 150 toneladas diarias de residuos sólidos, las cuales con las medidas de separación se estima que reduzcan un 30% el volumen confinado (Gobierno de Zapotlán, 2020). Esto fue corroborado en campo, y los operadores del sitio indicaron que se reciben 140 toneladas diarias los martes y viernes, y unas 180 toneladas los domingos y lunes. El municipio de Zapotlán cuenta con un sitio de disposición final clasificado como Vertedero tipo A, de 5 Has, de propiedad municipal, y todo el predio tiene unas 8 hectáreas. La profundidad del entierro en el relleno es de unos 70 - 75 metros.

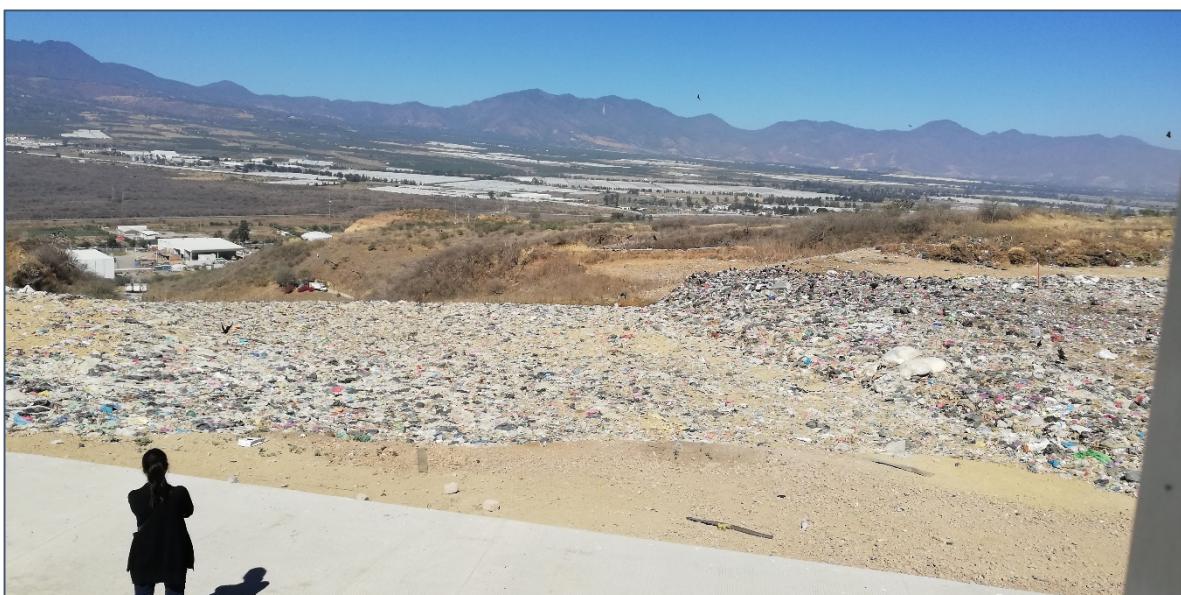
Su capacidad es para 1 millón de toneladas, que ha sido utilizado durante 25 años, restándole un promedio de vida útil de 3 años mismo que carece de un programa de manejo integral de residuos sólidos. El sitio se encuentra ubicado en una parte alta, en la ladera de la cordillera que delimita el lado oriental de la cabecera municipal de Zapotlán. Aunque la ubicación es hacia el sur de la ciudad, por el rumbo del Cerro de la Virgen de Guadalupe en la carretera hacia Zapotlán, antes de llegar al poblado de Huescalapa. De hecho, el sitio se ubica en los límites municipales de Zapotlán El Grande y Zapotlán. La concesión la tiene la empresa SEOS, cuyo lema es "Going for Recycling", por 25 años y empezó en 2017. El sitio tuvo una sanción de PROEPA en 2017 y tiene

que entregar informes mensuales de operación a la SEMADET. La cobertura es parcial, quizá el 25% del terreno utilizado para rellenar, además de que no se aprecia un programa de cobertura semanal. La generación de lixiviados es importante y su control no cumple con estándares de buenas prácticas de acopio y tratamiento.

Por la topografía del terreno y el tipo de material se presume que hay una filtración importante de lixiviados hacia el subsuelo. En conclusión, es un sitio que no cumple con los criterios de un Relleno Sanitario, ni cumple cabalmente con la Norma 083 que regula los sitios de disposición final.

Recién instalaron una banda de separación que tiene unos 15 metros de largo, con un tejaban y que puede acomodar unas seis estaciones individuales de separación de materiales donde trabajaría 15 personas. La banda se ubica en una estructura de metal alta, con un tejaban para cubrir el sol. Tiene un punto de recepción con un pequeño foso para recibir materiales y tubos de drenajes que descargan hacia el vertedero.

Fotografía 13 Vista general del vertedero de Zapotlán El Grande (en operación)



Fuente: Acervo fotográfico propio, visita marzo 2021.

El Municipio de Gómez Farías cuenta con un tiradero a cielo abierto a cargo del Ayuntamiento que atiende los residuos de la cabecera municipal (a unos 4 km de la misma) donde aproximadamente se depositaban 6.32 toneladas por día (PACMUN Gómez Farías, 2015). Actualmente se generan unas 14 toneladas de RSU en la cabecera municipal que son recolectadas por el camión de aseo público, más unas 7 toneladas no recolectadas, de las delegaciones y rancherías. El sitio de unas 2.5 hectáreas está ubicado a unos 3 kilómetros (en línea recta) del vaso de la laguna de Zapotlán, y fue un antiguo banco de materiales de tepetate y jal. El predio mide 197 x 130 metros, unas 2.5 hectáreas. Tiene unos 18 metros de profundidad el relleno de residuos. Está delimitado por campos de siembra y ganado, así como por un paredón de unos 8-10 metros de alto en su lado norte.

Sin duda el lugar está dentro de la cuenca de la laguna de Zapotlán, pero queda por determinar si las filtraciones de lixiviados pueden tener un impacto en la calidad del agua de la cuenca. Dado que los lixiviados no afloran, está pendiente revisar si existen mantos freáticos cercanos o arroyos de temporal que podrían recibir las filtraciones y escurrimientos de lixiviados.

Según el encargado, el sitio quizá comenzó operaciones hacia 1995, y para el 2000 el sitio ya estaba operando como tiradero municipal. Se reciben los RSU del municipio de Gómez Farías y de empresas (invernaderos principalmente). Aumentó el volumen de los residuos depositados con la llegada de los invernaderos. No salen o no afloran lixiviados en el sitio, posiblemente debido a poca humedad y a la filtración directa al subsuelo.

Cabe destacar que el sitio se quemó seis veces durante un periodo de tres años (2010-2013). El sitio se ubica a mayor altura del vaso de la laguna, apenas en una loma no muy grande, por la dirección de las escorrentías, se podría considerar que los lixiviados que se producen en el sitio si pueden estar afectando la calidad del agua de la cuenca de la Laguna de Zapotlán.

Fotografía 14 Vista general del vertedero de Gómez Farías (en proceso de cierre y abandono)



Fuente: Acervo fotográfico propio, visita marzo 2021.

Las condiciones en las que se encuentra el tiradero son precarias, sin cumplir los requisitos que se le requieren. Actualmente se encuentra iniciando el proceso institucional de cierre y abandono del sitio, llevado a cabo por el SIMAR Lagunas en coordinación con el municipio, por lo que en el mediano plazo los residuos sólidos que ahí se disponen serán transportados al relleno sanitario intermunicipal en la delegación de Tepec, del municipio de Amacueca.

Las emisiones de CO₂eq representó 94,375 Ton lo que significa el 3.66% de sus emisiones.

La contribución de este sector al inventario de Gases de Efecto Invernadero (GEI) municipal es de 94,375.038 Ton de CO₂eq, que representa el 4% del total. A continuación, se presenta las emisiones de esta categoría por tipo de gas (Tabla 3). (PACMUN Zapotlán, 2015). En el municipio de Gómez Farías la contribución de este sector al inventario GEI municipal es de 5,383.454 Ton

de CO_{2eq}, que representa el 7% del total. A continuación, se presenta las emisiones de esta categoría por tipo de gas.

Tabla 28. Emisiones por tipo de gas para el sector Desechos.

Subcategoría	Zapotlán			Gómez Farías			%	
	Emisión de GEI (Ton)		Ton de CO _{2eq}	%	Emisión de GEI (Ton)			
	CH ₄	N ₂ O	CH ₄		N ₂ O	CH ₄		
Residuos Sólidos Urbanos	3,841.2	n/a	80,664.4	85	165.36	n/a	3,472.654	
Aguas Residuales Municipales	528.4	n/a	11,096.5	12	73.64	n/a	1,546.478	
Excretas Humanas	n/a	8.4	2,614.1	3	n/a	1.17	364.321	
Totales	4369.6	8.4	94,375.0	100	239.00	1.17	5,383.454	

Fuente: PACMUN Zapotlán, 2015 y PACMUN Gómez Farías, 2015

Otro asunto significativo en relación con los residuos en la cuenca, y particularmente en la ribera de la laguna es el de los tiraderos clandestinos de Residuos de Construcción y Demolición (RCD). Destaca un predio ubicado en el margen de la Laguna de Zapotlán donde se deposita de forma clandestina tres tipos de residuos: Residuos de Construcción y Demolición (principalmente); Residuos de Manejo Especial de la industria de agricultura protegida (invernaderos); ciertos tipos de Residuos de Manejo Especial (llantas, residuos de aparatos electrónicos, filtros de aceite y aire de camiones pesados); así como Residuos Sólidos Urbanos (basura).

Fotografía 15 Escombrera ilegal de grandes dimensiones que gana terreno a la laguna



Fuente: Acervo fotográfico propio, visita marzo 2021.

Se trata de un predio grande, quizá de un par de hectáreas, pero que en un espacio de un polígono irregular que sigue el contorno del margen de la laguna, con una dimensión de una hectárea aproximadamente, ha recibido la descarga de al menos 400 cargas de camiones de volteo de diferentes capacidades que van de los 4 a los 8 metros cúbicos. Incluso cargas más pequeñas que probablemente se traen en camionetas pickup o de redillas. La gravedad está en que la disposición de residuos de manejo especial se realiza en el vaso de la Laguna de Zapotlán y quizá es un burdo intento por acrecentar terrenos/predios/solares que invaden literalmente el

cauce de la laguna y afectan de manera muy importante el ecosistema lacustre. Tales actividades deberían controlarse de manera estricta y pararse a la brevedad.

Los RCD depositados irregularmente y sin ningún control representan un grave riesgo ambiental, por el tipo de residuos que puede incluir algunos materiales que se clasifican como residuos peligrosos. Los RCD pueden contener metales pesados como plomo y otros, residuos de lámparas fluorescentes con mercurio, residuos de aparatos eléctricos y electrónicos que también tienen óxido de plomo y otros componentes que degradan el ambiente. Sin embargo la muestra de agua tomada al pie de dicha escombrera no arrojó parámetros preocupantes.

La escombrera ha sido denunciada por el gobierno municipal en varias ocasiones y se tienen juicios pendientes, sin embargo por el momento siguen recibiendo residuos y no se han dictado sanciones al respecto.

Es un caso flagrante de cómo a pesar de que el cuerpo de agua es de jurisdicción federal, las autoridades de este nivel no atienden las denuncias, por lo cual la administración municipal debiera poder asumir mayor control y vigilancia efectiva de la laguna, a través de convenios para actuar con la ley en la mano.

3.3. Árbol de Problemas según área de enfoque: La laguna de Zapotlán presenta problemas de contaminación que afectan la salud humana, la biodiversidad y los servicios ecosistémicos.

La laguna de Zapotlán del Estado de Jalisco presenta problemas de contaminación que afectan la salud humana, la biodiversidad y los servicios ecosistémicos.

Efectos primordiales:

Incremento de la morbilidad y de vectores	Pérdida de biodiversidad	Degradación de los servicios ecosistémicos que sostienen el bienestar de la población
---	--------------------------	---

3.3.1. Causas estructurales y sus respectivas causas subyacentes:

1. La sustitución de agua limpia por agua contaminada que proviene de la actividad agrícola, pecuaria y de usos urbanos principalmente, que ha sido extraída de las fuentes subterráneas y que anteriormente, aportaban agua a la laguna, generando conos de depresión y abatimiento por la exportación de agua virtual
 - 1.1 Aumenta la demanda de agua subterránea para uso público urbano y agroindustrial principalmente por la transferencia de concesiones de extracción supeditadas más a intereses económicos que al interés público.

- 1.2. Existen subsidios perversos a la extracción indiscriminada de agua subterránea (el agua subterránea es prácticamente gratis y la empresa estatal subsidia la energía eléctrica para estos usos)
- 1.3. La regulación de perforistas y la transparencia de la información generada de las empresas del sector es limitada, sin adecuada normatividad y supervisión técnicas
- 2. La existencia de sitios ilegales de recepción de escombros, de residuos sólidos urbanos y residuos de manejo especial sobre el humedal:**
 - 2.1. Las autoridades federales ambientales no supervisan ni sancionan la operación de sitios clandestinos que afectan el humedal.
 - 2.2. Práctica creciente de aprovechar privadamente las fallas en los mecanismos de regulación.
 - 2.3. Sistemas municipales inadecuados de gestión de residuos,
- 3. Actividad agropecuaria con uso de agroquímicos en las cercanías del humedal donde el agua subterránea es poco profunda y los arrastres son importantes en temporada de lluvias:**
 - 3.1. Práctica histórica de producir pastizales en las orillas de los humedales con uso de agroquímicos de bajo costo, para aumentar la producción de alimentos para ganado
 - 3.2. La tendencia histórica a aprovechar la riqueza orgánica de suelos formados en el humedal de la laguna de Zapotlán con fines pecuarios.
 - 3.3. Ignorancia de la capacidad de cambio aceptable en el servicio ecosistémico de regulación de la calidad del agua de los humedales
- 4. La existencia de descargas de contaminantes urbanos directamente al cuerpo de agua a través de canales rectificados, por parte de los municipios:**
 - 4.1. Política de manejo del agua pluvial basada en la ampliación de una red de canales rectificados que desembocan en la laguna.
 - 4.2. La rectificación de cauces y canalización del agua pluvial aumenta la velocidad, caudal y capacidad de transporte de sedimentos y químicos de riesgo.
 - 4.3. Los altos costos de inversión y operación de los sistemas de saneamiento que existen para el tratamiento del agua no están reflejados en los sistemas de tarificación.
- 5. Zonas habitacionales en las cercanías del humedal que carecen de sistema de recolección sanitario y utilizan fosas sépticas, combinado con problemas de hermeticidad de la red sanitaria en los centros urbanos.**
 - 5.1. Percepción política sobre las redes sanitarias con pocos incentivos para su gestión, aunado a la infraestructura obsoleta con materiales inadecuados en zona sísmica y con asentamientos diferenciales por sobre explotación.
 - 5.2. El sistema de gestión del agua no permite considerar el agua residual tratada como un activo.
 - 5.3. El rezago histórico de vivienda que es aprovechado por grupos políticos, promoviendo la construcción de vivienda a partir de invasiones de suelo.
- 6. Instancias responsables de la operación del agua, con capacidades institucionales limitadas para el saneamiento, el reuso del agua, la economía circular y el uso de**

químicos adecuados en su operación; incapaz de supervisar las descargas y con un diseño de operación orientado al ejercicio del gasto por el gasto mismo, sin posibilidades de alcanzar resultados a la altura de la realidad.

- 6.1. Los organismos (o áreas responsables de la gestión hidrosanitaria) son vistos como un botín político o como "cajas chicas" de grupos de poder.
 - 6.2. Estado limitado, con insuficientes capacidades para hacer frente a la problemática desde sus facultades (reguladora, legislativa, ejecutora y educativa-comunicacional), con inadecuada coordinación inter institucional.
 - 6.3. Recursos económicos limitados, vinculados directamente a la debilidad técnico - institucional de parte de los órganos responsables de la gestión hidrosanitaria.
- 7. Existe el riesgo de cambios hidroquímicos y volumétricos en el humedal por las modificaciones antrópicas en los flujos subterráneos y regionales de mayor temperatura y contenido de iones:**
- 7.1. La laguna se formó en la parte más baja de una depresión tectónica con influencia volcánica (hidrotermal) y alta pendiente donde desembocan picos de caudales de una cuenca endorreica (cerrada) y pequeña, muy dependiente de las precipitaciones locales
 - 7.2. El desconocimiento de la dinámica hídrica de la laguna en relación con los sistemas de flujos subterráneos y, por ende, con los efectos acumulativos indirectos que tendrá a futuro el régimen vigente de sobre explotación y sobre extracción de agua.
 - 7.3. La transferencia de concesiones de agua está supeditada más a intereses económicos de un mercado negro, que a los impactos de los procesos de gestión.
- 8. La mayoría de la población mantiene una relación pasiva con el activo ambiental y con los servicios ecosistémicos culturales de la laguna como bien público:**
- 8.1. Las formas de acceso al bien público se restringen esporádicamente a la actividad contemplativa con alguna alternativa de disfrute de corto plazo (horas), segmentada y limitada por la capacidad económica de los visitantes y sus medios para el aprovechamiento recreativo y deportivo.
 - 8.2. Las formas de identificación de la población con el activo público está valorada, ya sea por criterios de beneficio porque recibe algo de ella, o de forma discursiva o de reseña histórica, cuando no es el caso; los procesos educativos tienden a la descripción, más que a una posibilidad vivencial.
 - 8.3. El modelo educativo y la educación no formal relacionan la importancia de la naturaleza y los servicios ecosistémicos de forma tangencial, con poca profundidad y sin posibilidades de motivar el involucramiento de los estudiantes en el disfrute equitativo de los beneficios del humedal.
- 9. El crecimiento urbano - económico acelerado, desordenado y expansivo, escasamente planificado, que ignora las asimetrías territoriales y sus factores causales:**
- 9.1. Proliferación de unidades de negocio de alto valor en rentabilidad, principalmente vinculadas a la producción agrícola intensiva y de exportación, que no consideran los valores reales de sus insumos y los efectos acumulativos en el medio ambiente del que se sirven en su entorno.

- 9.2. Limitada regulación del territorio que permita contener la inercia e imperio del poder económico por encima del interés público.
- 9.3. El precio del suelo está solamente determinado por variables visibles que son dependientes de su valor comercial o especulativo, ignorando el valor social de los activos ambientales.

10. Los instrumentos de planificación y sus programas relativos a la laguna, así como los trabajos de especialistas y sus análisis, solo consideran el activo ambiental como un receptor y un referente a nivel de discurso, o de naturaleza académica con fines de investigación:

- 10.1. Desconexión generalizada entre los instrumentos de planificación y su trascendencia en la vida pública.
- 10.2. Énfasis histórico desde la academia más por publicar y escalar en la meritocracia, que por incidir en los procesos de transformación del territorio.
- 10.3. La adopción de técnicas de planeación basadas en determinismos o buenos deseos, limitadas en precisión de datos y estructura lógica, alejadas de la interpretación territorial de la problemática e incapaces para instrumentar acciones desde una perspectiva interactuante para alcanzar resultados medibles.

3.3.2. Árboles de Objetivos y medios.

Objetivo principal o central

La Laguna de Zapotlán experimenta una reducción de contaminantes que afectan la salud humana, la biodiversidad y los servicios ecosistémicos.

Fines:

Reducir la morbilidad y los vectores

Reducir la pérdida de biodiversidad

Disminuir la tasa de degradación de los servicios ecosistémicos que sostienen el bienestar de la población

Objetivos y medios:

1. **Se reduce la sustitución de agua limpia por agua contaminada que proviene de la actividad agrícola, pecuaria y de usos urbanos principalmente, que ha sido extraída de las fuentes subterráneas y que anteriormente, aportaban agua a la laguna:**
 - 1.1. Se reduce la tasa de aumento reciente de la demanda de agua subterránea para uso público urbano y agroindustrial.
 - 1.2. Los problemas detrás de la extracción indiscriminada se vuelven evidentes que motivan cambios en la política pública nacional.
 - 1.3. La presión ciudadana y el acompañamiento de entes técnicos de la academia, motivan que el agua subterránea sea considerada un componente valioso del ecosistema en evaluaciones de efectos acumulativos, logrando integrar a los pozos como generadores de impactos ambientales significativos.

2. **Se reduce la disposición ilegal de residuos en el humedal:**
 - 2.1. Se hacen visibles y se denuncian los efectos ambientales de los sitios clandestinos que afectan el humedal con autoridades federales y medios.
 - 2.2. Se visibilizan las fallas regulatorias y se promueven normativas para proteger el humedal de sitios clandestinos.
 - 2.3. Mejora de los sistemas municipales de gestión de residuos
3. **Se promueve el pilotaje de proyectos interdisciplinarios de uso de suelo con menor requerimiento de riego, que aprovechan suelos y nutrientes disueltos en el agua:**
 - 3.1. Se promueven proyectos de control de escorrentía, agroecología y reutilización de residuos agrobiológicos y del agua subterránea.
 - 3.2. Se aprovecha la calidad de suelos en otros procesos agroecológicos o recreativos que no generan contaminación microbiológica o por nutrientes.
 - 3.3. Se identifican y priorizan trabajos de investigación interdisciplinaria para conocer la capacidad del cambio aceptable y las prioridades de restauración de los servicios ecosistémicos de soporte y regulación del humedal.
4. **Se reduce la capacidad de transporte de agua contaminada, sedimentos y material biológico en los canales de conducción de agua pluvial hasta la laguna:**
 - 4.1. Se modifica la política de manejo del agua pluvial como eje fundamental de las responsabilidades de las instituciones responsables de los servicios de agua.
 - 4.2. Se promueven intervenciones para evitar conducir el agua pluvial a otros puntos aprovechables.
 - 4.3. Se hace visible la problemática en torno a los altos costos de tratamiento de agua y se identifican las oportunidades para la venta de agua tratada.
5. **Se mejoran la conducción, tratamiento y reuso de las aguas residuales, recuperando sus nutrientes con fines de aprovechamiento:**
 - 5.1. Se modifica la percepción política sobre las redes sanitarias y sus incentivos.
 - 5.2. Se construye una estrategia que identifica y valora el agua residual tratada como un activo para los responsables del manejo del recurso y otros sectores.
 - 5.3. La sociedad mejora su conocimiento en torno al agua y su interrelación en el diseño urbano, la vivienda y el derecho a la ciudad.
6. **Se desarrollan y fortalecen las capacidades institucionales de los organismos responsables de la operación del agua, de la mano de la vigilancia, monitoreo y evaluación de instancias externas:**
 - 6.1. Los organismos responsables de la gestión hidrosanitaria y pluvial son vistos como agentes fundamentales para la conservación de la laguna y son vigilados por la sociedad.
 - 6.2. Se promueven iniciativas ciudadanas con participación activa de la academia y los sectores productivos, involucrándose en la gestión hidrosanitaria y pluvial para el cuidado de la laguna.
 - 6.3. Existen alternativas para la gestión de recursos a favor de la mejora y cuidado de la laguna y resiliencia climática, a las que los órganos responsables de la gestión hidrosanitaria y pluvial pueden tener acceso.

7. El escenario futuro es considerado por los tomadores de decisión de la laguna en los procesos de planificación y evaluación de impacto de las intervenciones propuestas:

- 7.1. Los pobladores de la cuenca conocen la situación geológica, paisajística y su relación con el agua, los riesgos y las oportunidades de cuidado y aprovechamiento sostenible.
- 7.2. La sociedad conoce los riesgos e implicaciones a nivel personal y colectivo del régimen vigente de sobre explotación y sobre extracción de agua.
- 7.3. Existen controles y vigilancia ciudadana que limitan y mejoran la regulación de las concesiones de agua anteponiendo el interés público por encima del interés privado.

8. La mayor parte de la población mantiene una relación activa con el activo ambiental y con los servicios ecosistémicos culturales de la laguna como bien público:

- 8.1. La población de cualquier estrato reclama diversas formas de acceso y disfrute del activo ambiental y sus servicios ecosistémicos, en un marco de bien común y sostenibilidad.
- 8.2. Se consolidan formas de valoración y procesos educativos que enfocan y enriquecen la restitución del tejido social a través del disfrute comunitario del ecosistema hídrico compartido.
- 8.3. Existen espacios educativos no formales que relacionan la importancia de la naturaleza y los servicios ecosistémicos, con la salud, el bienestar, la integración comunitaria y el buen vivir que refuerzan el involucramiento de los estudiantes en el disfrute equitativo, activo y vivencial de los beneficios del humedal bien conservado.

9. Se construye una estrategia para determinar límites al crecimiento urbano expansivo y agroindustrial a partir de las capacidades del territorio:

- 9.1. Se construyen iniciativas para regular la proliferación de empresas de consumo intensivo de agua, considerando y recuperando el valor real del recurso y los efectos acumulativos en el medio ambiente.
- 9.2. Mejora la participación y coordinación de actores que promueven la adecuada regulación del territorio y del agua, en la búsqueda del imperio de lo público sobre el interés privado.
- 9.3. Se construyen mecanismos de información y medición que hacen evidente las variables ambientales y sociales involucradas en el territorio, contrastando y haciendo incidencia pública en los procesos de gestión, uso y valoración del suelo.

10. Se reenfoca el trabajo académico y la gestión de instrumentos de planificación en torno a la protección y restauración de los servicios ecosistémicos de la laguna y de su cuenca, con posibilidades de reducir las asimetrías territoriales:

- 10.1. La sociedad conoce la interrelación entre los instrumentos de planificación y su trascendencia en la vida pública y promueve su utilización.
- 10.2. Se promueve la investigación aplicada e incidencia en los procesos de conservación y restauración del territorio, el desarrollo comunitario, ecosistemas y sus servicios.
- 10.3. Se generan y ponen en marcha instrumentos sólidos de planificación basada en evidencia (datos), capaces de realizar monitoreo y evaluación de los resultados del accionar público y la intervención de actores e intereses, como base para la toma de decisiones.

3.3.3. Estructura analítica y propuestas de alternativas

En cuanto a la estructura analítica se han generado construido para esta problemática un total de 98 alternativas de diversa índole. No obstante el abultado número de ellas, hay algunas que son recurrentes pues inciden en diversas tipologías.

Con la intención de clasificar, sistematizar y priorizar, se han establecido las siguientes 6 tipologías para abordar los objetivos y medios respectivos:

- Cultura, formación, educación y fortalecimiento de capacidades cognitivas o personales (CFED)
- Fortalecimiento institucional regulatorio y coordinación (FREG)
- Económicas (ECON)
- Planificación, monitoreo, evaluación, contraloría social y rendición de cuentas (PM&E)
- Formación de conocimiento e investigación aplicada para la búsqueda de soluciones (INVA)
- Participación y deliberación pública (PART)

Y del mismo modo, de acuerdo con el nivel de intervención, se ha generado la siguiente categorización:

- Proyecto / Programa (PRY/PRG)
- Capacitación / Comunicación (CAP)
- Estudios y análisis (EST)
- Gestión institucional (INS)

Se trata de unos listados extensos que identifican para cada una qué problema resuelve, su enunciación, así como su tipología y nivel de intervención, por ello se encuentran en anexo electrónico.

No obstante, para efectos ilustrativos, se incorporan aquí agrupados en razón de su tipología, y se presentan alfabéticamente.

Alternativas en la tipología CFED

1. Campaña de comunicación sobre agua urbana, vivienda y salud
2. Campaña en medios electrónicos para identificar los sitios clandestinos de disposición de residuos en la cuenca
3. Capacitación de alto nivel en agua subterránea de la región cuenca de Zapotlán (orientado a técnicos públicos, privados e investigadores de la región)
4. Concursos de expresión artística en escuelas de educación básica y media básica, relativos a la problemática de sobre explotación del agua
5. Creación del centro de interpretación de la laguna
6. Desarrollo de materiales educativos que traten las causas y consecuencias de la sobre explotación de las aguas subterráneas, para distribución en escuelas de educación básica ubicadas en la cuenca
7. Desarrollo e instalación de señalización informativa del humedal
8. Diseño e implementación de campaña de comunicación sobre riesgos e implicaciones del modelo actual de gestión del agua
9. Diseño e implementación de programa formativo en residuos y agua para actividades económicas prioritarias
10. Estrategia de comunicación para difundir la relación entre sistemas sanitarios y los riesgos en la salud de la población
11. Estrategia de comunicación para mostrar la importancia de la planificación y la calidad de vida de las personas
12. Estrategia de mercadotecnia social para el cuidado y disfrute de la laguna

13. Estrategia de posicionamiento de la laguna de Zapotlán como sede de eventos en el contexto de humedales periurbanos en cuencas cerradas en zonas de fallas
14. Programa de educación no formal y formación de capacidades (diplomado) en sistemas de flujo, nuevos paradigmas de gestión del agua subterránea, servicios del ecosistema, fuente clave de agua para el DH y amortiguador en la adaptación al cambio climático
15. Programa de fortalecimiento de capacidades en evaluación de impacto 2.0, EGEA, EML y en la gestión de sistemas de EA
16. Programa de fortalecimiento de capacidades sociales para la valorización del agua residual tratada
17. Promoción y financiamiento de espacios educativos formales y no formales que relacionan la importancia de la naturaleza y los servicios ecosistémicos, con la salud, el bienestar, la integración comunitaria y el buen vivir; con trabajos en campo que refuerzen el involucramiento de los estudiantes en el disfrute equitativo, activo y vivencial de los beneficios del humedal bien conservado
18. Sistematización y divulgación de metodologías, casos y prácticas exitosas y fracasos en el manejo de humedales periurbanos y su conservación
19. Taller de agroecología e hidroecología de aguas poco profundas en la comunidad
20. Taller sobre la importancia de la planificación y su trascendencia en la vida pública
21. Taller sobre la situación geológica, paisajística y su relación con el agua, los riesgos y las oportunidades de cuidado y aprovechamiento sostenible
22. Taller sobre los riesgos a la salud de la inadecuada gestión de redes sanitarias
23. Taller sobre regulación de concesiones para ciudadanos
24. Talleres y programas de formación de capacidades en GME, en especial residuos de construcción, desechos de jardinería y residuos de la producción agrícola para la exportación.

Alternativas en la tipología FREG

25. Adopción de presupuestos participativos para programas y proyectos
26. Construcción de alternativas estructurales de control del acceso de camiones con residuos a tiraderos clandestinos
27. Creación de un ente regulador para la cuenca de la laguna de Zapotlán
28. Cronograma de trabajo y acciones de autoridades municipales y estatales para disminuir, parar y controlar la disposición ilegal de RSU y RME en la cuenca, en particular en el vaso de la laguna y cauces de agua.
29. Diseño de proyectos piloto para el aprovechamiento de la calidad de suelos en otros procesos agroecológicos o recreativos
30. Diseño de proyectos y financiamiento para implementar monitoreo ciudadano con sensores remotos, y el uso de teléfonos celulares para registros fotográficos y ubicación de sitios (GPS).
31. Diseño e implementación de campaña de comunicación del efecto en el activo ambiental del aprovechamiento privado
32. Diseño e implementación de un sistema efectivo de evaluación de impactos intermunicipal, articulado por el estado; que incorpore evaluación y gestión de efectos acumulativos (EGEA) en el agua y la evaluación de impactos socioambientales de programas y planes propuestos para la cuenca (EAE)
33. Diseño institucional y reglamentación interna de las mesas técnica y social de la laguna

34. Diseño y promoción de instrumentos normativos que imposibiliten el uso privado de zonas rellenas
35. Diseño y propuesta de adecuación reglamentaria para fortalecer la planificación, incorporando los criterios de Gestión para Resultados y Banco Integrado de Proyectos
36. Elaboración de convenios de coordinación y concertación para la gestión integral de residuos prioritarios para la laguna
37. Elaboración y promoción de una Ley Estatal de Agua Subterránea y la regulación de agencias locales
38. Estudio con identificación de alternativas de mejora regulatoria para la protección de la laguna
39. Estudio con propuestas para reducir paulatinamente los subsidios a la electricidad utilizada para bombear el agua subterránea en zonas urbanas y periurbanas
40. Fortalecimiento de actividades de supervisión y control municipal y estatal sobre disposición ilegal de RSU y RME. Identificar actividades económicas (Construcción, otras), empresas y gremios que se relacionan con la disposición ilegal de residuos en el cuerpo de la laguna para desarrollar un programa permanente de educación ambiental, concientización y promover innovaciones para el manejo adecuado de sus residuos y minimizar la disposición ilegal.
41. Generación de acuerdos inter institucionales para el desarrollo de trabajos de investigación interdisciplinaria para el conocimiento de la capacidad de cambio y restauración de los servicios ecosistémicos
42. Iniciativa de reglamentación local en materia de agua residual
43. Iniciativa regulatoria para incorporar las necesidades hídricas regionales en procesos de autorización y licencias de actividades económicas con uso intensivo de agua en municipios principales de la cuenca
44. Priorización de fondos de investigación en universidades para realizar investigación aplicada
45. Programa de "vigilantes de la cuenca", para el M&E de extracción y operación de pozos
46. Programa de educación no formal y formación de capacidades (diplomado) en sistemas de flujo, nuevos paradigmas de gestión del agua subterránea, servicios del ecosistema, fuente clave de agua para el DH y amortiguador en la adaptación al cambio climático
47. Propuesta de adecuación jurídica para que las EGEAs incorporen como requisito estimar las externalidades incrementales del proyecto propuesto sobre los CVA, considerando los efectos de degradación acumulados sobre los servicios ecosistémicos hídricos
48. Propuesta de mejora regulatoria para limitar la instalación de nuevos pozos y la actividad de bombas sumergibles de extracción
49. Propuesta regulatoria para eliminar el subsidio a la electricidad del bombeo de agua subterránea de la agroindustria
50. Sistema de regulación con mejores prácticas las EGEA de propuestas de pozos u otras acciones con impacto en el agua (como CVA)

Alternativas en la tipología ECON

51. Ajuste al impuesto predial con base en el impacto al valor agregado del usufructo del suelo que al menos compense los efectos ambientales, sociales y económicos en el territorio
52. Análisis de mercados de residuos actuales y potenciales con incidencia en la cuenca

53. Análisis y propuesta de instrumentos económicos de política ambiental con carácter redistributivo y perspectiva de cuenca
54. Desarrollo de estrategia de valoración económica y social del agua residual tratada
55. Diseño de gravámenes en el predial, en el paisaje, en el agua, en la degradación del suelo
56. Diseño e implementación de alternativas de gestión integral de residuos en actividades económicas prioritarias
57. Diseño e implementación de presupuesto participativo en materia de agua
58. Estrategia para la reducción paulatina de los subsidios a la electricidad utilizada para bombeo del agua subterránea para riego de pasto, agroindustria y riego de pastura
59. Estudio de implicaciones económicas de diversos modelos de gestión del agua urbana, la vivienda y la salud
60. Estudio de tarificación de costo marginal social de largo plazo (CMgS-LoPo)
61. Estudio para generar la propuesta regulatoria para la clasificación a uso industrial, de la concesiones de uso de agua subterránea transferidas a empresas de la agroindustria exportadora
62. Estudios de valorización social y urbana de la conservación y rehabilitación de los procesos agrícolas no industriales (generadores de alimentos sanos de cercanías)
63. Estudios para el establecimiento del valor de los insumos y recursos involucrados con el agua con base en impactos/externalidades, sobre el recurso compartido y servicio ecosistémico
64. Identificación de alternativas para la gestión de recursos provenientes de "bonos de carbono"
65. Programa de identificación y multas de los responsables de descargas ilegales de RME. Sanción a dueños de los predios donde se realiza la actividad ilegal. Promover un Centro de Acopio y Economía Circular de RME.
66. Promoción, financiamiento y subsidio inicial del reemplazo de la extracción de agua subterránea por el uso de agua residual adecuadamente tratada, certificada y conducida en riego y usos industriales o urbanos
67. Propuesta de incentivos económicos para la construcción de sistemas individuales de recuperación de agua pluvial en viviendas
68. Propuesta regulatoria para quitar el subsidio a la electricidad del bombeo de agua subterránea de la agroindustria

Alternativas en la tipología PM&E

69. Actualización del SIG del SIAZ y de los datos del REPDA de CONAGUA
70. Adecuación de los instrumentos de planificación y evaluación en torno a la cuenca, con orientación a resultados
71. Censo de bombas y de los pozos de las plantas de la (agro)industria, las zonas de producción y riego de césped (urbano), pasturas, de aguacates y monitoreo o estimación de las tasas de extracción de agua subterránea.
72. Censo de pozos y estimación de caudal de extracción con drones e imágenes satelitales
73. Creación, capacitación y operación de comités de vigilancia social participativa
74. Desarrollo del sistema de información ambiental que permita priorizar y clasificar los proyectos y estudios relacionados con la conservación y recuperación de los servicios ecosistémicos de la laguna

75. Diseño de modelos de oferta, reutilización y aceptación en el riego agrícola, en el uso industrial y en lulos urbanos que no requieren la mejor calidad
76. Diseño de módulo de gestión de recursos para el Banco Integrado de Proyectos
77. Diseño de un ente regulador para la gestión hidrosanitaria de la cuenca y la protección de las fuentes, que incluye la regulación del diseño, instalación y operación de pozos de extracción
78. Diseño y operación de un Sistema de información ambiental de la cuenca de Zapotlán (SIAZ), incluyendo SIG, repositorio y base de datos dinámica (transparente y en tiempo real)
79. Diseño, implementación y evaluación de programa de testigos sociales del agua
80. Elaboración de planes de manejo de residuos de manejo especial prioritarios para la laguna
81. Evaluación externa de políticas municipales de prevención y gestión integral de residuos
82. Herramientas para la rendición de cuentas de la implementación de políticas de gestión del agua
83. Incorporación de criterios de evaluación de impactos acumulativos en los instrumentos de gestión y planeación urbana, específicamente en el dictamen de trazos, usos y destinos
84. Mapa interactivo donde se identifiquen los diversos tipos de sitios de disposición ilegal y definir precisamente los tipos de residuos que se depositan
85. Nuevos instrumentos de evaluación de impactos ambientales, ordenamiento y planificación del territorio se articulan con criterios de Evaluación de Efectos Acumulativos y ponen en valor las implicaciones del agotamiento, degradación y modificación de los sistemas de flujo subterráneo de mejor calidad, de los que depende el bienestar humano en la cuenca.
86. Sistema de información ambiental estratégico de los municipios de la cuenca

Alternativas en la tipología INVA

87. Análisis de la elasticidad de la demanda de agua de segundo uso, con tasa crecientes de cobro del agua subterránea actualmente utilizada con subsidios a la electricidad del bombeo
88. Documentación de evidencia cuantitativa de otros casos en el mundo de las consecuencias de largo plazo en ecosistemas que reciben servicios en paisaje urbano
89. Estudio de evaluación ambiental estratégica de los impactos ambientales acumulativos del conjunto de generadores de cambios intensivos en el agua (aguacate, berries y riego de pasto)
90. Estudio de la dinámica económica de los servicios ecosistémicos de la laguna y su redistribución en los involucrados de la cuenca
91. Estudio sobre la capacidad de cambio aceptable en el ecosistema de ladera forestal y el costo ambiental del cambio de uso de suelo
92. Estudio sobre las Implicaciones del uso intensivo del agua en la cuenca y su medio ambiente; la transferencia de los costos futuros del agua para la población urbana
93. Estudio sobre los efectos de gentrificación por la dinámica agroeconómica en la cuenca con el método de Evaluación Ambiental Estratégica identificando todos los efectos sociales
94. Investigación para el desarrollo de modelos conceptuales

95. Promoción y financiamiento de proyectos de investigación aplicada e incidencia, co-construidos con actores sociales para diseñar e implementar procesos de contraloría social, conservación y restauración de corredores biológicos; ecosistemas fluviales, humedales y sus servicios

Alternativas en la tipología PART

96. Análisis y desarrollo de procesos de participación y deliberación pública basados en el agua
97. Organismo ciudadano para la gestión de la cuenca
98. Programa para la integración y divulgación de las mesas técnica y social de la laguna

3.4. Árbol de Problemas según población afectada: Los habitantes de los municipios de la cuenca de la laguna de Zapotlán afectados en forma desigual en sus derechos humanos al agua, al saneamiento y a un ambiente sano.

Efectos primordiales:

Aumentan los conflictos territoriales, ambientales y los riesgos naturales

Gentrificación creciente que recibe grandes cantidades de migrantes y expulsa habitantes

Deterioro creciente del nivel de vida de los habitantes de la cuenca

3.4.1. Causas estructurales y sus respectivas causas subyacentes.

- 1. Se suministra agua no potable en viviendas (potabilidad que redunda en salud, evitando riesgos)**
 - Monitoreo y purificación incompleta del agua extraída para su distribución. Utilización de químicos caros y con potencial riesgo a la salud
 - Contaminación geogénica y antrópica emergente en acuíferos y en agua extraída de los pozos
 - Redes con inadecuado diseño y operación (sin adecuada interconexión, digitalización y monitoreo en tiempo real, reversibilidad de flujo, variabilidad del caudal), abastecidas por un solo pozo
 - Desinterés político para mejorar los sistemas de agua potable que motiva una inadecuada gestión presupuestal en las instancias responsables
- 2. Altos costos reales de agua para uso doméstico en los primeros deciles por la doble y triple facturación**

- Se suministra agua no potable y no constante en viviendas (potabilidad que redunda en salud, evitando riesgos), que incide en la baja confianza en la calidad del agua suministrada por la red pública
- Mercado refresquero (y de pipas) con alta rentabilidad privada, con grandes inversiones en la "normalización" de la provisión embotellada de agua para consumo humano directo y una fuerte campaña publicitaria
- Ingresos insuficientes en el hogar para más de la mitad de la población que refleja su gasto en agua (del consumo y el disfrute del agua) con un porcentaje muy alto respecto del gasto familiar total
- La estructura tarifaria y su modelo están desvinculados de los costos marginales de producción.

3. Suministro no constante de agua, no presurizado y tandeado

- Problemas de hermeticidad e inadecuado diseño en las redes de distribución; con capacidades excedidas de una demanda que se desconoce
- Redes con inadecuado diseño y operación (sin adecuada interconexión, digitalización y monitoreo en tiempo real, reversibilidad de flujo, variabilidad del caudal), abastecidas por un solo pozo, con excesivo consumo energético
- Proliferación de soluciones a nivel individual: Aljibes, tinacos y pipas con elevado riesgo de contaminación cruzada.

4. Fuentes de abasto en riesgo de agotamiento y profundización

- Aumento de la disputa y competencia entre usos urbanos e industriales, por la proliferación de unidades de negocio de alto valor en rentabilidad, principalmente vinculadas a la producción agrícola intensiva y de exportación, que no pagan los valores reales de sus insumos y los efectos acumulativos en el medio ambiente del que se sirven en su entorno
- Inadecuada gestión del agua a nivel de cuencas y sistemas de flujo subterráneo (fuente única de agua para los distintos usos)
- Los sistemas locales de flujo subterráneo de mejor calidad se estarían degradando y modificando por efecto acumulativo de conos de depresión y descenso de niveles piezométricos causados por el bombeo intensivo
- Desaprovechamiento del agua pluvial que se mezcla con el drenaje sanitario.

5. Fuentes de abasto de agua subterránea en riesgo por degradación físico-química, antrópica y geogénica

- El sistema de flujo subterráneo remanente sea de agua fósil de menor calidad (contenido de componentes inorgánicos de riesgo) y a profundidad creciente (costos adicionales de provisión en perforación, ademado, bombeo, mantenimiento, monitoreo y purificación parcial)
- Limitada regulación del territorio y del agua (en particular, del agua subterránea) que permita contener la inercia e imperio del poder económico por encima del interés público
- Paradigma de la caracterización de la cantidad, movimiento y calidad del agua subterránea, dispuesto por CONAGUA en los últimos 40 años: modelo de disponibilidad basado en acuíferos administrativos, bidimensionales, sin evidencia hidrogeológica (la ciencia del agua subterránea)

- Incapacidad para el monitoreo y conocimiento de la presencia y migración de contaminantes en los sistemas de flujo del agua subterránea (hay cero pozos con monitoreo)
- 6. Zonas habitacionales con inadecuada gestión sanitaria a nivel domiciliario o existencia de sistemas combinados (pluvial y residual) a nivel urbano**
- Crecimiento urbano desordenado, poco planificado y especulativo, con limitada regulación del territorio
 - La planeación del desarrollo urbano ignora el agua residual como activo urbano en la economía circular
 - El diseño, operación y mantenimiento de las redes de recolección y conducción del agua residual y del agua pluvial, no son políticamente atractivos
- 7. La presencia creciente de residuos en cauces, canales, conducciones combinadas de agua pluvial/residual y en el humedal afecta la conducción del agua y deteriora el servicio ecosistémico de regulación de inundaciones, de regulación de calidad del agua y olores**
- Inadecuada gestión y regulación de residuos (sólidos urbanos, de manejo especial y peligrosos)
 - Los municipios no generan ingresos adicionales basados en economía circular; la valorización de residuos y tasas diferenciables de cobro del servicio de gestión y disposición segura de residuos
 - La existencia de canales de conducción combinada (agua pluvial y sanitaria) con inadecuado diseño y protección para la retención y gestión del agua pluvial.
- 8. Riesgos crecientes de hundimientos, inundación, erosión, deposición por sedimentación y remoción en masa**
- Cambios de uso de suelo con pérdida de vegetación natural que retiene sedimentos y controla la formación de cárcavas y la retención de suelos y sedimentos
 - Modificación de la estabilidad de laderas por infraestructura productiva o urbana
 - Política de manejo del agua pluvial basada en la ampliación de una red de canales rectificados que aumentan la velocidad, caudal y capacidad de transporte de sedimentos y químicos, que desembocan en la laguna
 - Hundimientos diferenciales y fracturación del terreno por sobreexplotación de agua subterránea. Modificación de la rugosidad, de la vegetación y de los depósitos sedimentarios naturales en cauces; que disipan la energía y reducen la velocidad del agua y la capacidad de transporte de sedimentos de los arroyos temporales en zonas de elevada pendiente. La carga sedimentaria se deposita en zonas de cambio de pendiente-energía en el área urbana o periurbana.
- 9. Valoración económica del agua en función de su rentabilidad privada por encima de su valor social, ambiental, escasez y costo de reemplazo**
- Desconocimiento del valor real del agua en la cuenca, dadas las circunstancias actuales y bajo efectos del cambio climático
 - Dinamización económico-laboral de la agroindustria que presupone una oportunidad sostenible únicamente de empleo para habitantes de la cuenca y trabajadores foráneos

- Desproporción entre las capacidades de inversión financiera (procuración, gestión y evaluación) entre sectores productivos y el sector público para la explotación de un recurso compartido, con tendencia a degradarse y agotarse.

10. Limitada gobernanza territorial de la cuenca en torno al agua y el ambiente sano

- Coordinación gubernamental y concertación social y productiva incompletas y asimétricas, con incidencia social incipiente en términos de cuenca
- Instrumentos de planificación territorial con dificultades de diseño y gestión orientada al agua, sin capacidad de demostrar resultados o lograr cambios positivos en el mediano y largo plazo de forma evidente
- Asimetrías entre las capacidades institucionales y sociales locales
- Información pública de difícil acceso, aislada, no digitalizada ni sistematizada.

3.4.2. Árboles de objetivos y medios.

Objetivo principal o central

Los habitantes de los municipios de la cuenca de la laguna de Zapotlán en el estado de Jalisco reducen ala brecha en el cumplimiento del derecho humano al agua, al saneamiento y aun ambiente sano.

Fines:

Se reducen los conflictos territoriales, ambientales y los riesgos naturales

Se reduce la gentrificación en los municipios de la cuenca de la laguna de Zapotlán

Mejora el nivel de vida de los habitantes de la cuenca

Objetivos y medios

- 1. Se suministra agua realmente potable (que permite su consumo directo sin comprometer la salud) en viviendas conectadas a la red hidráulica**
 - Se cuenta con un sistema de monitoreo y purificación del agua extraída que elimina los riesgos a la salud de la población, con tecnología adecuada, menores costos
 - Se reduce la sobreexplotación de agua y contaminación geogénica inducida de las fuentes subterráneas
 - Se reemplaza el sistema de redes de distribución con un adecuado diseño que incorpora interconexión, digitalización y monitoreo en tiempo real; reversibilidad de flujo, variabilidad de caudal y selección adecuada de puntos de extracción
 - La presión social sobre el futuro del agua para consumo humano genera el interés de instancias políticas y gubernamentales por mejorar los sistemas hidrosanitarios
- 2. Se reduce el costo real del consumo de agua para los habitantes de los primeros deciles, eliminando la doble y triple facturación**

- Se cuenta con suministro de agua realmente potable y constante en viviendas a través de la red pública, cumpliendo lo establecido en el DH al agua y mejorando la confianza de los consumidores en su provisión
- Los habitantes de la cuenca de la laguna de Zapotlán identifican la afectación económica y ambiental del consumo del agua embotellada y bebidas azucaradas
- Se reduce la proporción del gasto familiar destinado al consumo de agua, para la mitad de la población con menores ingresos
- El modelo tarifario y su estructura incorporan los costos marginales de producción de LoPo, proponiendo un esquema de subsidios cruzados.

3. Suministro constante de agua, con adecuada presión y continuidad, en los predios conectados a la red hidráulica

- Se mejora la eficiencia física a niveles establecidos en parámetros internacionales y en congruencia a la demanda real en consumo
- Se mejora la eficiencia física a niveles establecidos en parámetros internacionales, incorporando interconexión, digitalización, monitoreo en tiempo real, reversibilidad de flujo y variabilidad de caudal
- Se reduce la dependencia de soluciones individuales (aljibes, tinacos, pipas) para el abastecimiento de agua de usuarios habitacionales conectados a la red hidráulica.

4. Se diversifican y consolidan fuentes de abasto con mejores criterios de sustentabilidad

- Se crean y consolidan estrategias y medidas para regular e incorporar el valor real del agua, limitando el consumo indiscriminado y los efectos acumulativos en el medio ambiente
- Se realizan estudios, consultas, mecanismos de participación y estrategias de comunicación para replantear los instrumentos de gestión del agua a nivel de cuencas y sistemas de flujo subterráneo bajo una sólida propuesta técnica, socialmente válida y con criterios de protección ambiental
- Se genera evidencia hidrogeoquímica y se opera un modelo de gestión de la calidad del agua subterránea soportado por pozos inteligentes y con el objetivo de proteger los sistemas de flujo locales y menos profundos para el consumo humano
- Se generan mecanismos, proyectos, instrumentos e incentivos para el aprovechamiento del agua de lluvia.

5. Se sustituyen las fuentes de abasto de agua subterránea que presentan riesgo de degradación físico-química, antrópica y geogénica

- Se cuenta con un diagnóstico pormenorizado de las condiciones físico-químicas del agua subterránea, sus volúmenes y ubicación
- Se generan instrumentos y estrategias para mejorar la regulación del territorio y el agua con prevalencia del interés público sobre el privado
- La población conoce la naturaleza geológica y físico-química de las fuentes de agua subterránea
- Se cuenta con un sistema de diagnóstico permanente que monitorea la presencia y migración de agua y sus contaminantes en las fuentes subterráneas.

6. Se mejoran la gestión y condiciones de las redes sanitarias, evitando la combinación con el agua pluvial a nivel urbano

- Se mejoran los programas, instrumentos y mecanismos de planificación urbana, a partir de un esquema permanente de monitoreo y evaluación por parte de la sociedad organizada
- La población y los entes involucrados reconocen al agua residual como un activo urbano en la economía circular, y realizan su valorización
- La presión social sobre el futuro del agua para consumo humano genera el interés de instancias políticas y gubernamentales por mejorar los sistemas hidrosanitarios.

7. Se reduce la presencia de residuos en cauces, canales y su disposición en el humedal, mejorando su condición ambiental y el servicio ecosistémico de regulación de inundaciones

- Se mejora la gestión y regulación de residuos (sólidos urbanos, de manejo especial y peligrosos) en cumplimiento de la normativa vigente
- Se dispone de estrategias y mecanismos de generación de ingresos locales propios basados en economía circular y manejo - disposición de residuos
- Se consolidan estrategias y proyectos para el mantenimiento de drenajes pluviales separados, la gestión y aprovechamiento del agua pluvial en la cuenca.

8. Se reducen los riesgos de inundación, erosión, deposición por sedimentación y remoción en masa

- Se modifican los instrumentos de planificación urbana y uso de suelo, protegiendo la vegetación natural para la retención de sedimentos
- Existen criterios de evaluación y supervisión adecuados para que la infraestructura productiva y urbana prevenga y garantice la estabilidad de laderas
- Existe un plan de manejo del agua pluvial que cumple con criterios ambientales y cuenta con supervisión para evitar el aumento de la velocidad, caudal y capacidad de transporte de sedimentos y químicos a la laguna
- Los nuevos instrumentos de evaluación de impactos, ordenamiento y planificación del territorio se articulan con criterios de mitigación de Impactos Acumulativos y consideran los riesgos de hundimiento y fracturación del terreno por sobreexplotación, y los efectos aguas abajo de las modificaciones en cauces naturales que alimentan los canales urbanos (y que ponen en riesgo a las áreas urbanas o periurbanas).

9. La población conoce y es consciente del valor del agua en función de su costo de oportunidad, usos alternativos, escasez, costo de reemplazo y vulnerabilidad futura, que es conocido y comprendido por la población

- Se cuenta con un modelo de valoración económica del agua fundamentado en criterios públicos y ambientales
- Existe un sistema de monitoreo de las condiciones laborales de la región que incorpora criterios de movilidad social, tendencia laboral de la pobreza y dinámica demográfica
- Se reducen las asimetrías de inversión, gestión y conocimiento de la cuenca y sus servicios ecosistémicos entre el sector privado y el sector público.

10. Mejora la gobernanza territorial de la cuenca en torno al agua y el ambiente sano

- Mejora la coordinación gubernamental y la concertación social y productiva, bajo un esquema de análisis e intervención racional y equilibrado en la cuenca
- Se cuenta con adecuados instrumentos de planificación territorial, adecuadamente diseñados, centrados en la gestión orientada al agua y la naturaleza pública de la cuenca, con capacidad de demostrar resultados a partir de evidencia
- Existen instrumentos homologados de planificación, evaluación y gestión del territorio para las instituciones públicas involucradas en la cuenca
- Se cuenta con un sistema digital de información y monitoreo permanente, en formato abierto, que permite dar cuenta de las condiciones y evolución de los subsistemas en torno al agua e involucrados en la cuenca.

3.4.3. Estructura analítica y propuestas de alternativas

En cuanto a la estructura analítica se han generado construido para esta problemática un total de 79 alternativas de diversa índole. No obstante el abultado número de ellas, hay algunas que son recurrentes pues inciden en diversas tipologías.

Con la intención de clasificar, sistematizar y priorizar, se han establecido las siguientes 6 tipologías para abordar los objetivos y medios respectivos:

- Cultura, formación, educación y fortalecimiento de capacidades cognitivas o personales (CFED)
- Fortalecimiento institucional regulatorio y coordinación (FREG)
- Económicas (ECON)
- Planificación, monitoreo, evaluación, contraloría social y rendición de cuentas (PM&E)
- Formación de conocimiento e investigación aplicada para la búsqueda de soluciones (INVA)
- Participación y deliberación pública (PART)

Y del mismo modo, de acuerdo con el nivel de intervención, se ha generado la siguiente categorización:

- Proyecto / Programa (PRY/PRG)
- Capacitación / Comunicación (CAP)
- Estudios y análisis (EST)
- Gestión institucional (INS)

Se trata de unos listados extensos que identifican para cada una qué problema resuelve, su enunciación, así como su tipología y nivel de intervención, por ello se encuentran en anexo.

No obstante, para efectos ilustrativos, se incorporan aquí agrupados en razón de su tipología, y se presentan alfabéticamente.

Alternativas en la tipología CFED

1. Diagnóstico detallado de los tipos de RME que se disponen ilegalmente en cauces y cuerpos de agua en la Cuenca, así como los agentes y las actividades económicas que generan los RME que se disponen ilegalmente de forma constante.

2. Diseño de programas y espacios educativos de interpretación del agua, de los servicios ecosistémicos y de la revalorización cultural hacia la protección del territorio de la cuenca.
3. Diseño e implementación de programa formativo en residuos y agua para actividades económicas prioritarias
4. Proyecto para instalar un sitio de disposición de Residuos de Construcción y Demolición, así como un Centro para el aprovechamiento de materiales para la economía circular.
5. Diseño y creación de material multimedia para la comunicación efectiva a distintas audiencias de los escenarios futuros en espacios participativos. Desarrollo de programa del tipo "vigías del agua" con jóvenes de centros educativos y comunidades en la cuenca, para formar participativamente capacidades en hidrología, restauración, y gestión de riesgos; además de promover apropiación en la gestión del agua y servicios ecosistémicos en su territorio
6. Divulgación de los resultados de estudios de valoración de nuevas externalidades socioambientales de la agroindustria y futuros conflictos por el agua en los espacios de transición rural a urbano
7. Programa de educación no formal y formación de capacidades (diplomado) en nuevos paradigmas de captación y gestión del agua pluvial, recarga gestionada de acuíferos y servicios ecosistémicos de regulación de inundaciones en el contexto al cambio climático.
8. Programa de fortalecimiento de capacidades en evaluación de impacto 2.0, EGEA, EML y en la gestión de sistemas de EA
9. Programa de mejora en las prácticas de agentes y generadores, de tal manera que minimicen sus RME y propongan mecanismos para impulsar el acopio, separación y valorización de sus RME
10. Talleres de formación sobre gestión de residuos de manejo especial (RME), en particular los Residuos de Construcción y Demolición
11. Talleres, programas educativos y estrategias de comunicación para replantear la operación e infraestructura de conducción, tratamiento y manejo del agua pluvial y residual en los centros de población, con una sólida propuesta técnica, socialmente válida y con criterios de protección de la salud ambiental y economía circular incluyente

Alternativas en la tipología FREG

12. Actualización de herramientas de planeación territorial y comunicación de riesgos naturales para incorporar el mapeo de factores de riesgos de remoción en masa. En las evaluaciones de impacto de proyectos de infraestructura se establece una jerarquía de mitigación al riesgo de remoción en masa y modificación de estabilidad de laderas
13. Articulación institucional SEMADET- Ayuntamientos para coordinar supervisión y control de los sitios de disposición ilegal de RME y RSU
14. Delimitación del cauce, la zona federal y la planicie de inundación de los arroyos utilizando sensores remotos y técnicas de campo ya utilizadas por Protección Civil y Bomberos en otras cuencas
15. Diseño de plan de manejo del agua pluvial basado en evidencia local, que integra captación, retención, almacenamiento, infiltración del agua pluvial, que cumple con criterios ambientales y cuenta con supervisión para evitar el aumento de la velocidad, caudal y capacidad de transporte de sedimentos y químicos a la laguna

16. Diseño de un ente regulador para la gestión hidrosanitaria de la cuenca y la protección de cauces, conducciones y sistemas de retención e infiltración de agua pluvial
17. Diseño de un programa de uso de suelo y gestión de agua integrados, que incluya proyectos de resiliencia hídrica, retención de escurrimientos y reforestación que, en complemento con acciones de mejora y conectividad del espacio público, impulse una red de parques lineales
18. Diseño e implementación un real sistema de evaluación de impactos intermunicipal, articulado por el Estado; que incorpore evaluación y gestión de efectos acumulativos (EGEA) y EAE
19. Diseño y operación de un Sistema de información ambiental de la cuenca de Zapotlán (SIACZ), incluyendo SIG, repositorio y base de datos dinámica (transparente y en tiempo real)
20. Diseño y operación del sistema de información ambiental para la cuenca, incorporando sistemas de información geográfica, que permita a mediano plazo modelar la degradación de la regulación ecosistémica de inundaciones y hacer accesible la evaluación de los riesgos de afectación o desastre por fenómenos naturales.
21. Diseño y operación escalonada de sistema de monitoreo y tratamiento del agua extraída desde pozos que elimina los riesgos a la salud de la población al purificarse con tecnología adecuada y menores costos operativos
22. Elaboración de convenios de coordinación y concertación para la gestión integral de residuos prioritarios para la laguna
23. Elaboración y promoción de una Ley Estatal de Agua Subterránea y la regulación de agencias locales
24. Establecimiento de un sistema de alerta de inundación alimentado por modelos de precipitación-escurrimiento y monitoreo hidrometeorológico, para informar sobre riesgos de inundación a la población.
25. Iniciativa normativa para mejorar y homologar la gestión de residuos en la cuenca
26. Mejora del sistema de tratamiento de efluentes para alcanzar estándares de calidad del agua que permitan su reutilización en riego y reincorporación a cauces, sin representar un riesgo a la salud humana y al ecosistema.
27. Mejores programas, instrumentos y mecanismos de planificación urbana, que incorporan al agua segura, efectos acumulativos y los riesgos hídricos para la población como un problema central, incluyendo un esquema permanente de monitoreo y evaluación por parte de la sociedad organizada
28. Programa de educación no formal y formación de capacidades (diplomado) en sistemas de flujo, nuevos paradigmas de gestión del agua subterránea, servicios del ecosistema, fuente clave de agua para el DH y amortiguador en la adaptación al cambio climático
29. Programa para la integración y divulgación de las mesas técnica y social de la laguna
30. Propuesta regulatoria para eliminar el subsidio a la electricidad del bombeo de agua subterránea de la agroindustria (la “tormenta perfecta” en el nexo agua, energía y cambio climático)
31. Sistema de regulación con mejores prácticas las EGEA de propuestas de proyectos que incluyen pozos profundos u otras acciones con impacto directo en fuentes de agua (como CVA)
32. Sistema intermunicipal para la gestión sustentable de los RSU, economía de escala la valorización de residuos y cobros de tasas diferenciales a grandes generadores

Alternativas en la tipología ECON

33. Análisis de mercados de residuos actuales y potenciales con incidencia en la cuenca
34. Análisis y propuesta de instrumentos económicos de política ambiental con carácter redistributivo y perspectiva de cuenca
35. Diseño e implementación de alternativas de gestión integral de residuos en actividades económicas prioritarias
36. Estudio para generar la propuesta regulatoria para la reclasificación a uso industrial, de la concesiones de uso de agua subterránea transferidas a empresas de la agroindustria exportadora
37. Estudios de valorización social y urbana de la conservación y rehabilitación de los procesos agrícolas no industriales (generadores de alimentos sanos de cercanías)
38. Fuentes adicionales de financiamiento para organismos del agua con base en una cultura tarifaria enfocada en la distribución de agua segura, saneamiento y tratamiento del agua para su reutilización
39. Internalización en tarifas a grandes usuarios de los costos sociales de la degradación y agotamiento de la reserva de agua subterránea, fundamental para la resiliencia hídrica urbana
40. Propuesta regulatoria para quita del subsidio a la electricidad del bombeo de agua subterránea de la agroindustria (la "tormenta perfecta" en el nexo agua, energía y cambio climático)
41. Definición de criterios de evaluación y supervisión adecuados para que la infraestructura productiva y urbana prevenga y garantice la estabilidad de laderas
42. Valoración de nuevas externalidades socioambientales de la agroindustria

Alternativas en la tipología PM&E

43. Censo de pozos y estimación de caudal de extracción con drones e imágenes satelitales. Actualización del SIAZ y de los datos del REPDA de CONAGUA
44. Control de la expansión urbana a través de la protección legal y vocacionamiento recreativo de planicies de inundación, como territorio proveedor de servicios ecosistémicos claves para el bienestar de la población.
45. Creación, capacitación y operación de comités de vigilancia social participativa
46. Diseño de plataforma electrónica de conocimiento sobre la cuenca
47. Diseño de un ente regulador para la gestión hidrosanitaria de la cuenca y la protección de las fuentes, que incluye la regulación del diseño, instalación y operación de pozos de extracción
48. Diseño institucional y regulación para asegurar reservas de recursos hídricos, mejorar la adaptación al CC y mitigar sequía
49. Diseño y operación de proyectos piloto de retención, acumulación e infiltración del agua de lluvia y de la escorrentía superficial no contaminada
50. Diseño y operación de un Sistema de información ambiental de la cuenca de Zapotlán (SIAZ), incluyendo SIG, repositorio y base de datos dinámica (transparente y en tiempo real)
51. Elaboración de planes de manejo de residuos de manejo especial prioritarios para la laguna
52. Evaluación externa de políticas municipales de prevención y gestión integral de residuos

53. Identificación de sitios y la mejor tecnología para la captación e infiltración de agua pluvial.
54. Implementación de proyectos piloto para un sistema de Recarga Gestionada de Acuíferos en la partes medias de microcuencas y zona de cambio de pendiente, enfocados facilitar el almacenamiento de agua subterránea, mejorar el manejo de inundaciones y reducir la evaporación, con base en evidencia territorial, hidrológica y geológica
55. Operación de modelo de protección de la fuente y calidad del agua subterránea soportado por pozos inteligentes y red de monitoreo de los sistemas de flujo subterráneo locales para el consumo humano
56. Requerimiento de análisis acumulativo de las presiones de cambio para propuestas de cambio u ocupación del territorio, documentando la evolución del contexto social y productivo, con efectos en los servicios hídricos de ecosistemas con beneficiarios locales.

Alternativas en la tipología INVA

57. Análisis de alternativas tecnológicas para la prevención y gestión integral de residuos de manejo especial que afectan la laguna
58. Capacitación de alto nivel en agua subterránea de la región cuenca de Zapotlán (orientado a técnicos públicos, privados e investigadores de la región)
59. Diagnóstico detallado del impacto de los RME en la calidad del agua del lago, la flora, la fauna y posibles impactos en salud ambiental
60. Diseño y financiamiento de una red de monitoreo de la hidrogeoquímica del diversos sistemas de flujo superpuestos de agua subterránea
61. Elaboración de proyectos de investigación e incidencia para la actualización de instrumentos de gestión territorial y del agua subterránea y futuro de la laguna (convocatoria, proceso de selección e implementación de al menos 3 proyectos)
62. Estudio social y antropológico sobre prácticas y percepciones en materia de residuos y agua en la cuenca
63. Estudios de evaluación de los efectos geomorfológicos de la ocupación urbana, alteración en cursos de agua mediante indicadores de alteración hidrológica y evaluaciones de la calidad del hábitat.
64. Estudios de valorización social y urbana de la conservación y rehabilitación de los procesos agrícolas no industriales (generadores de alimentos sanos de cercanías)
65. Estudios del impacto del mercado informal de concesiones de agua subterránea en el derecho humano al agua y en la vulnerabilidad social al cambio climático
66. Estudios isotópicos e hidrogeoquímicos para caracterizar el efecto del sobre bombeo y flujo hidrotermal inducido por cientos de pozos y bombas particulares en la degradación de la principal fuente de agua para consumo humano
67. Evaluación de futuros conflictos por las disputas por el agua en los espacios de transición rural a urbano
68. Generación de evidencia hidrogeológica para la toma de decisiones, que contraste las variables discrecionales utilizadas en los balances de los acuíferos administrativos de CONAGUA (conocimiento sobre los sistemas de flujo subterráneo es pobre y se tiene poco control sobre el volumen de extracción y la calidad del agua en los pozos (Peñuela y Carrillo, 2012).
69. Investigación aplicada en desigualdad ambiental y conflictos por degradación de servicios hídricos de los ecosistemas subterráneo, uso y gestión del agua de lluvia como mitigación de riesgo de inundaciones y fuente alternativa

70. Investigación aplicada para la innovación en métodos de formulación de programas, instrumentos y mecanismos de planificación urbana, que puedan incorporar al agua segura, efectos acumulativos y los riesgos hídricos para la población como un problema central, incluyendo un esquema permanente de monitoreo y evaluación por parte de la sociedad organizada
71. Mapeo en escala adecuada (1:5000 a 2000) de las alteraciones hidrológicas en la microcuenca, incluyendo los efectos ambientales y ecológicos generados por la ocupación urbana, la rectificación de cauces, impermeabilización y la alteración de calidad y régimen de flujo del agua.
72. Modelos de monitoreo y sistemas de purificación innovadores y seguros para eliminar riesgos a la salud de la población. Adaptación de tecnología adecuada, confiable, menores costos operativos e inversión con financiamiento blando

Alternativas en la tipología PART

73. Análisis de mecanismos de participación en materia de residuos y propuestas de mejora sesiones de trabajo para buscar soluciones. Incluir grupos ambientalistas, líderes de la sociedad civil y a los gremios que realizan actividades de riesgo: transportistas de materiales y acarreo de escombros de Construcción y Demolición.
74. Desarrollo de programa del tipo "vigías del agua" con jóvenes de centros educativos y comunidades en la cuenca, para formar participativamente capacidades en hidrología, restauración, y gestión de riesgos; además de promover apropiación en la gestión del agua y servicios ecosistémicos en su territorio.
75. Diseño de forma participativa y construcción de espacio público e infraestructura verde en zonas remediadas o acondicionadas, resiliente a eventos hidrometeorológicos extremos, convenientes, saludables, y seguros.
76. Diseño e implementación de un programa de participación temprana con la comunidad aledaña a cursos de agua, empresas y líderes de opinión que permita incorporar el conocimiento empírico y científico que se ha generado a lo largo de los años y definir prioridades en la gestión de riesgos y la restauración de funciones ambientales de la red de drenaje superficial
77. Diseño y creación de material multimedia para la comunicación efectiva a distintas audiencias de los escenarios futuros en espacios participativos.
78. Programa para la integración y divulgación de las mesas técnica y social de la laguna
79. Talleres y consultas para identificar actuaciones locales de manejo de inundaciones y de sedimentos con actores involucrados, incluyendo intervenciones físicas y de restauración de corredores en la partes alta y media de microcuenca

4 Banco integrado de proyectos.

4.1. El sentido del quehacer del BIP-Zapotlán

Un banco integrado de proyectos es un sistema de información de intervenciones, administrado por una institución u organismo que contiene el proceso de maduración de las iniciativas de inversión pública (IIP) que surgen para atender y mejorar las condiciones de desarrollo de un territorio.

Con la elaboración del Plan Maestro para la Laguna de Zapotlán, la herramienta del BIP-Zapotlán se constituye como un instrumento que permite consolidar la maduración de las ideas de proyectos y programas que pretenden dar solución a las causas de las problemáticas prioritarias observadas.

El objetivo principal de la creación del BIP-Zapotlán es garantizar que las iniciativas de inversión del Plan Maestro aseguren la orientación a resultados a partir de la consistencia lógica interna, la conveniencia pública y pertinencia ambiental, desde sus etapas de formulación, hasta la ejecución y rendición de cuentas en torno a la problemática planteada a nivel estratégico.

Las iniciativas de inversión deben evidenciar que su implementación cumple con los principios de transformación positiva que la orientación a resultados permite demostrar, más allá de sus implicaciones a nivel de desempeño o asignación de recursos. En ese sentido, un proyecto o programa es valioso en la medida que puede demostrar que, gracias a su ejecución, mejoran las condiciones de la laguna de Zapotlán o de quienes habitan en su cuenca.

4.2. Ciclo de vida de los proyectos y programas

El principio fundamental detrás de las iniciativas de inversión pública es establecer una clasificación para justificar el sentido de un proyecto o programa:

Los proyectos deben:

- Resolver un problema.
- Aprovechar una oportunidad.
- Cumplir con una normativa.

Los proyectos y programas, las alternativas en general, nacen a partir de una idea; sin embargo es importante que se conduzcan a partir de una serie de etapas que consolidan este proceso de maduración desde sus primeros pasos, antes de asegurar que es idóneo para lo que pretende resolverse y comprometer recursos que siempre serán escasos.

El Ciclo de Vida de un proyecto o programa puede enmarcarse en tres momentos: Pre-inversión (análisis previos), inversión (ejecución), operación y evaluación (ex – post).



Corresponde al momento de la pre-inversión realizar los análisis necesarios y consolidar los instrumentos para que la IIP cuente con la consistencia lógica interna y sea evaluada con la metodología adecuada, para asegurar su capacidad de entregar resultados.

El segundo momento, la inversión, aporta elementos cuantitativos y de preparación para que la ejecución cumpla con los principios contractuales y de diseño que fueron determinados.

El tercer momento es la etapa de observar y valorar que existe la conexión entre la IIP y la aportación de los beneficios esperados.

Por último, el cuarto momento que sucede ocasionalmente, consiste en realizar una evaluación en retrospectiva para verificar si lo planteado en la pre-inversión es congruente al momento presente, después de un tiempo de haber estado en operación.

Los pasos de las IIP y su proceso de evolución en el BIP-Zapotlán, guardan una interrelación que permite consolidar la madurez de las intervenciones en su recorrido.

1. La Ficha de Información Básica

Consistente en un formato que plantea los elementos básicos del Enfoque de Marco Lógico, para averiguar en qué medida han sido incorporados a la idea original y su posible interpretación territorial. Contribuye a validar el ingreso de las iniciativas que nacieron a nivel de “idea”. Hasta este punto llega el diseño del BIP-Zapotlán.

2. La Formulación de proyectos y programas

Contiene la construcción del Enfoque de Marco Lógico, con todos sus pasos (Análisis de Involucrados, Árbol de Problemas, Árbol de Objetivos, Estructura Analítica del Proyecto o Programa, Análisis de Alternativas y Matriz de Marco Lógico³⁵); además, el análisis territorial de desequilibrios que habrá de enfrentar la intervención, bajo el modelo de Brecha, con apoyo del Sistema de Información Geográfica del plan maestro.

3. Preparación técnica

Incorpora la información de naturaleza técnica que permite dar soporte en el diseño conceptual y físico de la intervención, según su naturaleza.

4. Evaluación

Enfrenta la iniciativa de inversión a las condiciones metodológicas de los tipos de evaluación, para contrarrestar su conveniencia y viabilidad; se consideran tres tipos de evaluación:

- Evaluación de diseño, consistencia y resultados.
- Evaluación de impactos acumulativos.
- Evaluación social: Análisis costo – beneficio social, y Evaluación de impacto social.

5. Contribución a los ODS

Identifica y cuantifica la forma como la intervención, contribuye a alcanzar los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), tanto para el nivel de desempeño (procesos y productos) como a nivel de resultados e impactos.

6. Gerencia de ejecución

³⁵ La Matriz de Marco Lógico ha sido concebida en México igualmente con el nombre de Matriz de Indicadores para Resultados, MIR

Presenta una carta Gantt y su correspondiente ruta crítica, para dar orden y seguimiento a las actividades, sub-actividades planteadas en su ejecución, así como la interacción entre tiempos, tipos de relación temporal de actividades, recursos, responsables e indicadores, que permitan dar cuenta de que llevar a cabo la iniciativa, es congruente con la cantidad, calidad (especificaciones), costo y cronograma pactados.

7. Monitoreo y control ciudadanos

Determina el grupo social que habrá de acompañar la ejecución de la iniciativa con fines de supervisión y control ciudadano, apoyado en lo que establece el apartado anterior, la gerencia de ejecución.

Ilustración 76 Pasos para realizar las iniciativas de inversión pública



Fuente: Elaboración propia.

Esquema de Ficha de Información Básica del BIP-Zapotlán

(documento en excel editable en Anexo electrónico)

Tierra
de Grandes

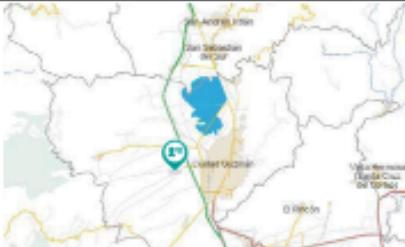
Plan Maestro de la Cuenca endorreica de Zapotlán Grande

Tierra
de Grandes

BANCO INTEGRADO DE PROYECTOS

INICIATIVA DE PROYECTO
PLAN MAESTRO DE LA CUENCA ENDORREICA DE LA LAGUNA DE ZAPOTLÁN EL GRANDE

Ficha técnica de información básica

Ubicación	
Entidad federativa	
Municipio	
Localidad	
Colonia	
Clave geost.	
Calle y núm. ext.	
Núm. interior	
Cruces	
Referencia	
Coordinadas	
Liga electrónica	(Colocar vínculo de ubicación del proyecto/programa con Mapa Digital de (INEGI))
Croquis de ubicación en Mapa Digital (INEGI)	
	

Nombre del proyecto

(DETERMINE DE FORMA PRECISA)

Definición del problema principal que debe resolverse con el proyecto

Plantee una referencia cuantitativa del problema

(La referencia cuantitativa permite identificar el tamaño del problema que debe resolverse)

Cite la fuente que respalde la información del problema que plantea

Tipos de población

Población potencial	Población objetivo	Población atendida
(Estimación de la población que sufre el problema que pretende resolver el proyecto)	(Estimación de la población que se pretende atender en el proyecto)	(Estimación de la población que efectivamente atenderá el proyecto)

Describa brevemente la operación del proyecto una vez que esté puesto en marcha

Promotor del proyecto	
Nombre	
Apellido P.	
Apellido M.	
RFC	
Profesión	
Ocupación	
Institución	
Cargo	
Número móvil	
Número trabajo	
Correo-e	
Red social	

Describa brevemente el objetivo de resultado del proyecto

(Describa cómo el proyecto o programa resolverá el problema propuesto)

Seriele los bienes o servicios que el proyecto pretende producir para alcanzar el objetivo (resultado)

#	Componente
1	
2	
3	
4	
5	
6	
7	



Tierra
de Grandes

Plan Maestro de la Cuenca endorreica de Zapotlán Grande

ELEMENTOS DE ANÁLISIS TERRITORIAL						
#	Denominación	Criterios (anote o remarque)				
1	IDENTIFICACIÓN DE BRECHA	Brecha en Educación	Brecha en Salud	Brecha en Seguridad Social	Brecha en Alimentación	Brecha en Vivienda
2	CONFLICTOS AMBIENTALES	Suelo		Aqua		Aire
3	PARTICIPACIÓN COMUNITARIA					

Identificación de grupos vulnerables en la población beneficiaria o asociada al proyecto o programa						
#	Denominación	Empleados	#	Beneficiarios	#	Asociados
1	Niños y adolescentes					
2	Mujeres					
3	Indígenas					
4	Migrantes					
5	Adultos mayores					
6	Personas con algún tipo de discapacidad o necesidades especiales					
7	Dependencia forzada					
8	Víctimas de la comisión de delitos					
9	Indigentes					
10	Alcohólicos y fármaco dependientes					
11	Mujeres víctimas de violencia de género					

PUEBLOS INDÍGENAS: CONSULTA PREVIA, LIBRE, INFORMADA, DE BUENA FE Y CULTURALMENTE ADECUADA (en caso de que aplique)		Sí (Continúa con el apartado)	No (Pase al siguiente apartado)	X	No sé (Verifique en: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/516011/Catalogo_Localidades_Ind20.pdf)		
#	PRINCIPIOS RECTORES de la consulta indígena	Etapas del proceso (marque la verificación documental de su cumplimiento)					
#		1 Negociaciones previas	2 Acuerdos previos	3 Etapa informativa	4 Etapa deliberativa	5 Etapa consultiva	6 Etapa de seguimiento de acuerdos
I	LIBRE DETERMINACIÓN: Derecho para determinar libremente su condición política y perseguir su desarrollo económico, social y cultural.						
II	PARTICIPACIÓN: Derecho a no quedar al margen de la toma de decisiones de los asuntos públicos que les atañen; participar en asuntos específicos que afecten o sean susceptibles de afectarse sus derechos colectivos a través del derecho de consulta						
III	BUENA FE: Definido doctrinariamente como un principio que obliga a todos a observar una determinada actitud de respeto y lealtad, de honestidad en el tráfico jurídico, y esto, tanto cuando se ejerce un derecho, como cuando se cumple un deber						
IV	INTERCULTURALIDAD: Tomar en cuenta las distintas visiones, perspectivas e intereses que se van involucrados por el tema a consultar, a fin de generar las condiciones necesarias que hagan posible que los proyectos o leyes con expresiones culturales e intereses diversos, se vuelvan compartidos y beneficios para todos los involucrados						
V	COMUNALIDAD O COLECTIVIDAD: La forma que tienen los pueblos indígenas para concebir e interpretar su existencia, cuya característica principal es su carácter colectivo						
VI	IGUALDAD ENTRE MUJERES Y HOMBRES: Garantizar el enfoque de igualdad que permite el ejercicio de los derechos y la participación de las mujeres indígenas, de conformidad con el artículo 1º de la CPEUM						

#	Denominación	Criterios (anote o remarque)				
I	Educación, cultura, apreciación artística y lectura (EDUCA)					
II	Salud física, emocional, activación física y deporte (SAFED)					
III	Seguridad y protección social durante el Ciclo de Vida (SSOCC)					
IV	Alimentación y nutrición (ALNUT)					
V	Vivienda, servicios e infraestructura pública (VIVSP)					
VI	Empleo digno o medios para mejorar el ingreso/gasto (EMPO)					
VII	Justicia efectiva y rendición de cuentas para el Estado de Derecho (JEFDA)					
VIII	Entorno saludable (ENTSA)					

CONTRIBUCIÓN DEL PROYECTO A LOS OBJETIVOS DE DESARROLLO SOSTENIBLE (ODS)						
#	Objetivo	NIVEL PROPÓSITO			NIVEL COMPONENTE	
		Descripción	Cuantificable	Ubicación	Descripción	Cuantificable
1. Poner fin a la pobreza en todas sus formas en todo el mundo						
2. Poner fin al hambre, lograr la seguridad alimentaria y la mejora de la nutrición y promover la agricultura sostenible						
3. Garantizar una vida sana y promover el bienestar para todos en todas las edades						
4. Garantizar una educación inclusiva, equitativa y de calidad y promover oportunidades de aprendizaje durante toda la vida para todos						
5. Lograr la igualdad entre los géneros y empoderar a todas las mujeres y las niñas						
6. Garantizar la disponibilidad de agua y su gestión sostenible y el saneamiento para todos						
7. Garantizar el acceso a una energía asequible, segura, sostenible y moderna para todos						
8. Promover el crecimiento económico sostenido, inclusivo y sostenible, el empleo pleno y productivo y el trabajo decente para todos						
9. Construir infraestructuras resilientes, promover la industrialización inclusiva y sostenible y fomentar la innovación						
10. Reducir la desigualdad en y entre los países						
11. Lograr que las ciudades y los asentamientos humanos sean inclusivos, seguros, resilientes y sostenibles						
12. Garantizar modalidades de consumo y producción sostenibles						
13. Adoptar medidas urgentes para combatir el cambio climático y sus efectos						
14. Conservar y utilizar en forma sostenible los océanos, los mares y los recursos marinos para el desarrollo sostenible						
15. Gestionar sosteniblemente los bosques, luchar contra la desertificación, detener e invertir la degradación de las tierras y detener la pérdida de biodiversidad						
16. Promover sociedades, justas, pacíficas e inclusivas						
17. Revitalizar la Alianza Mundial para el Desarrollo Sostenible						

Tierra
de Grandes

Plan Maestro de la Cuenca endorreica de Zapotlán Grande

PREPARACIÓN TÉCNICA						
#	Denominación	Criterios (anote si / no)				
1	Se cuenta con un proyecto preparado (Existe un documento de carácter técnico)	Nivel Perfil	Prefactibilidad	Factibilidad	Proyecto Ej.	Presupuesto
2	Se cuenta con un terreno disponible (Se tiene ubicado y definido el sitio específico)	Comodato	Renta	Propiedad	Edo. Jur.	Plano digit.
3	Se cuenta con diseño técnico de operaciones (Se han definido procesos para la operación)	Procesos	Diagramas	Gantt	LayOut	
4	Se tiene determinada la capacidad máxima (Se ha definido el tamaño de la operación)	Cantidad	Unidad	Tiempo	Explique	

ELEMENTOS DE EVALUACIÓN O IMPACTO SOCIAL						
#	Denominación	Criterios (anote o remarque)				
1	IDENTIFICACIÓN DE BENEFICIOS					
2	CUANTIFICACIÓN DE BENEFICIOS (CANTIDAD)					
3	VALORACIÓN DE BENEFICIOS (MXN)					
4	IDENTIFICACIÓN DE COSTOS					
5	CUANTIFICACIÓN DE COSTOS (CANTIDAD)					
6	VALORACIÓN DE COSTOS (MXN)					
7	VIDA ÚTIL (AÑOS)					
8	MONTO DE INVERSIÓN (MXN)					
9	TASA DE DESCUENTO (%)					
10	VAN (MXN)					
11	TIR (%)					
12	MOMENTO ÓPTIMO DE INVERSIÓN					
13	AUTORIZACIÓN EXPRESA DE INVOLUCRADOS					

ELEMENTOS COMPLEMENTARIOS DE SOPORTE PARA LA TOMA DE DECISIÓN						
#	Denominación	Criterios (anote si / no)				
1	El proyecto usará recursos (¿Cómo se concibe el origen y destino del \$?)	Prestamo	Rec. Propios	Donación	Tipo de tasa	Amortizac.
2	La propiedad futura del proyecto (¿Cómo se plantea la propiedad futura del pry?)	Privada	Pública	A.C.	Comunidad	Cooperativa
3	El proyecto puede replicarse como modelo (¿Se ha considerado que sea replicable?)	Propiedad	Público	Donación	Replicable	
4	Existen intervenciones complementarias (El proyecto se complementa a otro?)	Único	Se complementa	Explique por qué podría o debería complementarse		
5	Tipos de empleos y empleabilidad del proyecto (¿Qué tipos de empleos se generarán?)	Directos	Indirectos	Explique la dinámica prevista de empleabilidad		

RESUMEN DEL PROYECTO						
1	Formulación	CONGRUENCIA CON PLAN MAESTRO		DERECHOS SOCIALES		CONS. INDIG.
		INVOLUCRADOS		LÓGICA VERTICAL		LÓGICA HORIZONTAL
		PERTINENCIA TERRITORIAL		PRESUPUESTO		CONTRIBUCIÓN COS
2	Preparación técnica	SOporte TÉCNICO		PROCESOS		NORMATIVA
3	Modelo de negocio	INVERSIÓN		IDENTIF. DEMANDA		IDENTIF. MERCADO
4	Evaluación	ANÁLISIS COSTO BENEFICIO		CONSISTENCIA Y RESULTADOS		IMPACTO SOCIAL
5	Diseño de ejecución	GANTT		C4 (CANTIDAD, CALIDAD, COSTO Y CRONOGRAMA)		MSE DE LA EJECUCIÓN
TOTAL	Composición global	(+)		(-)		GLOBAL
Elaboró (Nombre)		REV. 1		REV. 2		REVISIÓN FINAL
AutORIZ.						
Firma		(UNIDAD RESPONSABLE)				
Fecha						

Siguientes pasos desde el enfoque de la planificación orientada a resultados



Paso 1. Consolidar la metodología adoptada con procesos de capacitación a ciudadanos y funcionarios que habrán de tomar el rumbo de los municipios involucrados en el área relevante del Plan Maestro: la cuenca endorreica de la Laguna de Zapotlán el Grande.

Paso 2. Desarrollar el proceso de identificación de iniciativas de proyecto (o programa), según lo planteado por el Banco Integrado de Proyectos (BIP), expuesto más adelante, consolidar procesos de involucramiento y monitoreo ciudadanos, y asegurar que en cada paso se lleven a cabo los cuidados necesarios para que las intervenciones también tengan una orientación a resultados y broten de lo planteado desde la problemática en este Plan Maestro.

Paso 3. Toda vez que se hayan identificado y formulado las principales iniciativas de proyecto o programa en el BIP y que dan respuesta a la problemática y refuerzan lo planteado en el objetivo de Propósito para cada uno de los 2 Marcos Lógicos generados en el Plan Maestro, desarrollar los Componentes y sus respectivos indicadores y medios de verificación.

Paso 4. Con la generación de los componentes y sus indicadores en ambos Marcos Lógicos (Paso 3), desarrollar los procesos o Actividades que serán necesarios y suficientes para producir cada Componente, incluyendo sus respectivos indicadores y medios de verificación.

Paso 5. Llevar a cabo talleres con especialistas y ciudadanos involucrados en el área relevante para identificar los riesgos externos que podrían afectar lo propuesto por el Plan Maestro en cada nivel de objetivo, tras haber completado los objetivos a nivel Actividad, Componente o el propio Propósito.

Paso 6. Transferir gradualmente la responsabilidad de gestión y operación de la evaluación del desempeño y resultados con los indicadores del Plan Maestro a la ciudadanía, consolidando previamente sus capacidades técnicas para que este ejercicio sea ajeno a todo interés particular, tanto de tipo económico como político. En este paso jugaría un papel primordial la Mesa Técnica para la sustentabilidad de la laguna, u otras como la Mesa Social que se instalen al respecto.

Para ello, además de esos elementos de gestión institucional, es ideal diseñar un Tablero de Control que presente en formato abierto y de forma transparente, la evolución de las transformaciones tanto a nivel desempeño como a nivel resultados, con los indicadores de cada uno de los niveles (Actividad, Componente, Propósito) de los dos Marcos Lógicos que se han propuesto:

- Para la Laguna de Zapotlán
- Para los habitantes de los municipios de la cuenca endorreica de la Laguna de Zapotlán

Errores que deben evitarse en el diseño indicadores

Los indicadores son la base de la medición, tanto del desempeño del Plan Maestro, como de sus resultados. Existen cinco tipos de errores en que puede caer el ejercicio de monitoreo y evaluación con indicadores, que es preciso señalar:

Error tipo 1. Indicadores que no miden rasgos del objetivo planteado.

Los indicadores tienen razón de existir en tanto sean precisos; tal precisión depende, en primera instancia, de evaluar rasgos del objetivo que se plantea. Por ejemplo, para evaluar la reducción de un contaminante, un indicador no debería evaluar cuántas horas se han dedicado a la limpieza del contaminante, sino establecer la medida en que alguno (o algunos) de los contaminantes(s) fueron disminuidos, gracias al objetivo.

Error tipo 2. Indicadores que pretenden medir objetivos desconectados a una estructura lógica vertical.

Los indicadores no pueden surgir de la imaginación o proceso temporal de “querer medir”. Se construyen para cada objetivo y estos, deben estar estructurados dentro de una lógica vertical.

Error tipo 3. Indicadores que no llegan a serlo, por contar solo con una variable.

Los indicadores son una relación de dos o más variables. Una sola variable no puede dar cuenta de una mejora, ni en desempeño ni en resultados. Por ejemplo, para medir el resultado de un taller y su desempeño, tendrían que considerarse al menos: “Relación de participantes que asistieron (variable 1) respecto de la convocatoria (variable 2)”, a nivel de desempeño. Contabilizar en una sola variable, por ejemplo: “numero de participantes”, no nos permite evaluar ni siquiera el efecto de la convocatoria misma.

Error tipo 4. Indicadores insuficientes para valorar el éxito del objetivo.

Los objetivos que son evaluados por indicadores tienen distinta relevancia.

No es lo mismo evaluar un proceso (preparar materiales, por ejemplo); con un producto (dictar un taller de capacitación, por ejemplo); con un resultado (aprendizaje de los participantes, por ejemplo). Para evaluar este último, sería deseable considerar más de un rasgo, por la importancia que tiene el resultado, respecto del desempeño.

Error tipo 5. Indicadores que no promueven la mejora del desempeño o resultados.

Es natural que los indicadores sean propuestos como medidas “ligeras”, sobre todo en la evaluación del desempeño interno de un proceso o de un producto.

Los indicadores deben ejercer presión para la mejora de ambos momentos: desempeño y resultados. Es importante evitar el manejo común de la frase “contar con” en la relación de objetivos-indicadores. Contar con un Plan Maestro, por ejemplo, no asegura que mejoren las condiciones de la cuenca ni sus habitantes; si el plan cuenta con una metodología adecuada y es elaborado con apoyo de especialistas, , y es implementado de cara a la ciudadanía dando los pasos idóneos, entonces seguramente habrá mayores posibilidades de mejorar las condiciones de la cuenca e impactar favorablemente en quienes la habitan.

5. Bibliografía.

- Aguilera Cerda S.A., Cáñez Cota A., y Balderas Torres A. (2018). *Problemática de la cadena de valor del aguacate en la región sur de Jalisco*. CIESAS Divulgación-CIDIGLO Policy Brief Series. Boletín de Políticas Públicas, México 2018. Disponible en <https://occidente.ciesas.edu.mx/descargables-cidiglo/>
- Alatorre-Zamora, M. A., Campos-Enríquez, J. O., Rosas-Elguera, J. G., Peña-García, L., Maciel-Flores, R., & Fregoso-Becerra, E. (2015). Chapala half-graben structure inferred. A magnetometric study. *Geofisica Internacional*.
- Allan, J. F., Nelson, S. A., Luhr, J. F., Carmichael, I. S. E., Wopat, M., & Wallace, P. J. (1991). Pliocene-Holocene rifting and associated volcanism in southwest Mexico: an exotic terrane in the making. *The Gulf and Peninsula Province of the Californias*.
- Arévalo, L. A. P., & Joel Carrillo Rivera, J. (2013). Definición de zonas de recarga y descarga de agua subterránea a partir de indicadores superficiales: Centro-sur de la Mesa Central, México. *Investigaciones Geográficas*, 81, 18–32.
- Armienta, M. A., & Segovia, N. (2008). Arsenic and fluoride in the groundwater of Mexico. *Environmental Geochemistry and Health*. <https://doi.org/10.1007/s10653-008-9167-8>
- Ayuntamiento de Zapotlán. (2019). Plan Municipal de Desarrollo y Gobernanza 2018-2021, para Zapotlán el Grande, Jalisco. Zapotlán, Jalisco: Ayuntamiento de Zapotlán. Recuperado de: <http://www.ciudadguzman.gob.mx/Pagina.aspx?id=c78b7fcf-6815-422c-854c-dee753dda2da>
- Ayuntamiento de San Gabriel. (s.d.). Plan Municipal de Desarrollo y Gobernanza. San Gabriel 2018-2021. Visión 2030. San Gabriel, Jalisco: Ayuntamiento de San Gabriel. Recuperado de: https://plan.jalisco.gob.mx/sites/default/files/planesmunicipales/San_Gabriel.pdf
- Balderas Torres, A., Beret Rodríguez, M.J., Montero Munguía, J.E., Carrillo Arce, M., Bernache Pérez, G. (2016). *Diagnóstico de capacidades y necesidades de gobiernos municipales en Jalisco*. CIESAS Occidente-Consortio de Investigación y Diálogo sobre Gobierno Local (CIDIGLO), Guadalajara, México, julio de 2016. Reporte no publicado. Investigación financiada por el Fondo Mixto CONACYT-Gobierno de Jalisco en el marco del Proyecto CIDIGLO.
- Bandy, W., Mortera-Gutierrez, C., Urrutia-Fucugauchi, J., & Hilde, T. W. C. (1995). The subducted Rivera-Cocos Plate Boundary: Where is it, what is it, and what is its relationship to the Colima Rift? *Geophysical Research Letters*, 22(22). <https://doi.org/10.1029/95GL03055>
- Barrera, R. O., & Zaragoza, F. (2000). LAS ESTRUCTURAS DEL RELIEVE DEL ESTADO DE JALISCO. In *ORDENAMIENTO ECOLÓGICO DEL ESTADO de JALISCO*. Guadalajara: SEMADES.
- Barrera R., R. O. (2002). (2002). Consideraciones geomorfológicas sobre la Sierra Madre Occidental en el norte de Jalisco, México. *Investigaciones Geográficas*, 48, 44–75.

Burke, J. J., Sauveplane, C., & Moench, M. (1999). Groundwater management and socio-economic responses. *Natural Resources Forum.* <https://doi.org/10.1111/j.1477-8947.1999.tb00918.x>

Brunori, C. A., Bignami, C., Zucca, F., Groppelli, G., Norini, G., Hernández, N. D., & Stramondo, S. (2015). Ground fracturation in urban area: Monitoring of land subsidence controlled by buried faults with insar techniques (ciudad guzmán: Mexico). In *Engineering Geology for Society and Territory - Volume 5: Urban Geology, Sustainable Planning and Landscape Exploitation* (pp. 1027–1031). https://doi.org/10.1007/978-3-319-09048-1_196

Cabello, V., Hernández-Mora, N., Serrat-Capdevila, A., Del Moral, L., & Curley, E. F. (2017). Implications of spatially neutral groundwater management: Water use and sustainability in the Tucson basin. In *Water Bankruptcy in the Land of Plenty.* <https://doi.org/10.1201/b21583>

Caicedo, S. A. (2011). La gobernanza del agua. *Criterios*, 4(1), 65–96. <https://doi.org/10.21500/20115733.1950>

Carmona Lara, C., Carrillo Rivera, J. J., Hatch Kuri, G., Huizar Álvarez, R., & Ortega Guerrero, M. A. (2017). Ley del Agua Subterránea: una propuesta. In *Instituto de Geografía.* <https://doi.org/10.14350/sc.04>

Carrillo, D. (2019) Implicaciones territoriales en el paisaje por el cambio de uso de suelo en la microcuenca La Difunta, Ladera Nororiental del complejo volcánico Nevado Colima (2000-2018)

Carrillo-Rivera, J., Peñuela-Arévalo, L. A., Huizar Álvarez, R., Cardona Benavídez, A., Ortega Guerrero, M. A., Vallejo Barba, J., & Hatch Kuri, G. (2016). Conflictos por el agua subterránea. In O. Moncada Maya & Á. López López (Eds.), *Geografía de México: Una reflexión espacial contemporánea.* <https://doi.org/10.14350/sc.01>

Capistrano, D., Samper, C., Lee, M. J., & Raudsepp-Hearne, C. (2005). Ecosystems and human well-being: multiscale assessments: findings of the Sub-global Assessments Working Group of the Millennium Ecosystem Assessment . In *The Millennium Ecosystem Assessment Series.*

Castellazzi, P., Martel, R., Rivera, A., Huang, J., Pavlic, G., Calderhead, A. I., ... Salas, J. (2016). Groundwater depletion in Central Mexico: Use of GRACE and InSAR to support water resources management. *Water Resources Research*, 52(8), 5985–6003. <https://doi.org/10.1002/2015WR018211>

Centro Universitario de Estudios Vulcanológicos de la Universidad de Colima. (2017). El Volcán de Colima. Retrieved from Centro Universitario de Estudios Vulcanológicos de la Universidad de Colima website: <https://portal.ucol.mx/cueiv/Volcan-colima.htm>

Clausen, J. (2014). Improving water buffer management in Latin America through Impact Assessment. in IAIA 34rd Annual Conference: Impact Assessment for social and economic development. International Association of Impact Assessment (IAIA).

Clausen, J. (2018). Estrategias y Acciones de Sostenibilidad Ambiental para la Implementación de la ETZ2030 y de la Nueva Agenda Urbana. Zapopan.

CONAGUA (2016) Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento. Libro 41. Eficiencia Energética, Uso Eficiente y Ahorro de la Energía.

<https://files.conagua.gob.mx/conagua/mapas/SGAPDS-1-15-Libro41.pdf>

CONAGUA (2019) Inventario Nacional de Plantas Municipales de Potabilización y de Tratamiento de Aguas Residuales en Operación.

https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/611037/Inventario_2019.pdf

Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social (CONEVAL). (2016). *Resultados de pobreza en México 2016 a nivel nacional y por entidades federativas*. <https://www.coneval.org.mx/Medicion/Paginas/PobrezaInicio.aspx>

CONAGUA. (2020). Actualización de la disponibilidad media anual de agua en el Acuífero Ciudad Guzmán (1406), Estado de Jalisco.

CONAFOR (2020). Comisión Nacional Forestal. Estrategia Nacional de Sanidad Forestal 2020-2024.

CONAFOR (2020). Comisión Nacional Forestal. Programa de Manejo del fuego 2020-2024.

Cortés, A., Komorowski, J.-C., Macías, J. L., Capra, L., & Layer, P. W. (2019). Late Pleistocene-Holocene Debris Avalanche Deposits from Volcán de Colima, Mexico. https://doi.org/10.1007/978-3-642-25911-1_4

CPI Índice Básico de las Ciudades Prósperas, [City Prosperity Index, CPI], (2018). INFONAVIT. Disponible en https://publicacionesonuhabitat.org/onuhabitatmexico/cpi/2015/14023_Zapotlán_el_Grande.pdf

Cruz Solís, H., Padlog Schmoisman, M., Hernández-Calvento, L., Márquez Azúa, B., & Suárez Plascencia, C. (2003). Aproximación al análisis de la vulnerabilidad del volcán de fuego de Colima (Jalisco, México). Vegueta: Anuario de La Facultad de Geografía e Historia.

Cunningham, W., & Schalk, C. (2011). Groundwater technical procedures of the U.S. Geological Survey: U.S. Geological Survey Techniques and methods 1-A1 (USGS, Ed.).

Daigle, K. (2015). Death in the Water. *Scientific American*, 314(1), 42–51. <https://doi.org/10.1038/scientificamerican0116-42>

Daniell, K. A., & Barreteau, O. (2014). Water governance across competing scales: Coupling land and water management. *Journal of Hydrology*. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2014.10.055>

Davalos, J., & Romo Pérez, A. (2017). Ciudades Sostenibles, Inclusivas y Resilientes: Gobiernos Locales y Participación Ciudadana en la Implementación de las Agendas Globales para el Desarrollo. *INNOVA Research Journal*. <https://doi.org/10.33890/innova.v2.n10.2017.441>

De La Hera, À., Gurrieri, J., Puri, S., Custodio, E., & Manzano, M. (2016). Ecohydrology and hydrogeological processes: Groundwater-ecosystem interactions with special emphasis on abiotic processes. *Ecohydrology and Hydrobiology*. <https://doi.org/10.1016/j.ecohyd.2016.03.005>

Devlin, J. F., & Sophocleous, M. (2005). The persistence of the water budget myth and its relationship to sustainability. *Hydrogeology Journal*, 13(4), 549–554. <https://doi.org/10.1007/s10040-004-0354-0>

Díaz, G. (2016) Ciudadanía y territorio. Paisajes de alternativas ciudadanas en el Sur de Jalisco. Complexus. Cuadernos de avances del Centro de Investigación y Formación Social. CIFS-ITESO. Recuperado de: https://complexus.iteso.mx/wp-content/uploads/sites/3/2018/06/Complexus_7-web.pdf

Díaz Caravantes, R. E., Peña, L. C. B., Cejudo, L. C. A., & Flores, E. S. (2013). *Presión antropogénica sobre el agua subterránea en México: Una aproximación geográfica*. Investigaciones Geográficas.

Díaz Caravantes, R. E., Bravo Peña, L. C., Alatorre Cejudo, L. C., & Sánchez Flores, E. (2013). Presión antropogénica sobre el agua subterránea en México: una aproximación geográfica. Investigaciones Geográficas, Boletín Del Instituto de Geografía. <https://doi.org/10.14350/rig.32452>

Domínguez, J., & Carrillo-Rivera, J. (2007). *El agua subterránea como elemento de debate en la historia de México*. In A. Mayer (Ed.), México en tres momentos: 1810-1910-2010. México: UNAM.

Escobar, A., Martínez, E., Judd, M. (2020). Agricultura de exportación y pobreza en el Valle de Ciudad Guzmán. México. *Situación de los jornaleros agrícolas*. CIESAS. Boletín. No. 2. Recuperado de: https://jornamex.com/textos/Boletin2_CiudadGuzman_ES.pdf

FAO (2016). *Global Diagnostic on Groundwater Governance*. 210. Retrieved from <http://www.fao.org/3/a-i5706e.pdf>

Ferrari, L. (2000). Avances en el conocimiento de la Faja Volcánica Transmexicana durante la última década. Boletín de La Sociedad Geológica Mexicana, LIII, 84–92.

Ferrari, L., Orozco-Esquivel, T., Manea, V., & Manea, M. (2012, February 5). The dynamic history of the Trans-Mexican Volcanic Belt and the Mexico subduction zone. *Tectonophysics*, Vol. 522–523, pp. 122–149. <https://doi.org/10.1016/j.tecto.2011.09.018>

Foster, S., Garduño, H., & Kemper, K. (2004). México - Los COTAS: Avances en la Gestión Participativa del Agua Subterránea en Guanajuato. In B. M. programa asociado de la GWP (Ed.), Colección de casos esquemáticos (pp. 1–16). Retrieved from http://siteresources.worldbank.org/EXTWAT/Resources/4602122-1210186345144/GWMATE_Spanish_CP_10.pdf

Foster, S., Tuinhof, A., Kemper, K., Garduño, H., & Nanni, M. (2002). Caracterización de Sistemas de Agua Subterránea conceptos clave e ideas erróneas frecuentes. Sustainable Groundwater Management: Concepts and Tools GW•MATE Briefing Note Series Gestión Sustentable Del Agua Subterránea Conceptos y Herramientas.

Garduño-Monroy, V. H., Saucedo-Girón, R., Jiménez, Z., Gavilanes-Ruiz, J. C., Cortés-Cortés, A., & Uribe-Cifuentes, R. M. (1998). La falla tamazula, límite suroriental del bloque jalisco, y sus relaciones con el complejo volcánico de Colima, México. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*.

Gibert, J., Stanford, J. A., & Danielopol, D. L. (2013). *Groundwater Ecology*. In *Groundwater Ecology*. <https://doi.org/10.2307/2404964>

Green, T. R., Taniguchi, M., & Kooi, H. (2007). Potential Impacts of Climate Change and Human Activity on Subsurface Water Resources. *Vadose Zone Journal*, 6(3), 531–532. <https://doi.org/10.2136/vzj2007.0098>

Gobierno del Estado de Jalisco. (2015). Ficha Técnica Hidrológica del municipio de Zapotlán El Grande. Comisión Estatal del Agua del Estado de Jalisco. Disponible en https://www.ceajalisco.gob.mx/doc/fichas_hidrologicas/region9/zapotlan%20el%20grande.pdf. Consultado el 8 de diciembre de 2020.

Gobierno de Zapotlán, 2020. Tercer informe de gobierno. Recuperado de <http://www.ciudadguzman.gob.mx/Documentos/Paginas/informe%20Mari.pdf>

Gobierno de Zapotlán et. al. (2021). Ficha informativa Lago de Zapotlán. Mayo 2021. Documento facilitado por el gobierno municipal, con participación de diversas dependencias gubernamentales, organizaciones académicas y sociales.

Hernández-Antonio, A., Mahlknecht, J., Tamez-Meléndez, C., Ramos-Leal, J., Ramírez-Orozco, A., Parra, R., ... Eastoe, C. J. (2015). Groundwater flow processes and mixing in active volcanic systems: The case of Guadalajara (Mexico). *Hydrology and Earth System Sciences*, 19(9). <https://doi.org/10.5194/hess-19-3937-2015>

Hernández Juárez, R. A., Martínez Rivera, L. M., Peñuela-Arévalo, L. A., & Rivera-Reyes, S. (2019). Gestión del agua subterránea en los acuíferos de la cuenca del río Ayuquila-Armería en Jalisco y Colima, México. *Región y Sociedad*, 31, e1093. <https://doi.org/10.22198/rys2019/31/1093>

Hernández-Antonio, A., Mahlknecht, J., Mora, A., Torres-Martínez, J. A., & Ramírez-Orozco, A. (2017). Geochemistry and hydrothermal contamination of the Atemajac-Toluquilla groundwater system (Guadalajara, Mexico). *Procedia Earth and Planetary Science*, 17, 822-825. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.proeps.2017.01.051>

Hernández Morales, S. (2016). *Maleza acuática en la Laguna de Zapotlán: Diagnóstico y contexto*. Gerencia Ambiental y Desarrollo Sustentable de la comisión Estatal del Agua. Presentación power point. Disponible en http://www.cusur.udg.mx/es/sites/default/files/adjuntos/05-10-16_presentacion_maleza_zapotlan_oct_2016.pdf Consultado el 8 de diciembre de 2020.

Housini F.A., Macías Macías A., Magaña González, C.R., et. al. (2015). *Cambio de uso de suelo por los invernaderos en el municipio de Zapotlán el Grande, Jalisco México: un análisis multitemporal*. Revista Ingeniantes Año 2 No. 1 Vol. 1. Instituto Tecnológico Superior de Misantla.

Hurtado-Jiménez, R., & Gardea-Torresdey, J. (2007). Evaluation of the exposure to selenium in Los Altos de Jalisco, Mexico. *Salud Pública de Mexico*, 49(4).

Hurtado-Jiménez, R, & Gardea-Torresdey, J. (2008). Contamination of drinking water supply with geothermal arsenic. <https://doi.org/10.1201/b11334-22>

Hurtado-Jiménez, Roberto, & Gardea-Torresdey, J. L. (2006). Arsenic in drinking water in the Los Altos de Jalisco region of Mexico. *Revista Panamericana de Salud Pública/Pan American Journal of Public Health*. <https://doi.org/10.1590/S1020-49892006000900004>

IAIA. (n.d.). *Risk assessment in EIA*. Retrieved from <https://www.iaia.org/wiki-details.php?ID=22>

IMEPLAN 2015. POTmet Plan de Ordenamiento Territorial Metropolitano 2015 Instituto Metropolitano de Planeación (IMEPLAN). Disponible en https://www.imeplan.mx/sites/default/files/IMEPLAN/POTmet_IIIFB-BajaRes.pdf

INEGI (2015) Encuesta intercensal de población y vivienda.

INEGI (2016). Marco censal agropecuario. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. 2016. <https://www.inegi.org.mx/datos/>

INEGI (2018) Encuesta Nacional de Ingresos y Gastos de los Hogares (ENIGH) Nueva Serie: Descripción de base de datos. Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), VII, 2018.

INEGI (2019) *Cuenca Hidrológica Laguna de Zapotlán. Humedales. Informe técnico*. Instituto Nacional de Estadística y Geografía.

INEGI (2020) Censo de población y vivienda.

IIEG. (2018). San Gabriel. Diagnóstico del Municipio. Zapopan, Jalisco: Gobierno del estado de Jalisco.

IIEG. (2018). Gómez Farías. Diagnóstico del Municipio. Zapopan, Jalisco: Gobierno del estado de Jalisco.

IIEG. (2019). Zapotlán el Grande. Diagnóstico del Municipio. Zapopan, Jalisco: Gobierno del estado de Jalisco.

IMTA (2015) Plantas de tratamiento de aguas residuales como fuentes potenciales de energías renovables para el INERE César G. Calderón Molgora Subcoordinador de Tratamiento de Aguas Residuales. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, IMTA. México 2015.

https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/197651/22_Las_PTAR_como_potenciales_fuentes_de_energia.pdf

Kachadourian Marras, A., Carrillo Rivera, J. J., & Llano-Vázquez Prada, M. (2015). El Zapotillo: herencia de conocimiento obsoleto sobre el agua (subterránea). In H. Ochoa-García (Ed.), WATERLAT-GOBACIT Network Working Papers Thematic Area Series -TA6- Basins and Hydrosocial Territories (Vol. 2). <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.1152.7281>

Koop, S. H. A., & van Leeuwen, C. J. (2017). The challenges of water, waste and climate change in cities. Environment, Development and Sustainability. <https://doi.org/10.1007/s10668-016-9760-4>

Koschke, L., Fürst, C., Frank, S., & Makeschin, F. (2012). A multi-criteria approach for an integrated land-cover-based assessment of ecosystem services provision to support landscape planning. Ecological Indicators. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2011.12.010>

Kourgialas, N. N., Karatzas, G. P., Dokou, Z., & Kokorogiannis, A. (2018). Groundwater footprint methodology as policy tool for balancing water needs (agriculture & tourism) in water scarce islands - The case of Crete, Greece. Science of the Total Environment, 615, 381–389.

<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.09.308>

Lempert, R. J., & Groves, D. G. (2010). Identifying and evaluating robust adaptive policy responses to climate change for water management agencies in the American west. Technological Forecasting and Social Change. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2010.04.007>

Lillo, J. (2008). Peligros Geoquímicos: Arsénico de Origen Natural en las Aguas. Gemm, 33. Retrieved from http://www.aulados.net/GEMM/Documentos/Peligros_geoquimicos_As/Peligros_As_2.pdf

López-Loera, H., Urrutia-Fucugauchi, J., & Alva-Valdivia, L. (2011). Estudio aeromagnético del complejo volcánico de colima, occidente de México-implicaciones tectónicas y estructurales. Revista Mexicana de Ciencias Geológicas, 28(3), 349–370.

Lopez-Loera, H., Urrutia-Fucugauchi, J., & Alva-Valdivia, L. M. (2010). Magnetic characteristics of fracture zones and constraints on the subsurface structure of the Colima Volcanic Complex, western Mexico. *Geosphere*, 6(1). <https://doi.org/10.1130/GES00204.1>

Luhr, J. F., & Carmichael, I. S. E. (1980). The Colima Volcanic complex, Mexico. Contributions to Mineralogy and Petrology. <https://doi.org/10.1007/bf00374707>

Macías, A. y Sevilla. Y. (2021). Naturaleza vulnerada. Cuatro décadas de agricultura industrializada de frutas y hortalizas en el sur de Jalisco, México (1908-2020). *Diversidades. Revista de Ciencias Sociales y Humanidades*. Vol 8. Núm. 1 (16), pp. 64-91. Recuperado de <http://www.entrediversidades.unach.mx/index.php/entrediversidades/article/view/235>

Macías, A. (2010), Zonas hortofrutícolas emergentes en México. ¿Viabilidad de largo plazo o coyuntura de corto plazo? La producción de aguacate en el Sur de Jalisco. *Estudios Sociales*. Vol. 18, núm. 36. Recuperado de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-45572010000200009

_____, (2013). Pequeños agricultores y nueva ruralidad en el occidente de México. *Cuadernos de Desarrollo Rural*, vol. 10, núm. 71, pp. 187-207. Bogotá, Colombia: Pontificia Universidad Javeriana. Recuperado de <https://www.redalyc.org/pdf/117/11729145009.pdf>

Mahlknecht, J., Steinich, B., & Navarro De León, I. (2004). Groundwater chemistry and mass transfers in the Independence aquifer, central Mexico, by using multivariate statistics and mass-balance models. *Environmental Geology*, 45(6), 781–795. <https://doi.org/10.1007/s00254-003-0938-3>

Massaro, S., Sulpizio, R., Norini, G., Groppelli, G., Costa, A., Capra, L., ... Gabrieli, A. (2020). Analysing stress field conditions of the Colima Volcanic Complex (Mexico) by integrating finite-element modelling (FEM) simulations and geological data. *Solid Earth*, 11(6). <https://doi.org/10.5194/se-11-2515-2020>

Moench, M., Burke, J., & Moench, Y. (2003). *Rethinking the Approach To Groundwater and Food Security To Groundwater*. Water Reports 24. <https://doi.org/ISSN: 9251049041>

Muñoz, C., Helena, G., Rivero, E., Gabriela, Á., Nieto, S. H., & Rivera, J. (2010). Explotación racional de acuíferos y conservación de humedales. Instituto Nacional de Ecología Semarnat, 178–179.

Mulreany, J. P., Calikoglu, S., Ruiz, S., & Sapsin, J. W. (2006). Water privatization and public health in Latin America. *Revista Panamericana de Salud Pública = Pan American Journal of Public Health*. <https://doi.org/10.1590/S1020-49892006000100004>

Muthanna, T. M., Viklander, M., Blecken, G., & Thorolfsson, S. T. (2007). *Effects of Urbanization on Groundwater*. Water Research. <https://doi.org/10.1061/9780784410783>

McCulligh C.; Beret Rodríguez M.J.; Casas Beltrán D.; Arellano García, L. A.; Vázquez Elorza, A. *Retos para la gestión del agua en los municipios del Estado de Jalisco*. CIESAS Divulgación-CIDIGLO Policy Brief Series. México 2018. Disponible en <https://occidente.ciesas.edu.mx/descargables-cidiglo/>

Michel Parra, J.G. y Cols. (2011). Lago de Zapotlán- Laguna de Zapotlán-Sitio Ramsar. Ed. Universidad de Guadalajara. 2° Ed. 2011. Cd. Guzmán, Jalisco, México.

Michel Parra J. G, Guzmán Arroyo M., Covarrubias Tovar N., Rocha Chávez, G., Espinosa Arias J.A., Barajas Martínez A, Orendáin Verduzco T., Gloria González Guerra G., Magaña Virgen M.E., Ramírez Maciel R., y Flores Sepúlveda B.Y. Ficha Informativa de los Humedales de Ramsar: Laguna de Zapotlán. Universidad Michoacana de San Nicolás de Departamento de Desarrollo Regional, Centro Universitario del Sur, Universidad de Guadalajara. 2005. Disponible en <https://rsis.ramsar.org/RISapp/files/RISrep/MX1466RIS.pdf?language=es> Consultado el 8 de diciembre de 2020.

Michel Parra, J., Lozano Montes de Oca, E., Schiaffini Aponte, R., González González, J., Rivera, R. (2014). El Emprendurismo en el humedal de la laguna de Zapotlán sitio Ramsar 1446 en Lozanob Montes de Oca, E., Madrigal Torres, B. El emprendurismo en Zapotlán el Grande y su impacto en la zona sur de Jalisco. Amaya ediciones. Guadalajara, México. Disponible en

<http://www.cusur.udg.mx/es/sites/default/files/adjuntos/6.4. 2014. el emprendurismo en el humedal de la laguna de.pdf>

Michel Parra J. Guadalupe, Rivera Ramiro, Orendain Verduzco Tomas. (2016). Diagnóstico de la situación del uso y aprovechamiento del agua potable en Zapotlán el Grande, Jalisco. Gestión integral del agua: Responsabilidad de México Primera edición, 2016.

Morgan, R. K. (2017). *Conceptualising best practice in impact assessment*. Environmental Impact Assessment Review, 66. <https://doi.org/10.1016/j.eiar.2017.06.009>

Norini, G., Capra, L., GropPELLI, G., Agliardi, F., Pola, A., & Cortes, A. (2010). Structural architecture of the Colima Volcanic Complex. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 115(12). <https://doi.org/10.1029/2010JB007649>

Norini, Gianluca, Agliardi, F., Crosta, G., GropPELLI, G., & Zuluaga, M. C. (2019). Structure of the colima volcanic complex: Origin and behaviour of active fault systems in the edifice. In *Active Volcanoes of the World*. https://doi.org/10.1007/978-3-642-25911-1_8

Novelo-Casanova, D. A. (2005). The forecasting of the 1995 Colima-Jalisco, Mexico, earthquake (Mw=8): A case history. *Geofisica Internacional*, 44(4), 341–346.

Ochoa-García, H. (Ed. . (2015). Imposición, resistencia y alternativas ante una crisis inter-regional del agua en México: proyecto El Zapotillo. In *WATERLAT-GOBACIT Network Working Papers Thematic Area Series SATCTH – TA6 – Basins and Hydrosocial Territories* (Vol. 2). Retrieved from <http://rei.iteso.mx/handle/11117/2703>

Pacheco, J. F., Bandy, W., Reyes-Dávila, G. A., Núñez-Cornú, F. J., Ramírez-Vázquez, C. A., & Barrón, J. R. (2003). The Colima, Mexico, earthquake (Mw 5.3) of 7 March 2000: Seismic activity along the southern Colima rift. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 93(4). <https://doi.org/10.1785/0120020193>

Parizi, E., Mossa Hosseini, S., Ataie-Ashtiani, B., & Simmons, C. T. (2019). Representative pumping wells network to estimate groundwater withdrawal from aquifers: Lessons from a developing country, Iran. *Journal of Hydrology*, 578, 124090. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2019.124090>

Pedrozo Acuña, A. (2020). Transparencia y agua: elementos para repensar su enfoque. *Perspectivas IMTA*. Retrieved from <https://www.gob.mx/imta/articulos/transparencia-y-agua-elementos-para-repensar-su-enfoque?idiom=es>

Peñuela, A. L., & Carrillo, R. J. J. (2013). Definición de zonas de recarga y descarga de agua subterránea a partir de indicadores superficiales: Centro-sur de la Mesa Central, México. *Investigaciones Geográficas*, 81(81), 18–32. Retrieved from http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-46112013000200003&lng=es&nrm=iso&tlng=es

Pérez-Villarreal, J., Ávila-Olivera, J. A., & Israde-Alcántara, I. (2018). Análisis de los sistemas de flujo en un acuífero perturbado por la extracción de aguas subterráneas. Caso zona Morelia-Capula, Michoacán. *Boletín de La Sociedad Geológica Mexicana*, 70(3), 675–688.

PMDG Gómez Farías 2018-2021. *Plan Municipal de Desarrollo y Gobernanza del municipio de Gómez Farias, Jalisco 2018-2021*. Disponible en https://plan.jalisco.gob.mx/sites/default/files/planesmunicipales/Gomez_Farias.pdf

PMDG San Gabriel, Jalisco 2018-2021. Plan Municipal de Desarrollo y Gobernanza 2018-2021 para Zapotlán El Grande, Jalisco. Disponible en

https://plan.jalisco.gob.mx/sites/default/files/planesmunicipales/San_Gabriel.pdf

PMDG Zapotlán El Grande, Jalisco 2018-2021. *Plan Municipal de Desarrollo y Gobernanza 2018-2021 para Zapotlán El Grande, Jalisco*. Disponible en https://plan.jalisco.gob.mx/sites/default/files/planesmunicipales/Gomez_Farias.pdf

PROETDU Río Zula Programa Regional de Ordenamiento Ecológico Territorial y Desarrollo Urbano de la cuenca del Río Zula, Jalisco. Centro de Investigaciones y Estudios Superiores en Antropología Social (CIESAS) 2018.

Puri, S., Aureli, A., & Stephan, R. M. (2008). Shared Groundwater Resources: Global Significance for Social and Environmental Sustainability. In Overexploitation and Contamination of Shared Groundwater Resources. https://doi.org/10.1007/978-1-4020-6985-7_1

Olagunju, A. O., & Gunn, J. A. E. (2015). *Selection of valued ecosystem components in cumulative effects assessment: lessons from Canadian road construction projects*. Impact Assessment and Project Appraisal, 33(3). <https://doi.org/10.1080/14615517.2015.1039382>

ONU Hábitat (2012). *Estado de las Ciudades de América Latina y el Caribe 2012, Rumbo a una nueva transición urbana*. In Exit imagen y cultura. <https://doi.org/HS/053/12S> ISBN Serie 978-92-1-133397-8

RAMSAR, Programa de conservación y manejo de la Laguna de Zapotlán. Disponible en https://semadet.jalisco.gob.mx/sites/semadet.jalisco.gob.mx/files/programa_de Conservacion_y_manejo.pdf Consultado el 8 de diciembre de 2020.

Reis, N. (2014). Coyotes, Concessions and Construction Companies: Illegal Water Markets and Legally Constructed Water Scarcity in Central Mexico. *Water Alternatives*, 7(3), 542–560.

Ringler, C., Bhaduri, A., & Lawford, R. (2013). The nexus across water, energy, land and food (WELF): Potential for improved resource use efficiency? *Current Opinion in Environmental Sustainability*. <https://doi.org/10.1016/j.cosust.2013.11.002>

Rizo-Decelis, D., Marin, A. I., & Andreo, B. (2016). *Groundwater vulnerability mapping in Guadalajara aquifers system (Western Mexico)*. EGU General Assembly 2016 Conference Abstracts, 18, EPSC2016-16684. <https://doi.org/EPSC2016-16684>

Rizo Decelis, L. D. (2017). Consideraciones sobre la calidad del agua del río Santiago (Méjico) y cartografía de vulnerabilidad a la contaminación de acuíferos en su cuenca, para una adecuada gestión y planificación hídrica (UMA Editorial). Retrieved from <https://hdl.handle.net/10630/16434>

Rodríguez-Castillo, R., & Rodríguez-Velázquez, I. (2006). Consecuencias sociales de un desastre inducido, subsidencia. Boletín de La Sociedad Geológica Mexicana, 58(2), 265–269. <https://doi.org/10.18268/BSGM2006v58n2a10>

Rodríguez, R., Morales, I., Armienta, A., Villanueva, R., & Segovia, N. (2015). Geothermal Systems of Low Temperature in Mexican Highlands: Alternative Uses and Associated Risks. Procedia Environmental Sciences. <https://doi.org/10.1016/j.proenv.2015.04.029>

Rosas Palafox, A. C. (2016). Modelo geofísico-estructural de la porción norte del graben de Colima. INSTITUTO POTOSINO DE INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA Y TECNOLÓGICA A. C.

Ruiz López, R., & Bollo Manent, M. (2018). Regionalización Físico-Geográfica (RFG) de Jalisco, México a escala 1:500, 000. Terra Digitalis, 2(2). <https://doi.org/10.22201/igg.25940694.2018.2.54> Sahuquillo, A., Custodio, E., & Llamas, M. R. (2009). La gestión de las aguas subterráneas (Segunda parte). Tecnología Del Agua.

SADER (2021). Concluida la obra civil del humedal artificial de Zapotlán El Grande. Página web, sección noticias de la Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural del Gobierno de Jalisco. 9 de febrero de 2021. Disponible en <https://sader.jalisco.gob.mx/prensa/noticia/3338>

SADER-SIAP. (2019). Servicio de Información Agralimentaria y Pesquera de la Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural. Producción Agrícola. <https://www.gob.mx/siap>

Sahuquillo, A., Custodio, E., & M. R. A. (2005). La gestión de las aguas subterráneas. *Panel Científico-Técnico de seguimiento de la política de aguas*, (1), 26.

SAPAZA 2016. Plan de Desarrollo Integral del Sistema de Agua Potable de Zapotlán. Strategos. Contrato PRODI-16/01. Diciembre de 2016.

SAPAZA 2019. *Plan de trabajo del departamento de cultura del agua 2019*. Sistema de Agua Potable de Zapotlán (SAPAZA). Disponible en la página web del organismo.

SAPAZA 2020. Información básica de servicios de agua potable y saneamiento. Documento facilitado por el organismo al equipo del proyecto por solicitud de este. Diciembre de 2020.

Scott, C. A. (2013). Electricity for groundwater use: Constraints and opportunities for adaptive response to climate change. Environmental Research Letters, 8(3), 035005. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/8/3/035005>

Scott, C. A., Dall'erba, S., & Caravantes, R. D. (2010). Groundwater rights in mexican agriculture: Spatial distribution and demographic determinants. Professional Geographer, 62(1), 1–15. <https://doi.org/10.1080/00330120903375837>

SEMADET (2018). *Plan Estatal de Manejo del Fuego en el Estado de Jalisco. Primera etapa*. Secretaría de Medio Ambiente y Desarrollo Territorial. Gobierno de Jalisco.

SEMADET (2021). *Incendios forestales*. Secretaría de Medio Ambiente y Desarrollo Territorial. Gobierno de Jalisco. <http://sigae.jalisco.gob.mx/webincendios/#default>

SEMARNAT (2021) Humedales mexicanos inscritos en la Convención de Ramsar, 2021, Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales, SEMARNAT Disponible en

[http://dgeiawf.semarnat.gob.mx:8080/ibi_apps/WFServlet?IBIF_ex=D3_BIODIV01_06&IBIC_us er=dgeia_mce&IBIC_pass=dgeia_mce&NOMBREENTIDAD=*&NOMBREANIO=*](http://dgeiawf.semarnat.gob.mx:8080/ibi_apps/WFServlet?IBIF_ex=D3_BIODIV01_06&IBIC_us er=dgeia_mce&IBIC_pass=dgeia_mce&NOMBREENTIDAD=*&NOMBREANIO=*&)

Serpa, L., Smith, S., Katz, C., Skidmore, C., Sloan, R., & Pavlis, T. (1992). A geophysical investigation of the southern Jalisco block in the State of Colima, Mexico. *Geofisica Internacional*.

SIMAR Lagunas, 2015. Programa Intermunicipal para la Prevención y Gestión Integral de Residuos. Sistema Intermunicipal de Manejo de Residuos Lagunas. México, 2015.

Sophocleous, M. (2004). GROUNDWATER RECHARGE. In and E. J. U. Luis Silveira, Stefan Wohnlich (Ed.), *Encyclopedia of Life Support Systems (EOLSS)*. Retrieved from <http://www.eolss.net>

Spica, Z., Perton, M., & Legrand, D. (2017). Anatomy of the Colima volcano magmatic system, Mexico. *Earth and Planetary Science Letters*, 459. <https://doi.org/10.1016/j.epsl.2016.11.010>

Teixeira, J., Chaminé, H. I., Carvalho, J. M., Pérez-Alberti, A., & Rocha, F. (2013). Hydrogeomorphological mapping as a tool in groundwater exploration. *Journal of Maps*, 9(2), 263–273. <https://doi.org/10.1080/17445647.2013.776506>

Tellez Foster, E., Dinar, A., & Rapoport, A. (2018). Comparing Alternative Policies for Modification of Energy Subsidies: The Case of Groundwater Pumping for Irrigation. *Journal of Hydrology*. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2018.08.071>

Terriquez, M.E. y Housini F.A. (2019). Impacto ambiental del uso de plaguicidas en la producción agrícola en Zapotlán, el Grande, Jalisco. III Congreso Nacional de Recursos Naturales, Sistemas de Producción e Innovación Tecnológica.

Tuinhof, A., Dumars, C., Foster, S., Kemper, K., Garduño, H., & Nanni, M. (2002). Groundwater Management: Gestión Sustentable del Agua and Tools Conceptos y Herramientas. Requerimientos de Monitoreo Del Agua Subterránea Para Manejar La Respuesta de Los Acuíferos y Las Amenazas a La Calidad de Agua.

Tuinhof, A., Foster, S., Kemper, K., Garduño, H., & Nanni, M. (2002). Requerimientos de Monitoreo del agua subterránea para manejar la respuesta de acuíferos y las amenazas a la calidad del agua. In World Bank (Ed.), *Gestión sustentable del agua subterránea* (pp. 1–10). Retrieved from http://siteresources.worldbank.org/INTWRD/Resources/GWMATE_Spanish_BN_09.pdf

UN-Water. (2012). WWDR4: Managing Water under Uncertainty and Risk. In THE UNITED NATIONS WORLD WATER DEVELOPMENT REPORT 4.

UNESCO. (2016). Informe Mundial sobre Ciencias Sociales: Afrontar el reto de las desigualdades y trazar vías hacia un mundo justo. <http://unesdoc.unesco.org/images/0024/002459/245995s.pdf>

Urrutia-Fucugauchi, J., Flores-Ruiz, J. H., Bandy, W. L., & Mortera-Gutiérrez, C. A. (1999). Crustal structure of the Colima rift, western Mexico: Gravity models revisited. *Geofisica Internacional*, 38(4). <https://doi.org/10.22201/igeof.00167169p.1999.38.4.503>

Urrutia, F. J., & Rosas, E. J. (1994). Paleomagnetic study of the eastern sector of Chapala Lake and implications for the tectonics of west-central Mexico. *Tectonophysics*, 239(1–4), 61–71.

Van der Gun, J. (2012). Groundwater and Global Change: Trends, Opportunities and Challenges | International Groundwater Resources Assessment Centre.

Vázquez del Mercado Arribas, R., & Lambarri Beléndez, J. (2017). Huella Hídrica en México: análisis y perspectivas. In M. Jiutepec & Instituto Mexicano de Tecnología del agua (Eds.), *Instituto Mexicano de Tecnología del Agua* (Vol. 91). Retrieved from <https://www.gob.mx/imta/documentos/huella-hidrica-en-mexico-analisis-y-perspectivas>

Wester, P., Hoogesteger, J., & Vincent, L. (2009). Local IWRM organizations for groundwater regulation: The experiences of the Aquifer Management Councils (COTAS) in Guanajuato, Mexico. *Natural Resources Forum*, 33(1), 29–38. <https://doi.org/10.1111/j.1477-8947.2009.01206.x>

Winter, T. C., Harvey, J. W., Franke, O. L., & Alley, W. M. (1998). Ground Water Surface Water and A Single Resource. In *USGS Publications*. Retrieved from <http://pubs.usgs.gov/circ/circ1139/pdf/circ1139.pdf>

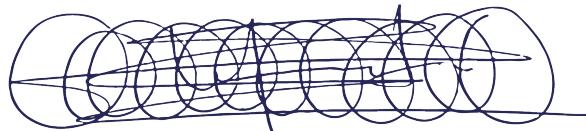
World Health Organization. (2016). WORLD HEALTH STATISTICS - MONITORING HEALTH FOR THE SDGs. World Health Organization. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>

Zobin, V. M., González-Amezcu, M., & Reyes-Dávila, G. A. (2002). Seismotectonic deformation of the volcanic edifice prior to the 1998 lava eruption of Volcán de Colima, México. *Bulletin of Volcanology*, 64(5). <https://doi.org/10.1007/s00445-002-0218-1>

Para publicación y observancia, Promulgo el presente Plan Maestro de la Cuenta Endorreica de Zapotlán El Grande, Jalisco, a los 03 tres días del mes de octubre de 2023.



C. ALEJANDRO BARRAGÁN SÁNCHEZ
Presidente Municipal



MTRA. CLAUDIA MARGARITA ROBLES GÓMEZ
Secretaria de Gobierno

C. Regidora Yuritzi Alejandra Hermosillo Tejeda: rúbrica. **C. Regidor Ernesto Sánchez Sánchez:** rúbrica. **C. Regidora Diana Laura Ortega Palafox:** rúbrica. **C. Regidor Víctor Manuel Monroy Rivera:** rúbrica. **C. Regidor Jesús Ramírez Sánchez:** rúbrica. **C. Regidora Marisol Mendoza Pinto:** rúbrica. **C. Regidor Jorge de Jesús Juárez Parra:** rúbrica. **C. Regidora Eva María de Jesús Barreto:** rúbrica. **C. Regidor Raúl Chávez García:** rúbrica. **C. Regidor Edgar Joel Salvador Bautista:** rúbrica. **C. Regidora Tania Magdalena Bernardino Juárez:** rúbrica. **C. Regidora Mónica Reynoso Romero:** rúbrica. **C. Regidora Sara Moreno Ramírez:** rúbrica. **C. Síndica Magali Casillas Contreras:** rúbrica. -----

La que suscribe MTRA. CLAUDIA MARGARITA ROBLES GÓMEZ, Secretaria de Gobierno del H. Ayuntamiento Constitucional del Municipio de Zapotlán el Grande, Jalisco, con las facultades que me confiere el artículo 63 de la Ley de Gobierno y la Administración Pública Municipal del Estado de Jalisco, por el presente hago constar y

CERTIFICO-----

Que con fecha 03 de octubre del 2023, fue oficialmente publicado en la Gaceta Municipal de Zapotlán, órgano oficial informativo del Ayuntamiento; el Plan Maestro de la Cuenca Endorreica de Zapotlán el Grande, Jalisco, para que de conformidad con lo que establece el tercer resolutivo, se levanta la presente certificación para los efectos legales a que haya lugar. -----

A T E N T A M E N T E

"2023, AÑO DEL BICENTENARIO DEL NACIMIENTO DEL ESTADO LIBRE Y SOBERANO DE JALISCO"

"2023, AÑO DEL 140 ANIVERSARIO DEL NATALICIO DE JOSÉ CLEMENTE OROZCO"

Ciudad Guzmán, Municipio de Zapotlán el Grande, Jalisco, a 03 de octubre de 2023


MTRA. CLAUDIA MARGARITA ROBLES GOMEZ
Secretaria de Gobierno



Gobierno Municipal
de Zapotlán el Grande, Jal.
2021-2024

La presente fue publicada en la Gaceta Municipal de Zapotlán el Grande.

Correspondiente al día 03 de octubre del año 2023

En Ciudad Guzmán, municipio de Zapotlán el Grande, Jalisco.

El presente ejemplar fue publicado con un tiraje de 20 ejemplares, el día 03 de octubre del año 2023, por el
área de Diseño Gráfico, adjunto a la Dirección de Prensa y Publicidad del H. Ayuntamiento de Zapotlán el
Grande, Jalisco; y fueron entregados para su distribución a la Oficina de Secretaría de Gobierno