



IV. CARACTERIZACIÓN



IV. CARACTERIZACIÓN

IV. CARACTERIZACIÓN.....	3
4.1. Introducción.....	3
4.2. Marco Físico del área de estudio	9
4.2.1. Ubicación geográfica	9
4.2.1.1. Zona de estudio Alto Atoyac	20
4.2.1.2. Zona de estudio Bajo Atoyac	22
4.2.1.3. Zona de estudio Río Salado.....	24
4.2.2. Clima.....	28
4.2.2.1. Clima en el área de estudio.....	28
4.2.2.2. Clima en Zona de estudio Alto Atoyac.....	30
4.2.2.3. Clima en Zona de estudio Bajo Atoyac.....	31
4.2.2.4. Clima en Zona de estudio Río Salado.....	32
4.2.3. Temperatura	34
4.2.3.1. Temperatura en el área de estudio	34
4.2.3.2. Temperatura en Zona de estudio Alto Atoyac	35
4.2.3.3. Temperatura en Zona de estudio Bajo Atoyac	36
4.2.3.4. Temperatura en Zona de estudio Río Salado	37
4.2.4. Precipitación.....	38
4.2.4.1. Precipitación en área de estudio.....	38
4.2.4.2. Precipitación en Zona de estudio Alto Atoyac.....	39
4.2.4.3. Precipitación en la Zona de estudio Bajo Atoyac	40
4.2.4.4. Precipitación en la Zona de estudio Río Salado	41
4.2.5. Evapotranspiración en el área de estudio.....	42
4.2.5.1. Evapotranspiración en Zona de estudio Alto Atoyac	43
4.2.5.2. Evapotranspiración en Zona de estudio Bajo Atoyac.....	44
4.2.5.3. Evapotranspiración en Zona de estudio Río Salado.....	45
4.2.5.4. Vientos	46
4.2.6. Eventos extraordinarios	47
4.2.7. Cambio climático	48
4.2.8. Uso de suelo y vegetación.....	51
4.2.8.1. Uso de suelo y vegetación en Zona de estudio Alto Atoyac	54
4.2.8.2. Uso de suelo y vegetación en Zona de estudio Bajo Atoyac	57
4.2.8.3. Uso de suelo y vegetación en Zona de estudio Río Salado.....	59
4.2.9. Cambio de uso de suelo y vegetación (CUSV) 2009 vs. 2016.....	62
4.2.9.1. Cambio de uso de suelo y vegetación (CUSV) 2009 vs. 2016 en Zona de estudio Alto Atoyac	63
4.2.9.2. Cambio de uso de suelo y vegetación (CUSV) 2009 vs. 2016 en Zona de estudio Bajo Atoyac.....	66
4.2.9.3. Cambio de uso de suelo y vegetación (CUSV) 2009 vs. 2016 en Zona de estudio Río Salado	68
4.2.10. Cambios del Uso del Suelo en Terrenos Forestales (CUSTF)	70
4.2.11. Pérdida de suelo	72
4.2.11.1. Resultados generados	72
4.2.12. Áreas con importancia biológica y ecológica.....	77
4.2.12.1. Regiones Terrestres Prioritarias (RTP)	77
4.2.12.2. Áreas de Importancia para la Conservación de Aves (AICA)	78
4.2.12.3. Áreas Naturales Protegidas (ANP) y sitios prioritarios	80
4.2.12.3.1. Monumento Natural Yagul.....	80
4.2.12.3.2. Parque Nacional Benito Juárez	81
4.2.12.3.3. Zona de Reserva Ecológica y Área Natural Protegida	82
4.2.12.3.4. Parque Estatal Cerro del Fortín.....	82
4.2.12.3.5. Parque Estatal Hierve el Agua.....	83
4.2.12.3.6. Áreas Destinadas Voluntariamente a la Conservación (ADVC)	84
4.2.13. Flora y fauna.....	86

4.2.13.1. Justificación.....	86
4.2.13.2. Objetivo general.....	87
4.2.13.3. Zonas de análisis.....	87
4.2.13.4. Metodología de levantamiento de información.....	89
4.2.13.5. Resultados.....	91
4.2.13.5.1. Parámetros fisicoquímicos del agua.....	91
4.2.13.5.2. Listados florísticos y faunísticos.....	94
4.2.13.5.2.1. Río Salado.....	95
4.2.13.5.2.2. Zona Alto y Bajo Atoyac.....	108
4.2.13.6. Análisis.....	124
4.2.14. Áreas potenciales de infiltración en las zonas de estudio.....	127
4.2.14.1 Resultados.....	127
4.2.15. Edafología.....	132
4.2.15.1. Tipos de suelo en Zona de estudio Alto Atoyac.....	134
4.2.15.2. Tipos de suelo en Zona de estudio Bajo Atoyac.....	136
4.2.15.3. Tipos de suelo en Zona de estudio Río Salado.....	137
4.2.16. Geohidrología.....	139
4.2.16.1. Antecedentes.....	139
4.2.16.2. Localización geográfica del acuífero.....	140
4.2.16.3. Disponibilidad del agua subterránea en el Acuífero de los Valles Centrales (AVC).....	140
4.2.17. Geología.....	144
4.2.17.1. Bancos de materiales.....	146
4.2.17.2. Susceptibilidad de origen geológico en el área de estudio.....	147
4.2.17.3. Eventos históricos extremos.....	150
4.2.18. Fisiografía.....	151
4.2.18.1. Sistema de topoformas.....	152
4.2.18.1.1. Sistema de topoformas en Zona de estudio Alto Atoyac.....	154
4.2.18.1.2. Sistema de topoformas en Zona de estudio Bajo Atoyac.....	155
4.2.18.1.3. Sistema de topoformas en Zona de estudio Río Salado.....	156
4.2.19. Hidrografía.....	157
4.2.19.1. Balance de aguas superficiales.....	161
4.2.19.2. Resultados.....	162
4.2.19.3. Aprovechamientos por tipo y uso.....	163
4.2.20. Salud e higiene.....	168
4.2.21. Características del entorno urbano.....	177
4.2.22. Aspectos sociales.....	179
4.2.23. Características de las vías de comunicación en el área de estudio.....	181
4.2.24. Actividades económicas del área de influencia del estudio y niveles de ingreso de la población.....	184
4.2.25. Análisis oferta-demanda agua potable y aportación agua residual.....	187
4.2.25.1. Proyección poblacional.....	187
4.2.26. Estimación de la demanda de agua en el área de estudio.....	190
4.2.27. Capacidad de asimilación de contaminantes de los cauces.....	195

IV. CARACTERIZACIÓN

4.1. Introducción

Los ríos constituyen vías de circulación de agua, así como de elementos indispensables para el desarrollo de cualquier forma de vida. Establecen conexiones constantes entre los ambientes naturales y los diversos entornos sociales existentes en el territorio. Los ríos están incluidos en un espacio denominado cuenca, en el que los procesos químicos, físicos, de transporte y erosión que ocurren, están determinados por la magnitud, frecuencia, duración, momento de ocurrencia y la tasa de cambio del caudal que circula en ellos.

Los procesos de los afluentes pueden ser modificados por causas antrópicas como el uso inadecuado del agua y el mal manejo de las tierras, la deforestación, la fragmentación de los ecosistemas derivados de los cambios no planificados del uso de la tierra, la descarga de aguas residuales y residuos sólidos directo en los ríos y el crecimiento urbano. Por otro lado, el desarrollo de infraestructura carretera y de presas, embalses, canales, drenes, diques y acueductos que las acompañan con una inadecuada operación (Garrido *et al.*, 2010). Estas condiciones han traído problemas de disponibilidad, calidad y temporalidad del agua en las cuencas rompiendo el equilibrio del medio ambiente y en consecuencia afectado la calidad de vida de los seres humanos (Nilsson y Malm Renöfält, 2008).

Los procesos de alteración en el caudal y flujo de los ríos, han causado problemas severos en el área de este estudio, inmersa en la Región de Valles Centrales de Oaxaca, donde la relación entre la población y los ríos, se caracteriza por una actitud social carente de respeto, un uso inadecuado del patrimonio natural y el rompimiento de los equilibrios naturales (INSO, 2014).

Se desconoce mucho sobre la condición actual del ciclo hidrológico en esta región, por lo que es necesario realizar un análisis considerando una unidad básica de planificación, manejo y gestión en el desarrollo de acciones que estén dirigidas a la reducción y prevención de la vulnerabilidad tanto ambiental como social. Esta unidad, la cuenca, esta deber ser delimitada con un perímetro que permite la identificación de los factores que están condicionando el ciclo hidrológico a una escala precisa, entendible y operable.

En este apartado se analizan las condiciones ambientales presentes en el *área de estudio*, y para una mejor visualización de la condición de las características bióticas, bióticas, así como político-administrativa de los 38 municipios considerados en el estudio, el área de estudio se subdividió en tres *zonas de estudio*, Alto Atoyac, Bajo Atoyac y Salado. Lo que permitió realizar un análisis más específico de la información tanto consultada como la generada en el estudio.

Se presenta la descripción de los diferentes usos asignados al suelo dentro del área de estudio donde, de acuerdo a la información generada por INEGI, el uso de mayor extensión es el asignado a la agricultura de temporal anual y un comparativo entre el uso de suelo presente en el área de estudio de la serie IV y la serie VI de INEGI, el cual muestra el visible incremento que los asentamientos humanos han tenido en un lapso de tan sólo siete años. Con el fin de entender los procesos de forma espacial, así como temporal se describe el Cambio del Uso del Suelo en Terrenos Forestales ocurrido en el periodo de la década de los 70 a los 90, un análisis retrospectivo para comprender la situación actual de los terrenos forestales en el área de estudio. El cambio de uso de suelo natural o rural a uso urbano suele producir transformaciones que ocasionan su degradación, pérdida de materia orgánica, contaminación y erosión entre otros (Siebe y Cram, 2015). Dada la importancia de conocer la situación de este elemento se calculó la pérdida de suelo producida dentro del área de estudio con base en la información de la serie VI de INEGI, se encontraron diferentes clases de erosión, siendo la de menor extensión la clase "muy severa".

Se realizó la descripción de las áreas, presentes en el área de estudio, consideradas de importancia biológica y ecológica por la presencia de flora y fauna que proporcionan servicios ambientales a la población.

Se realizó un inventario de la flora y fauna observada en situ en los recorridos hechos en los meses de febrero y marzo del 2021. Se encontraron tres especies que forman parte del listado de la NOM-059-SEMARNAT, de las cuales una está sujeta a protección especial (*Kinosternon integrum*). Se midieron parámetros físicoquímicos del agua y se evaluó su calidad a en términos biológicos a través de la evaluación de bioindicadores. Se identificó una especie de carácter endémico para la Región de Valles Centrales, *Profundulus oaxacae*, la cual se encuentra en peligro de extinción a pesar de no formar parte de la NOM-059-SEMARNAT.

Como parte de los efectos del cambio de uso de suelo natural o rural a uso urbano puede observarse una disminución de la capacidad de infiltración ocasionada por la impermeabilización que los materiales propios del desarrollo urbano ocasionan impidiendo que las aguas superficiales puedan recargarse con la precipitación que cae sobre el área de estudio. Por esta razón se estimaron los potenciales de infiltración presentes en las tres zonas de estudio, encontrando que las zonas de potencial alto son muy reducidas. También se presenta información relevante sobre las características que presenta el Acuífero de Valles Centrales.

Sin embargo, el trabajo basado en cuencas requiere de seleccionar y delimitar información que tradicionalmente está organizada por unidades territoriales definidas administrativa o políticamente. Para desarrollar este plan se integró la información recopilada en las fuentes oficiales disponibles y trabajos desarrollados por instituciones de la Academia y la Sociedad Civil a nivel de cuenca y cuando no fue posible se usaron los datos municipales. Los instrumentos técnicos en los que se basó el desarrollo del trabajo, entre otros elementos, fueron el Programa Estatal del Cambio Climático (PECC), Estrategia para la Conservación y el Uso Sustentable de la Biodiversidad del Estado de Oaxaca (ECUSBEO), Plan Hídrico Estatal (CEA), Programa de Modernización del Sector Agua y Saneamiento del Estado de Oaxaca (MAS Oaxaca), la Constitución de los Estados Unidos Mexicanos, Ley General de Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente (LGEEPA), Ley de Aguas Nacionales (LAN), Planes de Desarrollo Municipales de la Secretaría de las Infraestructuras y el Ordenamiento Territorial Sustentable (SINFRA), entre muchos otros.

Cabe mencionar que no todos los municipios, dentro del área de estudio, de los 38 comprendidos en el estudio, cuentan con un Plan de Desarrollo Municipal actualizado y algunos no lo han desarrollado aún. De los 38 municipios considerados en el Plan Integral, 21 cuentan con su plan actualizado, 16 lo tienen en proceso de revisión y un municipio no lo ha entregado (Gobierno del Estado de Oaxaca, s. f. Disponible en: <http://sisplade.oaxaca.gob.mx/mun/>), como se muestra en el siguiente cuadro.

Cuadro 4.1. Estatus del Plan de Desarrollo de los Municipios considerados en el estudio.

Municipio	Estatus del Plan Municipal de Desarrollo actual	Cuenta con Plan de Desarrollo Municipal del Período	Disponible en
Ánimas Trujano	N/E	2014-2016	http://sisplade.oaxaca.gob.mx/mun/PMD.aspx?idMun=174
Guadalupe Etla	P/R	2014-2016	http://sisplade.oaxaca.gob.mx/mun/PMD.aspx?idMun=33
Ciénega de Zimatlán	A	2019-2021	http://sisplade.oaxaca.gob.mx/mun/PMD.aspx?idMun=13
Magdalena Apasco	P/R	2014-2016	http://sisplade.oaxaca.gob.mx/mun/PMD.aspx?idMun=45
Nazareno Etla	P/R		http://sisplade.oaxaca.gob.mx/mun/PMD.aspx?idMun=63
Oaxaca de Juárez	A	2019-2020	http://sisplade.oaxaca.gob.mx/mun/PMD.aspx?idMun=67
Reyes Etla	A	2020-2022	http://sisplade.oaxaca.gob.mx/mun/PMD.aspx?idMun=77
Rojas de Cuauhtémoc	A	2014-2016	http://sisplade.oaxaca.gob.mx/mun/PMD.aspx?idMun=78
San Agustín de las Juntas	P/R	2017-2019	http://sisplade.oaxaca.gob.mx/mun/PMD.aspx?idMun=83

Municipio	Estatus del Plan Municipal de Desarrollo actual	Cuenta con Plan de Desarrollo Municipal del Período	Disponible en
San Andrés Zautla	P/R	2017-2018	http://sisplade.oaxaca.gob.mx/mun/PMD.aspx?idMun=102
San Antonio de la Cal	P/R		http://sisplade.oaxaca.gob.mx/mun/PMD.aspx?idMun=107
San Bartolo Coyotepec	A	2020-2022	http://sisplade.oaxaca.gob.mx/mun/PMD.aspx?idMun=115
San Francisco Telixtlahuaca	A	2019-2021	http://sisplade.oaxaca.gob.mx/mun/PMD.aspx?idMun=150
San Jacinto Amilpas	A	2019-2021	http://sisplade.oaxaca.gob.mx/mun/PMD.aspx?idMun=157
San Juan Guelavía	P/R	2014-2016	http://sisplade.oaxaca.gob.mx/mun/PMD.aspx?idMun=197
San Lorenzo Cacaotepec	A	2020-2022	http://sisplade.oaxaca.gob.mx/mun/PMD.aspx?idMun=227
San Pablo Huitzo	A	2019-2021	http://sisplade.oaxaca.gob.mx/mun/PMD.aspx?idMun=294
San Pablo Huixtepec	P/R		http://sisplade.oaxaca.gob.mx/mun/PMD.aspx?idMun=295
San Pablo Villa de Mitla	P/R	2019-2021	http://sisplade.oaxaca.gob.mx/mun/PMD.aspx?idMun=298
San Sebastián Abasco	A	2020-2022	http://sisplade.oaxaca.gob.mx/mun/PMD.aspx?idMun=343
San Sebastián Tutla	P/R	2014-2016	http://sisplade.oaxaca.gob.mx/mun/PMD.aspx?idMun=350
Santa Ana Zegache	A	2019-2021	http://sisplade.oaxaca.gob.mx/mun/PMD.aspx?idMun=360
Santa Catarina Quiané	P/R		http://sisplade.oaxaca.gob.mx/mun/PMD.aspx?idMun=369
Santa Cruz Amilpas	A	2019-2021	http://sisplade.oaxaca.gob.mx/mun/PMD.aspx?idMun=375
Santa Cruz Papalutla	P/R	2014-2016	http://sisplade.oaxaca.gob.mx/mun/PMD.aspx?idMun=380
Santa Cruz Xoxocotlán	P/R		http://sisplade.oaxaca.gob.mx/mun/PMD.aspx?idMun=385
Santa Lucía del Camino	A	2019-2021	http://sisplade.oaxaca.gob.mx/mun/PMD.aspx?idMun=390
Santa María Atzompa	P/R		http://sisplade.oaxaca.gob.mx/mun/PMD.aspx?idMun=399
Santa María Coyotepec	A	2020-2022	http://sisplade.oaxaca.gob.mx/mun/PMD.aspx?idMun=403
Santa María del Tule	A	2020-2022	http://sisplade.oaxaca.gob.mx/mun/PMD.aspx?idMun=409
Santa María Guelacé	P/R	2014-2016	http://sisplade.oaxaca.gob.mx/mun/PMD.aspx?idMun=411
Santiago Suchilquitongo	P/R		http://sisplade.oaxaca.gob.mx/mun/PMD.aspx?idMun=483
Soledad Etla	A	2019-2021	http://sisplade.oaxaca.gob.mx/mun/PMD.aspx?idMun=539
Tlacolula de Matamoros	A	2019-2021	http://sisplade.oaxaca.gob.mx/mun/PMD.aspx?idMun=551
Tlaxiaco de Cabrera	A	2020-2022	http://sisplade.oaxaca.gob.mx/mun/PMD.aspx?idMun=553
Villa de Etla	A	2019-2021	http://sisplade.oaxaca.gob.mx/mun/PMD.aspx?idMun=338
Villa de Zaachila	A	2019-2021	http://sisplade.oaxaca.gob.mx//BM_SIM_Services/PlanesMunicipales/2019_2021/565.pdf
Zimatlán de Álvarez	A	2019-2021	http://sisplade.oaxaca.gob.mx/mun/PMD.aspx?idMun=570

A= Actualizado; P/R= En proceso de revisión; N/E= No entregado.

No se ha tenido acceso a los planes de manejo de diversa índole en relación a algunos temas de estudio, como un plan de manejo ambiental, plan de manejo de residuos sólidos, plan de manejo de residuos peligrosos, plan de manejo forestal, entre otros. La información ha sido solicitada a las instancias pertinentes, estando a la espera de contar con información oficial y actualizada al respecto. De la misma manera, el Programa de Ordenamiento Ecológico Regional del Territorio del Estado de Oaxaca (POERTEO) no se encuentra disponible para su consulta.

Por otro lado, es pertinente mencionar que los esfuerzos enfocados en la conservación y restauración del ciclo hidrológico en las zonas de estudios Alto y Bajo Atoyac y Salado requieren un impulso común y una articulación entre los diferentes actores involucrados. Los actores principales son grupos organizados con determinadas facultades de índole oficial y es indispensable que los usuarios, las autoridades agrarias, municipales, estatales y federales, así como Organismos de la Sociedad Civil (CCRAYS, 2016), construyan una colaboración multidisciplinaria e interinstitucional con una visión integral del manejo de cuencas, así se puede asegurar que los instrumentos de gestión y administración se desarrollen de manera eficiente para contribuir al saneamiento de los Ríos Atoyac y Salado.

Dentro de los actores que su presencia destaca en las zonas de estudio se encuentran los enlistados a en el siguiente cuadro:

Cuadro 4.2. Principales actores en las Zonas de estudio.

Organismo	Nivel de intervención
Comisión Nacional de Derechos Humanos (CNDH)	Federal
Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP)	Federal
Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO)	Federal
Comisión Nacional del Agua (CONAGUA)	Federal y estatal
Secretaría del Medio Ambiente, Energías y Desarrollo Sustentable (SEMAEDESOS)	Estatal
Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT)	Federal
Instituto Nacional de Antropología e Historia (INAH)	Federal
Comisión Nacional de Derechos Humanos (CNDH)	Federal y estatal
Secretaría de Turismo (SECTUR)	Federal y estatal
Fondo Mundial para la Naturaleza (WWF)	Nacional
Comisión Estatal del Agua (CEA)	Estatal
Consejo de Cuenca de la Costa de Oaxaca	Estatal en la Región Pacífico Sur
Gobierno del Estado	Estatal
Instituto de la Naturaleza y Sociedad de Oaxaca (INSO)	Estatal
Foro Oaxaqueño del Agua (FOA)	Estatal
Litigio Estratégico Indígena A. C.	Estatal
Coordinadora de Pueblos Unidos por el Cuidado y Defensa del Agua (COPUDA)	Valles Centrales
Centro de Derechos Indígenas Flor y Canto A.C	Valles Centrales
Centro de Apoyo al Movimiento Popular Oaxaqueño A.C. (CAMPO A.C).	Valles Centrales
Comité Técnico de Aguas Subterráneas (COTAS)	Acuífero de Valles Centrales
Comisión de Cuenca de los Ríos Atoyac y Salado (CCRAYS)	Subcuenca de los Ríos Atoyac y Salado
Presidencia Municipal	Municipal
Agencia Municipal	Municipal
Consejo Honorario de Participación Ciudadana. Comité de Desarrollo Urbano y Medio Ambiente (CHPC)	Municipal
Comisariado ejidal o de bienes comunales	Núcleo ejidal o Comunal
Amigos del Atoyac A.C.	Zona Metropolitana de Oaxaca

Existen otras organizaciones involucradas en la conservación, principalmente, del Río Atoyac, que han desarrollado diversas acciones a lo largo de años de colaboraciones de carácter interinstitucional e interdisciplinario. Dentro de las acciones más significativas en materia de agua se encuentran a los siguientes actores involucrados, entre otros:

- CONAGUA

Es un organismo administrativo desconcentrado de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), creado en 1989, cuya responsabilidad es administrar, regular, controlar y proteger las aguas nacionales en México. Su autoridad está facultada para administrar el agua en cauces y acuíferos de propiedad nacional, así como la regulación de su uso mediante el otorgamiento de concesión y permisos de construcción y descarga en estos cuerpos de agua, de igual manera financia

la construcción de infraestructura para el uso y aprovechamiento de aguas de uso público urbano y agrícola y de la infraestructura para el saneamiento de las aguas residuales.

- CEA

- 2021

Con recursos provenientes de orden federal y estatal se comprometió la ejecución de dos obras de infraestructura hidráulica para agua potable, 1 obra más en materia de drenaje sanitario y la regularización del predio donde se ubica el cárcamo de bombeo de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) de la ciudad de Oaxaca y Municipios conurbados.

Regularización del predio del cárcamo de bombeo de la PTAR ubicada en el ejido Ánimas Trujano, Centro, Oaxaca, así como la construcción del Sistema de Agua Potable de San Pedro y San Pablo Ayutla.

Construcción del sistema de agua potable en una colonia del Municipio de la Villa de Zaachila, Oax.

- 2020

Oaxaca incluyente con desarrollo social, eje I del Plan Estatal de Desarrollo (PED 2016-2022), cuyo objetivo es mejorar la calidad de vida y garantizar el acceso a los derechos sociales de toda la población, en seguimiento a éste y para garantizar el acceso a los servicios de agua potable y saneamiento básico en las zonas rurales y urbanas de las 8 regiones del Estado de Oaxaca, así como el adecuado tratamiento de las aguas residuales, reúso y/o disposición final, metas y acciones establecidas en la Comisión Estatal del Agua para el año 2020.

- 2019

Con recursos de diversas fuentes de financiamiento de orden federal y estatal se comprometió la ejecución de obras de infraestructura hidráulica, 1 equipo hidroneumático para desazolve de drenaje sanitario, estudios y proyectos para la integración de expedientes técnicos con los cuales se podrá construir y/o ampliar sistemas de agua potable, drenaje sanitario y plantas de tratamiento de aguas residuales en el transcurso de los siguientes ejercicios presupuestales. Se realizaron acciones en materia de capacitación, instalación de equipos de desinfección y entrega de químicos desinfectantes de agua para consumo humano que contribuyen a disminuir la transmisión de enfermedades de origen hídrico.

Acciones de sustentabilidad hídrica, proyectos de servicios ambientales en las comunidades de Ejido Donají, Tlaxitac de Cabrera, San Pablo Villa de Mitla, Villa de Díaz Ordaz y San Juan Bautista Guelache; así como proyectos de gestión sostenible en ambientes costeros enfocados en brindar servicios ecosistémicos de calidad.

Formalización con el Organismo de Cuenca Pacífico Sur de la Comisión Nacional del Agua, los anexos de ejecución y técnicos de los apartados Rural, Urbano, Tratamiento de Aguas Residuales y Agua Limpia.

- COPUDA

Organización conformada por comunidades indígenas de los Valles Centrales de Oaxaca que han defendido su acceso al agua para los usos agrícolas y han confrontado los usos inadecuados y desmedidos de las actividades mineras y refresqueras en la región.

La COPUDA desarrolló un modelo “hidrosocial” para el beneficio comunitario a través de la construcción de obras para la captación de agua de lluvia, tales como retenes, ollas y pozos de absorción, aprovechando los relieves del territorio, la gravitación y la calidad de los suelos, estudios para la velocidad en el desplazamiento del agua y su irradiación benéfica en los suelos. Lo anterior lo lograron conciliando el saber ancestral de las comunidades con el ejercicio de fundamentos científicos con lo que lograron la recuperación del nivel del agua subterránea de la región en tan solo 10 años. Con este proceso, a pesar de un entorno desfavorable, se desarrolló y consolidó un innovador sistema comunitario de uso y gestión del agua que ha mostrado ser altamente efectivo, ejemplo a seguir tanto en el país como en el resto del mundo.

Por otro lado, en alianza con Flor y Canto A. C. participaron en la lucha para obtener una revisión del Decreto de Veda de 1967. Lograron que se emitiera una resolución en la que el proceso de Consulta indígena comprende cinco Etapas: 1. Acuerdos previos, 2. Etapa informativa, 3. Etapa deliberativa, 4. Etapa consultiva, y 5. Etapa de ejecución y seguimiento de los acuerdos.

- Flor y Canto A. C.

El Centro de Derechos Indígenas Flor y Canto A. C. es una organización civil oaxaqueña enfocada en promover la identidad cultural, autonomía y capacidad autogestora de los pueblos indígenas. En los últimos años ha trabajado en la defensa de las comunidades para la conservación de sus recursos especialmente en los derechos al agua. Entre 2009 y 2012, en alianza con Coordinadora de Pueblos Unidos por el Cuidado y Defensa del Agua (COPUDA) interpuso una serie de recursos jurídicos buscando la revisión del Decreto de Veda de 1967. En un esfuerzo de 5 años comunidades de Valles Centrales consiguieron que un tribunal instruyera a la CONAGUA a que implemente un proceso de consulta a los pueblos indígenas afectados con el fin de incluir su voz y su posición con respecto a dicho decreto, y como parte del proceso para determinar si procede la modificación del decreto en cuestión.

- FOA

Espacio de información y concertación plural y multidisciplinaria, cuyo objetivo es reunir a los diferentes órdenes de gobierno, organismos de la sociedad civil, representantes académicos y sociedad en general, que se interesan en participar en los esfuerzos para atender las problemáticas en materia de agua en la región de Valles Centrales de Oaxaca.

Este espacio ha logrado, a través del ejercicio de asambleas, la generación de acuerdos y compromisos para la protección del entorno natural, la participación y compromiso social en torno a las cuencas hidrológicas de los Valles Centrales de Oaxaca, resolución de problemáticas institucionales, propuestas de regulaciones legales en materia ambiental, asesorías a las instituciones estatales y organizaciones no gubernamentales entre otras acciones.

- INSO

- El Pedregal

El Pedregal es un proyecto integral desarrollado como un centro demostrativo de sustentabilidad en el Municipio de San Andrés Huayapam. En él se realizan trabajos para la regeneración de la cañada “El Pedregal” con el objetivo de recuperar su capacidad de captación y filtración de agua y por otro lado, constituyen un centro de experimentación y capacitación en técnicas de agricultura orgánica, restauración de cañadas y manejo integral del agua.

- Premio Lush Spring

En el 2019 recibieron el premio Lush Spring 2019 en Londres, Reino Unido, en la categoría "Proyectos Establecidos", por su trayectoria y sus logros en la regeneración de cañadas y la introducción del concepto de Agua Lenta como guía de la regeneración.

- PCBC

Documento descriptivo de la Cuenca del Río Verde Atoyac, la cual está considerada dentro de las 10 cuencas prioritarias de todo el país por el Programa Agua de la Fundación Gonzalo Río Arronte (FGRA). Esta iniciativa plasma bases conceptuales ecológicas y sociales a través de un plan con una visión integral de la cuenca con el objetivo de orientar los esfuerzos, públicos, sociales y privados en una misma dirección que permita fortalecer los procesos de concertación y gestión del agua en la Cuenca Río Verde Atoyac.

- Monitoreo del agua

INSO emprendió un Programa de Monitoreo de Agua en algunas comunidades de la cuenca del Río Verde-Atoyac, compromiso derivado de Un Plan Común para un Bien Común para solventar la falta de datos en relación a la calidad del agua.

- WWF México

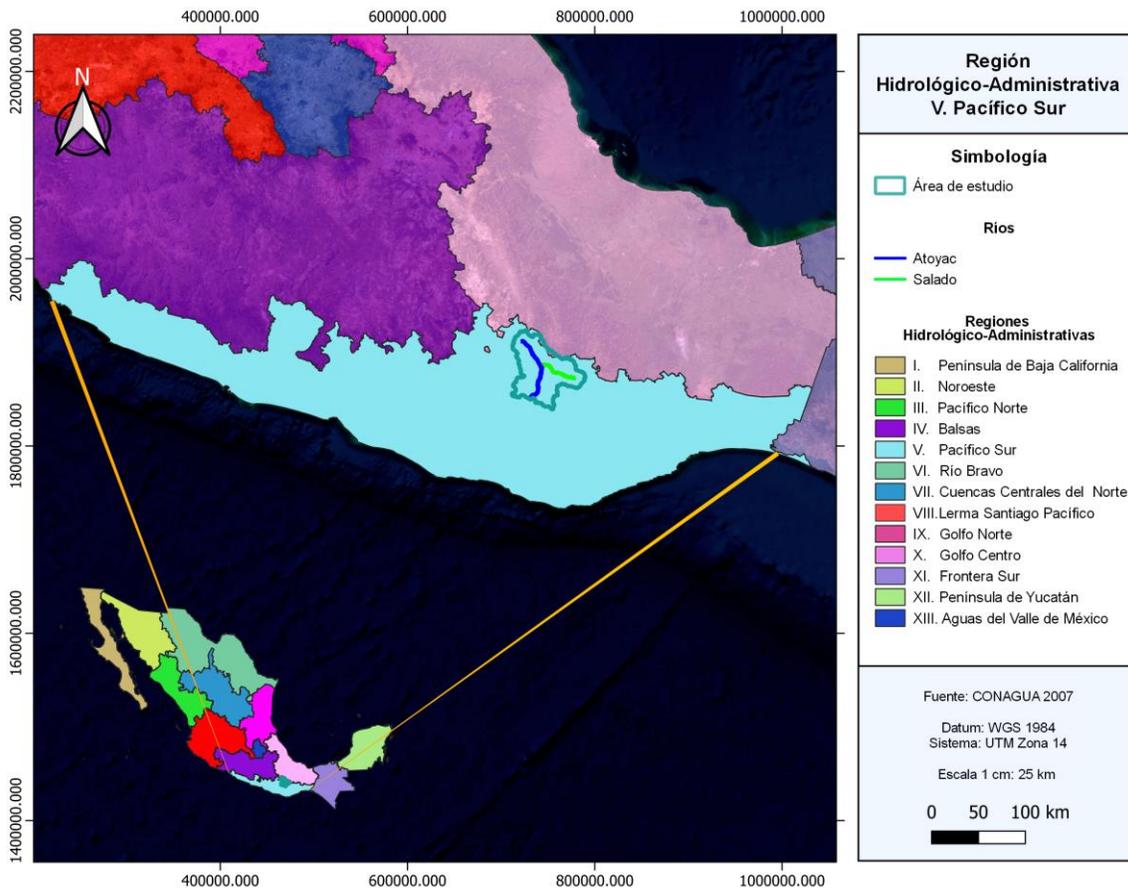
Participación en el desarrollo de importantes proyectos de conservación de la naturaleza del estado de Oaxaca, en la región de Sierra Juárez, Los Chimalapas, la Sierra Sur, la Costa y la Mixteca. Ha articulado procesos de gestión del agua con el enfoque de manejo integrado de cuencas hidrográficas en las cuencas de Copalita-Zimatán-Huatulco y en la del Río Verde Atoyac. A través de su participación en el Consejo de Cuenca de la Costa de Oaxaca (CCCO) y sus órganos auxiliares colaboró en la realización de: i) diagnóstico y propuesta de plan de acción para la Cordillera Norte, con un enfoque de conservación de servicios ecosistémicos y corresponsabilidad bajo el concepto de solidaridad hídrica de los habitantes de la zona conurbada de Oaxaca, e ii) instrumento de gestión, así como en el Programa integral para el saneamiento de los ríos Atoyac y Salado. WWF es el coordinador del Grupo Especializado de Trabajo (GET), órgano auxiliar del CCCO, para contribuir a solucionar la situación socioambiental de los ríos Atoyac y Salado.

4.2. Marco Físico del área de estudio

4.2.1. Ubicación geográfica

Con el propósito de facilitar la administración del agua en el país, la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), órgano administrativo, normativo, técnico y consultivo encargado de la gestión del agua en México, delimitó 13 Regiones Hidrológico-Administrativas (RHA), las cuales son consideradas como unidades básicas para la gestión del recurso hídrico. La CONAGUA-SEMARNAT (2011) ubica en la parte sur-sureste de la República Mexicana a la Región Hidrológica Administrativa V Pacífico Sur, en la cual se ubica el área de estudio, colindando al norte con la RHA IV. Balsas y la RHA X. Golfo Centro, al este con la RHA XI. Frontera Sur y al oeste con la RHA IV. Balsas (Figura 4.1).

Figura 4.1. Ubicación del área de estudio en la Región Hidrológica Administrativa V. Pacífico Sur.

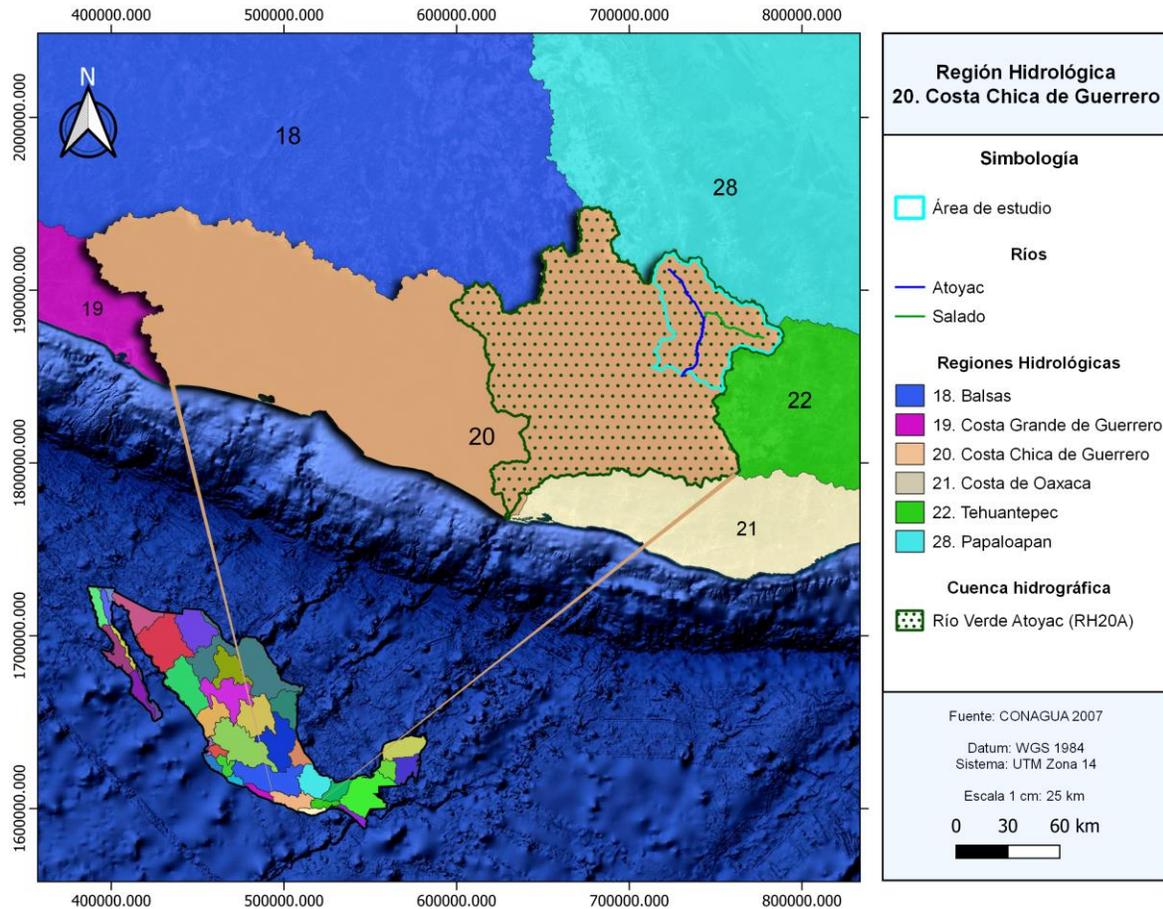


Por otro lado, para propósitos administrativos de las aguas nacionales, la CONAGUA organizó 37 Regiones Hidrológicas (RH), llamadas así a las agrupaciones de varias cuencas hidrológicas con un escurrimiento superficial muy parecido, conformadas en función de sus características morfológicas, orográficas e hidrológicas. El área de este estudio pertenece a la Región Hidrológica 20 Costa Chica de Guerrero, colindando al norte con la RH18. Balsas y RH28. Papaloapan, al sur con el Océano Pacífico, al este con la RH22. Tehuantepec y con la RH21. Costa de Oaxaca (Figura 4.2).

Por otro lado, para propósitos administrativos de las aguas nacionales, la CONAGUA organizó 37 Regiones Hidrológicas (RH), llamadas así a las agrupaciones de varias cuencas hidrológicas con un escurrimiento superficial muy parecido, conformadas en función de sus características morfológicas, orográficas e hidrológicas. El área de este estudio pertenece a la Región Hidrológica 20 Costa Chica de Guerrero, colindando al norte con la RH18. Balsas y RH28. Papaloapan, al sur con el Océano Pacífico, al este con la RH22. Tehuantepec y con la RH21. Costa de Oaxaca (Figura 4.2).

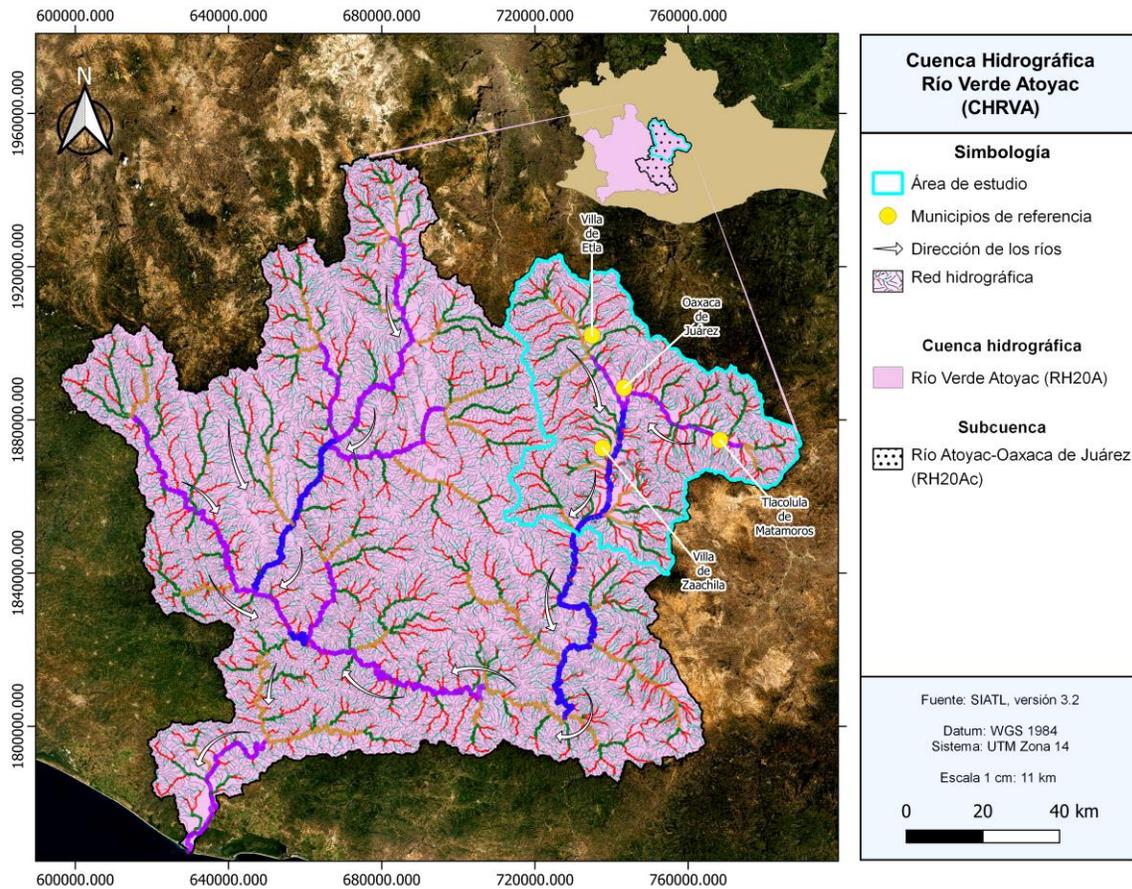
Por otro lado, para propósitos administrativos de las aguas nacionales, la CONAGUA organizó 37 Regiones Hidrológicas (RH), llamadas así a las agrupaciones de varias cuencas hidrológicas con un escurrimiento superficial muy parecido, conformadas en función de sus características morfológicas, orográficas e hidrológicas. El área de este estudio pertenece a la Región Hidrológica 20 Costa Chica de Guerrero, colindando al norte con la RH18. Balsas y RH28. Papaloapan, al sur con el Océano Pacífico, al este con la RH22. Tehuantepec y con la RH21. Costa de Oaxaca (Figura 4.2).

Figura 4.2. Región Hidrológica 20, Costa Chica de Guerrero.



Inmersa dentro del área de la Región Hidrológica 20, se ubica la Cuenca Río Verde Atoyac, su delimitación está en función de los escurrimientos superficiales, por lo que en este estudio se denominará Cuenca Hidrográfica Río Verde-Atoyac (CHRVA). La CONAGUA la contempla conjuntando cinco cuencas hidrológicas cuya extensión total es de 18,261.3 km² (19.5% del área total de la entidad) en la provincia fisiográfica Sierra Madre del Sur. Esta cuenca es alóctona ya que sus afluentes, como el Río Atoyac y Río Salado, escurren por ella a través de diferentes regiones y nutriendo a una amplia variedad de ecosistemas. Su fisiografía accidentada va desde el nivel del mar hasta 3,365 msnm. con presencia de valles, sierras y cañones, pasando por llanuras y lomeríos con multitud de climas (INSO, 2014). Es una cuenca exorreica o abierta porque la salida del agua de sus afluentes drena hacia el mar, en el Océano Pacífico, a la altura del Parque Nacional Lagunas de Chacahua (Figura 4.3).

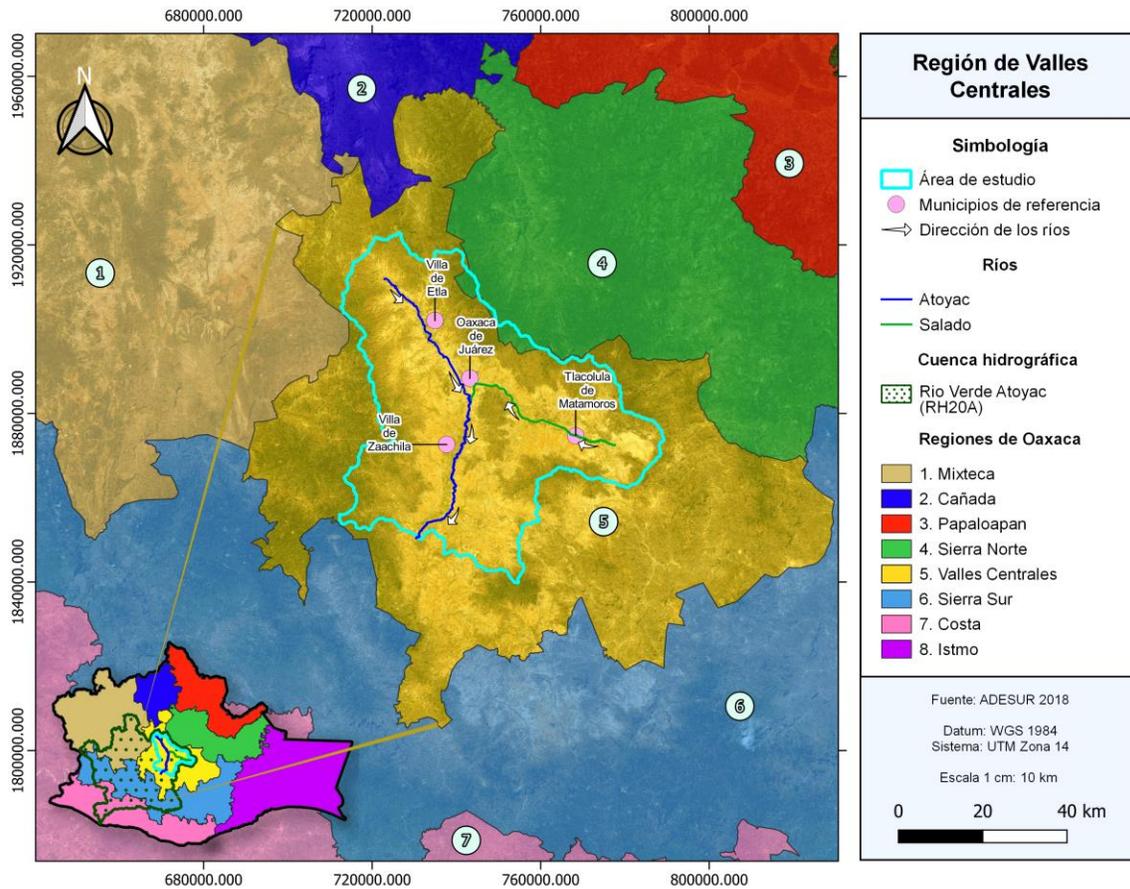
Figura 4.3. Cuenca Hidrográfica Río Verde-Atoyac.



Dentro del área de la CHRVA en la porción este, se encuentra la parte oeste del territorio de la Región Valles Centrales, una de las ocho regiones geográficas y culturales señaladas en la Ley de Planeación del Estado de Oaxaca, que conforman la entidad desde una perspectiva etnográfica. Colinda al norte con las Regiones de la Cañada y Sierra Norte, al oeste limita con la Mixteca y Sierra Sur, y finalmente al este y al sur colinda con la Sierra Sur.

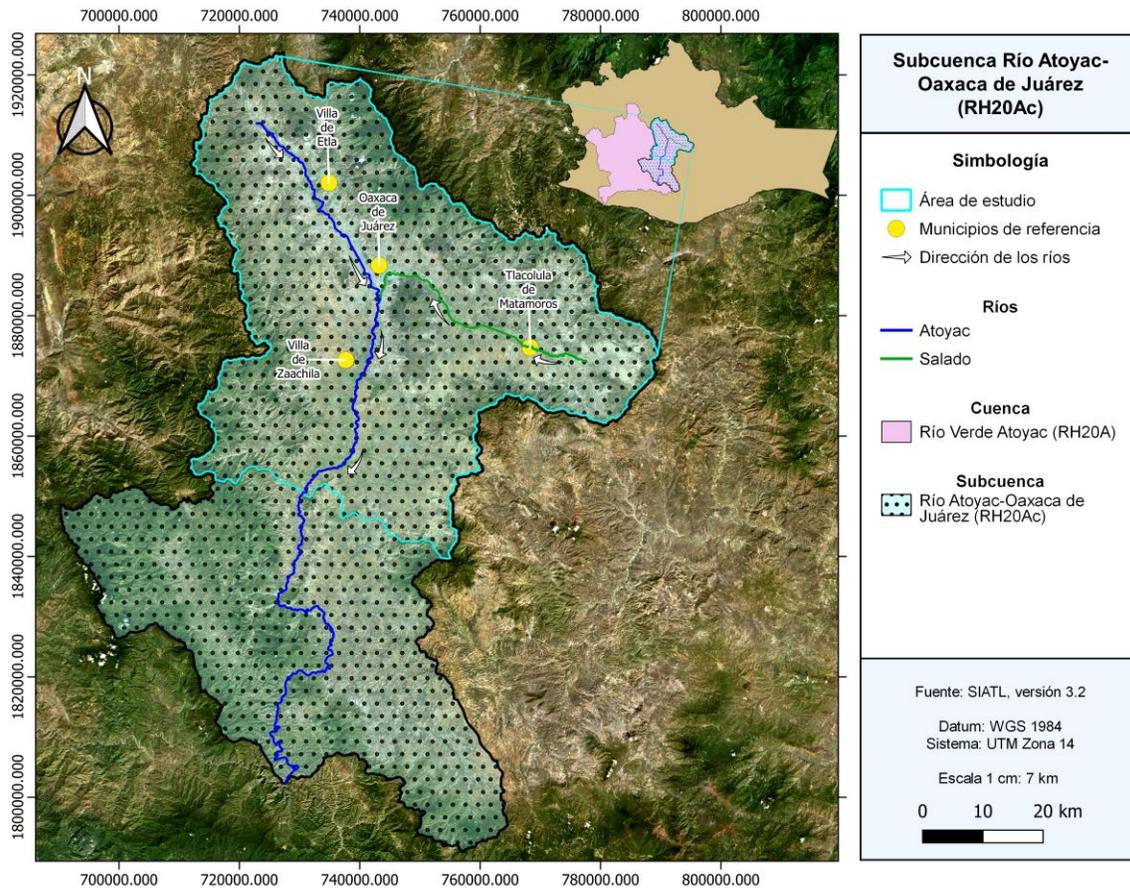
Se desarrolla en un conjunto de tres valles, entre el Nudo Mixteco, la Sierra Juárez y la Sierra Madre del Sur, los cuales conforman una “Y”. Al noroeste se encuentra el valle de Etlá; al oriente, el valle de Tlacolula; y al sur, el valle de Zimatlán-Ocotlán. La Región Valles Centrales comprende a los Distritos de Ejutla, Etlá, Ocotlán, Tlacolula, Zaachila, Zimatlán y Centro (Figura 4.4).

Figura 4.4. Región de los Valles Centrales.



Dentro de los límites de la Región de los Valles Centrales, se encuentra gran parte de la Subcuenca RH20Ac Río Atoyac-Oaxaca de Juárez. En donde circulan los afluentes y ríos tributarios del Río Atoyac y el Río Salado. Con una superficie de 3, 727 km², localizada en la porción centro de la entidad (Villarreal *et al.*, 2011). La subcuenca comprende los Distritos de Etlá, Ixtlán, Centro, Tlacolula, Ocotlán, Ejutla y parte de Miahuatlán y Sola de Vega (Figura 4.5).

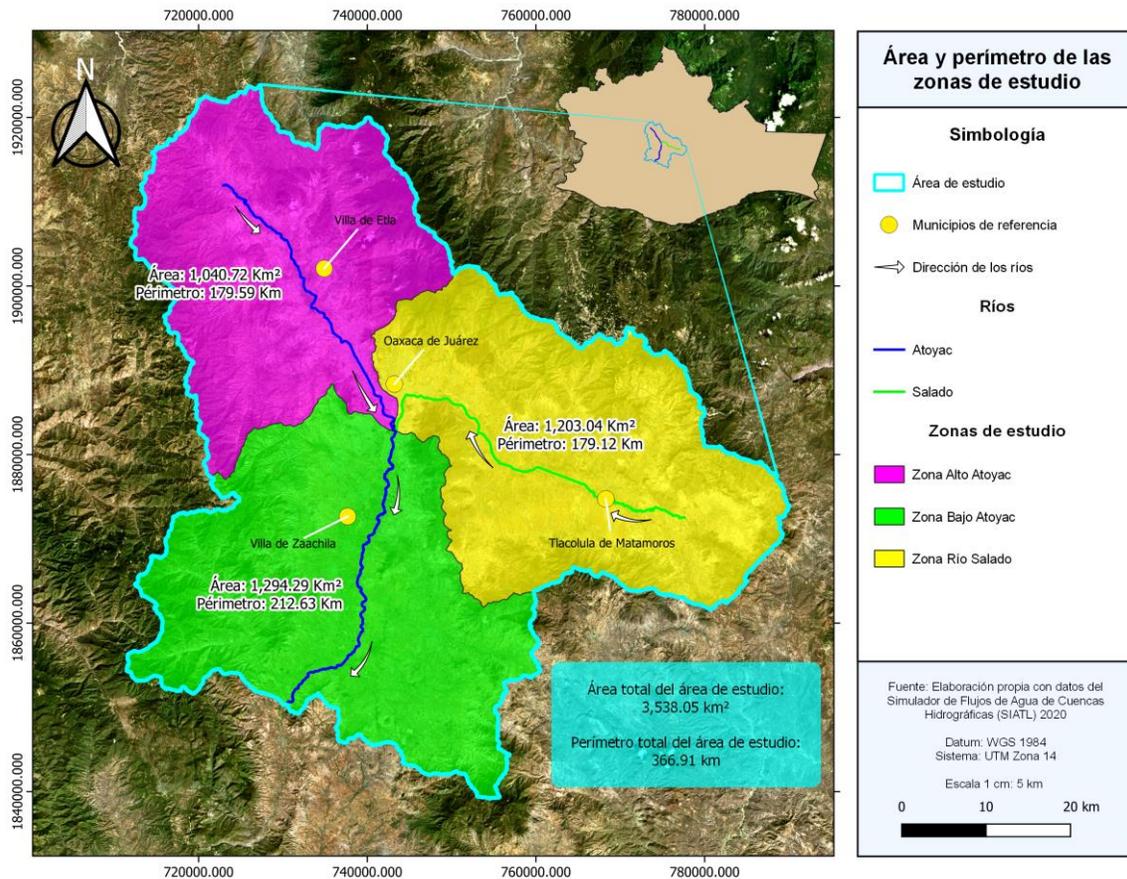
Figura 4.5. Subcuenca Río Atoyac-Oaxaca de Juárez (RH20Ac).



Dentro de la subcuenca antes referida, en la porción central del estado de Oaxaca se ubica el área de estudio cuya extensión total es de 3,538.05 km². Dada la complejidad de la red hidrográfica presente, se delimitaron para su análisis en tres zonas de estudio (Figura 4.6):

- Alto Atoyac: con una extensión de 1,040.72 km² y un perímetro de 179.59 km.
- Bajo Atoyac: con una extensión de 1,294.29 km² y un perímetro de 212.29 km.
- Río Salado: con una extensión de 1,203.04 km² y un perímetro de 179.12 km.

Figura 4.6. Ubicación de las Zonas de estudio.



El afluente del Río Atoyac surge en San Pablo Huitzo en la parte alta de la Zona Alto Atoyac, recorre 41.7 km con dirección sureste hasta llegar a Santa Cruz Xoxocotlán, municipio donde el afluente continúa su recorrido de otros 44.7 km más, atraviesa la Zona Bajo Atoyac con dirección sur-oeste y drena en Santa Ana Tlapacoyan. El Río Atoyac atraviesa de forma longitudinal, dividiendo en dos porciones las Zonas Alto y Bajo Atoyac. En el Río Salado, el escurrimiento inicia en San Pablo Villa de Mitla recorre 48.4 km con dirección nor-oeste y se incorpora al Río Atoyac, virando con dirección sur-oeste en Santa Cruz Xoxocotlán. De la misma manera que el Río Atoyac, el Río Salado divide en dos porciones territoriales: al norte y al sur del río.

Los puntos de mayor elevación de las montañas forman líneas divisorias naturales que delimitan a la subcuenca, separándola de otras subcuencas aledañas y drenando los escurrimientos a diversos cauces que alimentan un afluente principal, estructurando la red hidrográfica en la subcuenca.

A nivel de área estudio, los siguientes 36 municipios mantienen colindancia con su parteaguas: Heroica Ciudad de Ejutla de Crespo, Magdalena Teitipac, Magdalena Mixtepec, Ocotlán de Morelos, San José del Progreso, San Andrés Zautla, San Antonino el Alto, San Bartolomé Quialana, San Bernardo Mixtepec, San Felipe Tejalápam, San Francisco Telixtlahuaca, San Jerónimo Taviche, San Juan del Estado, San Miguel Tilquiápam, San Juan Teitipac, San Lucas Quiaviní, San Lorenzo Albarradas, San Miguel Mixtepec, San Pablo Cuatro Venados, San Pablo Huitzo, San Pablo Villa de Mitla, Santa Ana Tlapacoyan, Santa Catarina Ixtepeji, Santa Cruz Mixtepec, Santa María Peñoles, Santiago Matatlán, Santiago Suchilquitongo, Santiago Tenango, Nuevo Zoquiápam, Santo Tomás Mazaltepec, Teococuilco

de Marcos Pérez, Teotitlán del Valle, Zimatlán de Álvarez, Tlacolula de Matamoros, Tlalixtac de Cabrera y Villa Díaz Ordaz.

Los municipios que están incluidos en la Zona Alto Atoyac son: Cuilápam de Guerrero, Oaxaca de Juárez, San Agustín Etlá, San Andrés Huayapam, San Andrés Zautla, San Felipe Tejalápam, San Francisco Telixtlahuaca, San Juan del Estado, San Pablo Cuatro Venados, San Pablo Etlá, San Pablo Huitzo, San Pedro Ixtlahuaca, Santa Cruz Xoxocotlán, Santa María Atzompa, Santa María Peñoles, Santiago Suchilquitongo, Santiago Tenango, Nuevo Zoquiápam, Teococuilco de Marcos Pérez.

Los municipios que se incluyen en el Bajo Atoyac son: Cuilápam de Guerrero, Heroica Ciudad de Ejutla de Crespo, Magdalena Mixtepec, Ocotlán de Morelos, San José del Progreso, San Agustín de las Juntas, San Antonino el Alto, San Bartolo Coyotepec, San Bernardo Mixtepec, San Jerónimo Taviche, San Miguel Tilquiápam, San Miguel Mixtepec, San Pablo Cuatro Venados, San Pedro Ixtlahuaca, Santa Catarina Minas, Santa Ana Tlapacoyan, Santa Cruz Xoxocotlán, Santa María Atzompa, Santo Tomás Jalieza, Zimatlán de Álvarez y Villa de Zaachila.

El parteaguas en la Zona Río Salado incluye municipios como: Magdalena Teitipac, Oaxaca de Juárez, Rojas de Cuauhtémoc, San Agustín de las Juntas, San Andrés Huayápam, San Antonio de la Cal, San Bartolo Coyotepec, San Bartolomé Quialana, San Juan Teitipac, San Lucas Quiavini, San Lorenzo Albarradas, San Pablo Etlá, San Pablo Villa de Mitla, San Sebastián Abasolo, San Sebastián Teitipac, Santa Catarina Ixtepeji, Santiago Matatlán, Santo Tomás Jalieza, Teotitlán del Valle, Tlalixtac de Cabrera y Villa Díaz Ordaz.

Las alturas máximas de los parteaguas del área de estudio alcanzan los 3,300 msnm de altura máxima y nueve municipios presentan dentro de su territorio alturas mayores a los 3,000 msnm: Nuevo Zoquiápam, San Agustín Etlá, San Andrés Huayápam, San Miguel Amatlán, San Pablo Etlá, Santa Catarina Ixtepeji, Santa Catarina Lachatao, Teococuilco de Marcos Pérez y Villa Díaz Ordaz.

En contraste, la altura mínima dentro del área de estudio llega a los 1,460 msnm de altura, y nueve municipios, se ubican a una altura inferior a los 1,480 msnm: Asunción Ocotlán, Ocotlán de Morelos, San Pablo Huixtepec, San Pedro Apóstol, Santa Ana Tlapacoyan, Santa Cruz Mixtepec, Santa Gertrudis, Santiago Apóstol y Zimatlán de Álvarez.

Respecto a la división política, dentro del área de estudio se encuentran 105 municipios. De éstos, 27 se encuentran en la Zona Alto Atoyac, 44 en el Bajo Atoyac y 34 en Río Salado, como se muestra en el siguiente cuadro.

Cuadro 4.3. Municipios presentes en el área de estudio en su respectiva zona de estudio.

	Alto Atoyac		Bajo Atoyac		Río Salado
1	Nuevo Zoquiápam	28	Asunción Ocotlán	72	San Sebastián Tutla
2	Guadalupe Etlá	29	Ciénega de Zimatlán	73	Magdalena Teitipac
3	Magdalena Apasco	30	Cuilápam de Guerrero	74	Oaxaca de Juárez
4	Nazareno Etlá	31	Heroica Ciudad de Ejutla de Crespo	75	Rojas de Cuauhtémoc
5	Reyes Etlá	32	Magdalena Mixtepec	76	San Agustín Yatareni
6	San Agustín Etlá	33	Magdalena Ocotlán	77	San Andrés Huayápam
7	San Andrés Ixtlahuaca	34	Ocotlán de Morelos	78	San Antonio de la Cal
8	San Andrés Nuxiño	35	San José del Progreso	79	San Bartolomé Quialana
9	San Andrés Zautla	36	San Agustín de las Juntas	80	San Dionisio Ocotepec
10	San Felipe Tejalápam	37	San Antonino Castillo Velasco	81	San Francisco Lachigoló
11	San Francisco Telixtlahuaca	38	San Antonino el Alto	82	San Jerónimo Tlacoahuaya
12	San Jacinto Amilpas	39	San Baltazar Chichicápam	83	San Juan Guelavía
13	San Juan Bautista Guelache	40	San Bartolo Coyotepec	84	San Juan Teitipac

Alto Atoyac			Bajo Atoyac		Río Salado	
14	San Juan del Estado	41	San Bernardo Mixtepec	85	San Lorenzo Albarradas	
15	San Lorenzo Cacaotepec	42	San Dionisio Ocotlán	86	San Lucas Quiavini	
16	San Pablo ETLA	43	San Jerónimo Taviche	87	San Miguel Amatlán	
17	San Pablo Huitzo	44	Ánimas Trujano	88	San Pablo Villa de Mitla	
18	San Pedro Ixtlahuaca	45	San Juan Chilateca	89	San Sebastián Abasolo	
19	Santa María Atzompa	46	San Martín Tilcajete	90	San Sebastián Teitipac	
20	Santa María Peñoles	47	San Miguel Mixtepec	91	Santa Ana del Valle	
21	Santiago Suchilquitongo	48	San Miguel Peras	92	Santa Catarina Ixtepeji	
22	Santiago Tenango	49	San Miguel Tilquiápam	93	Santa Catarina Lachatao	
23	Santiago Tlazoyaltepec	50	San Pablo Cuatro Venados	94	Santa Cruz Amilpas	
24	Santo Tomás Mazaltepec	51	San Pablo Huixtepec	95	Santa Cruz Papalutla	
25	Soledad ETLA	52	San Pedro Apóstol	96	Santa Lucía del Camino	
26	Teococuilco de Marcos Pérez	53	San Pedro Mártir	97	Santa María del Tule	
27	Villa de ETLA	54	San Pedro Taviche	98	Santa María Guelache	
		55	San Raymundo Jalpan	99	Santiago Matatlán	
		56	Santa Ana Tlapacoyan	100	Santo Domingo Tomaltepec	
		57	Santa Ana Zegache	101	Santo Tomás Jalieza	
		58	Santa Catarina Minas	102	Teotitlán del Valle	
		59	Santa Catarina Quiané	103	Tlacolula de Matamoros	
		60	Santa Cruz Mixtepec	104	Tlaxiactac de Cabrera	
		61	Santa Cruz Xoxocotlán	105	Villa Díaz Ordaz	
		62	Santa Gertrudis			
		63	Santa Inés del Monte			
		64	Santa Inés Yatzeche			
		65	Santa Lucía Ocotlán			
		66	Santa María Coyotepec			
		67	Santa María Lachixío			
		68	Santiago Apóstol			
		69	Trinidad Zaachila			
		70	Villa de Zaachila			
		71	Zimatlán de Álvarez			

De los 105 de municipios presentes en el área de estudio, se contemplan 38 para el análisis de diagnóstico y planeación integral para el saneamiento en los Ríos Atoyac y Salado (Cuadro 4.4), incluyendo Villa de ETLA. Los municipios mencionados tienen la particularidad de que su territorio colinda de forma directa con las principales corrientes superficiales de los Ríos Atoyac y Salado, ya sea porque su perímetro limita con el afluente o éste pasa en alguna parte dentro de su superficie. El Municipio Villa de ETLA no tiene esta característica, sin embargo, es importante incluirlo porque la carga contaminante que genera se puede identificar, de forma equivocada, como una descarga proveniente del Municipio de Guadalupe ETLA (Figura 4.7).

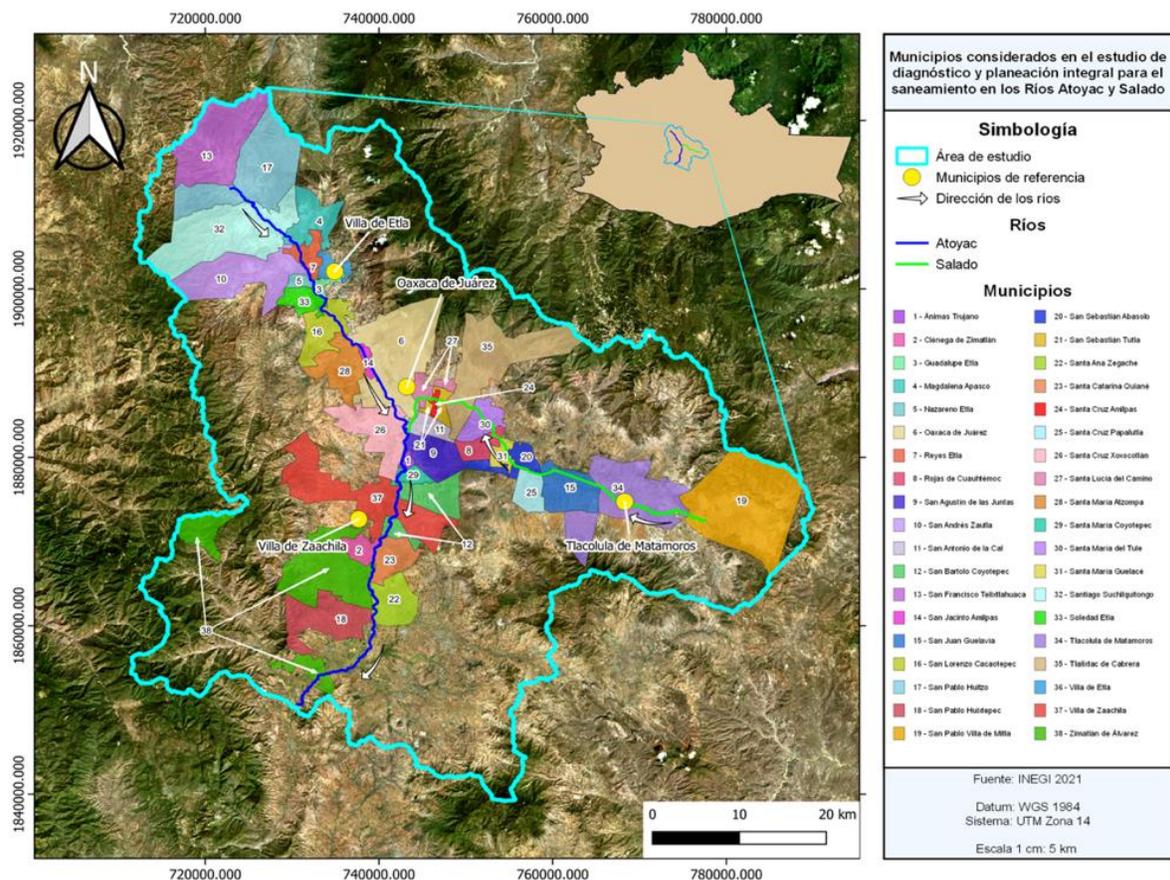
En el siguiente cuadro se mencionan a los 38 de los 105 municipios que se contemplan en el desarrollo del plan integral de saneamiento.

Cuadro 4.4. Municipios considerados en el estudio de diagnóstico y planeación integral para el saneamiento en los Ríos Atoyac y Salado, en la zona de estudio específica.

Alto Atoyac	Bajo Atoyac	Río Salado
3) Guadalupe ETLA	1) Ánimas Trujano	6) Oaxaca de Juárez
4) Magdalena Apasco	2) Ciénega de Zimatlán	8) Rojas de Cuauhtémoc
5) Nazareno ETLA	6) Oaxaca de Juárez	9) San Agustín de las Juntas
6) Oaxaca de Juárez	9) San Agustín de las Juntas	11) San Antonio de la Cal
7) Reyes ETLA	11) San Antonio de la Cal	12) San Bartolo Coyotepec

Alto Atoyac	Bajo Atoyac	Río Salado
10) San Andrés Zautla	12) San Bartolo Coyotepec	15) San Juan Guelavía
11) San Antonio de la Cal	18) San Pablo Huixtepec	19) San Pablo Villa de Mitla
13) San Francisco Telixtlahuaca	22) Santa Ana Zegache	20) San Sebastián Abasco
14) San Jacinto Amilpas	23) Santa Catarina Quiané	21) San Sebastián Tutla
16) San Lorenzo Cacaotepec	26) Santa Cruz Xoxocotlán	24) Santa Cruz Amilpas
17) San Pablo Huitzo	28) Santa María Atzompa	25) Santa Cruz Papalutla
26) Santa Cruz Xoxocotlán	29) Santa María Coyotepec	26) Santa Cruz Xoxocotlán
28) Santa María Atzompa	37) Villa de Zaachila	27) Santa Lucía del Camino
32) Santiago Suchilquitongo	38) Zimatlán de Álvarez	30) Santa María del Tule
33) Soledad Etla		31) Santa María Guelacé
36) Villa de Etla		34) Tlacolula de Matamoros
		35) Tlaxiaco de Cabrera
		37) Villa de Zaachila

Figura 4.7. Municipios considerados en el estudio de diagnóstico y planeación integral para el saneamiento en los Ríos Atoyac y Salado.



El territorio de ocho municipios de los 38 que están contemplados en el estudio de diagnóstico y planeación integral, se extiende en más de una de las tres zonas de estudio. Cinco de estos se encuentran distribuidos en dos zonas y el territorio de Oaxaca de Juárez, San Antonio de la Cal y Santa Cruz Xoxocotlán se encuentran entre las tres zonas de estudio. Para efectos del presente análisis, los municipios con esta característica se ubicaron en la zona de estudio en la que se sitúa la mayor parte de la extensión de su territorio como se muestra en el siguiente cuadro.

Cuadro 4.5. Municipios cuyo territorio se distribuye en dos o en tres zonas de estudio de manera simultánea.

Alto Atoyac	Bajo Atoyac	Río Salado
Oaxaca de Juárez	Oaxaca de Juárez	Oaxaca de Juárez
	San Agustín de las Juntas	San Agustín de las Juntas
San Antonio de la Cal	San Antonio de la Cal	San Antonio de la Cal
	San Bartolo Coyotepec	San Bartolo Coyotepec
	San Sebastián Abasolo	San Sebastián Abasolo
Santa Cruz Xoxocotlán	Santa Cruz Xoxocotlán	Santa Cruz Xoxocotlán
Santa María Atzompa	Santa María Atzompa	
	Villa de Zaachila	Villa de Zaachila

Los límites del desarrollo urbano deben ser definidos puntualmente ya que la población aprovecha el capital natural para satisfacer sus necesidades, se apropia de los bienes materiales de la naturaleza alterando los procesos ecológicos que regulan y mantienen los ecosistemas (Mendoza *et al.*, 2014). La calidad y funcionamiento del ecosistema asociado al agua superficial, ha sido afectado en los ríos Atoyac y Salado por la presión intensa que reciben de forma directa e indirecta. Los impactos directos que afectan a los ríos, se relacionan con la extracción del caudal, su desviación, represamiento o agotamiento, con la inadecuada operación de obras hidráulicas (Nilsson *et al.*, 2005) y con la contaminación a causa de la descarga de aguas residuales municipales e industriales que modifican el volumen, la calidad y la estacionalidad de dichos sistemas (Jones *et al.*, 2000). Los segundos se caracterizan por el inadecuado manejo territorial de las cuencas: deforestación, fragmentación de ecosistemas a causa de cambios no planificados en el uso de la tierra, crecimiento urbano y desarrollo de infraestructura carretera, lo que afecta negativamente la cantidad y la calidad de agua disponible (Rosenberg *et al.*, 2000). Por todo lo anterior, se consideró a los 38 municipios mencionados en el estudio de diagnóstico y planeación integral para el saneamiento en los ríos Atoyac y Salado ya que, su cercanía a los afluentes potencializa la presión ejercida sobre estos con la consiguiente alteración de los procesos ecológicos que regulan y mantienen sus ecosistemas.

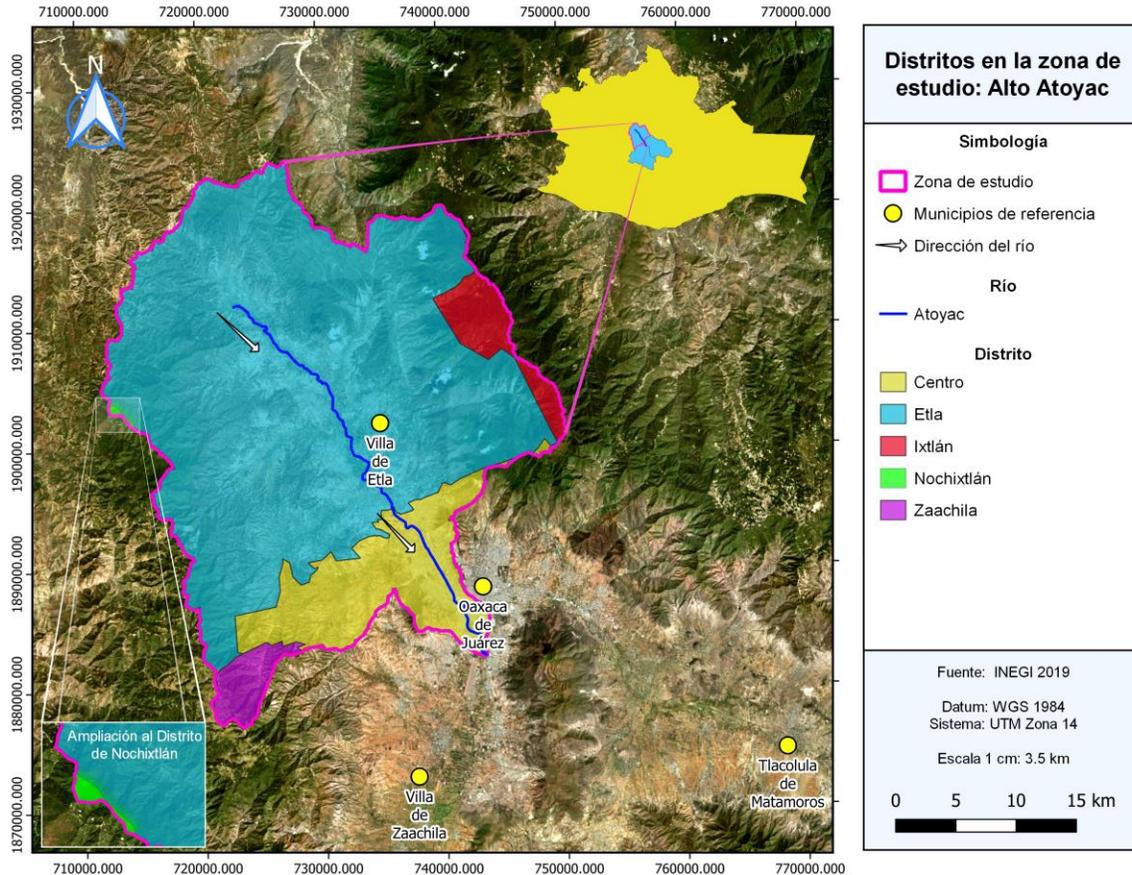
El área de estudio delimitada coincide con el planteamiento desarrollado por el Grupo Específico de Trabajo (GET), donde se planteó el saneamiento integral para la subcuenca RH20Ac, considerando toda la integralidad del territorio y donde se deberán implementar los ejes, líneas estratégicas, líneas de acción. Si bien es un territorio amplio, la debida coordinación de los tres órdenes de Gobierno en conjunto con la sociedad civil organizada, los usuarios y ciudadanos, deberá propiciar condiciones para actuar estratégicamente.

A continuación, se describen las características principales de cada zona de estudio.

4.2.1.1. Zona de estudio Alto Atoyac

La Zona de estudio Alto Atoyac comprende un área de 1,040.72 km², representando el 29.41% de la extensión total del área de estudio. Dentro de su perímetro se ubican los Distritos de Ixtlán, Nochixtlán, Centro, Etlá, y Zaachila. El Distrito de Etlá es el más extenso, cubriendo el 80.09% de la Zona de estudio Alto Atoyac, seguido del Distrito del Centro con una cobertura del 13.91% (Figura 4.8 y Cuadro 4.6).

Figura 4.8. Distritos en la Zona de estudio Alto Atoyac.

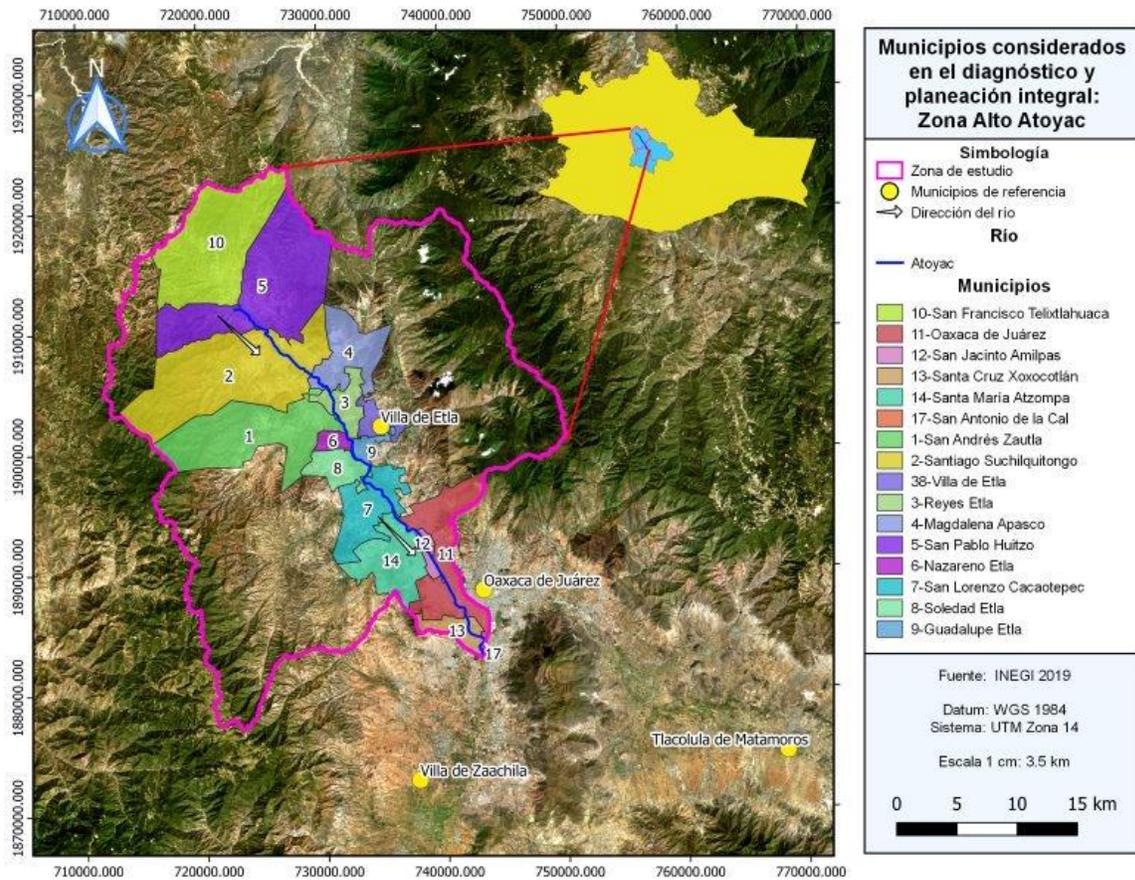


Cuadro 4.6. Cobertura de los Distritos ubicados en la Zona Alto Atoyac.

Distrito	Área del Distrito dentro de la zona de estudio (km ²)	Porcentaje con respecto a la zona de estudio (%)
Ixtlán	37.53	3.61
Zaachila	24.20	2.33
Centro	144.81	13.91
Etlá	833.54	80.09
Nochixtlán	0.64	0.06
Total	1,040.72	100

En la Zona de estudio Alto Atoyac se encuentran 16 de los 38 municipios contemplados en este estudio (Figura 4.9 y cuadro 4.7). El municipio de mayor cobertura es Santiago Suchilquitongo, con 93.78 km² de extensión, lo que representa el 9.01% de cobertura en relación al área total de esta zona de estudio.

Figura 4.9. Municipios de la Zona de estudio Alto Atoyac considerados en el estudio.



Cuadro 4.7. Municipios dentro de la Zona de estudio Alto Atoyac.

Municipio	Área del Municipio dentro de la zona de estudio (km ²)	Porcentaje con respecto a la zona de estudio (%)
Guadalupe Etla	4.28	0.41
Magdalena Apasco	26.97	2.59
Nazareno Etla	4.28	0.41
Oaxaca de Juárez	40.23	3.87
Reyes Etla	11.97	1.15
San Andrés Zautla	61.71	5.93
San Antonio de la Cal	0.04	0.00
San Francisco Telixtlahuaca	73.52	7.06
San Jacinto Amilpas	4.16	0.40
San Lorenzo Cacaotepec	27.60	2.65
San Pablo Huitzo	84.63	8.13
Santa Cruz Xoxocotlán	9.96	0.96
Santa María Atzompa	29.59	2.84
Santiago Suchilquitongo	93.78	9.01
Soledad Etla	12.47	1.20
Villa de Etla	8.27	0.79
Total	493.46	47.40

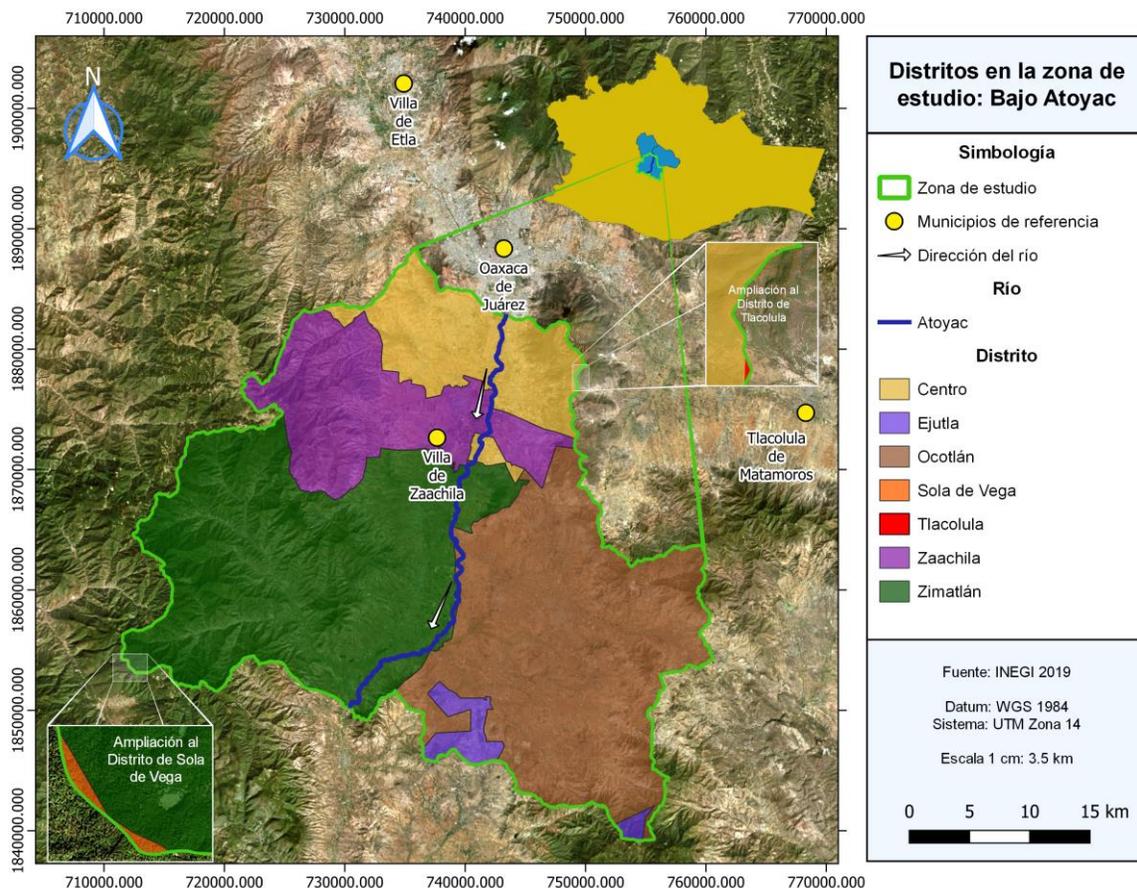
El afluente del Río Atoyac en esta zona inicia en San Pablo Huitzo, en donde presenta su altura máxima con 1,700 m.s.n.m. Recorre 41.7 km hasta llegar a Santa Cruz Xoxocotlán, en donde se ubica la altura mínima de 1,528 m.s.n.m. La pendiente del afluente es de 0.41% y pertenece a una corriente de orden 5 y 6.

4.2.1.2. Zona de estudio Bajo Atoyac

La Zona de estudio Bajo Atoyac comprende un área de 1,294.28 km², representando el 36.58% de la extensión total del área de estudio. Dentro de su perímetro se ubican los Distritos del Centro, Zimatlán, Ejutla, Ocotlán, Sola de Vega, Tlacolula y Zaachila (Figura 4.10). El Distrito de Zimatlán es el más extenso, cubriendo el 37.69 % del área total, seguido del Distrito de Ocotlán con una cobertura del 34.09% (Cuadro 4.8).

El afluente del Río Atoyac en esta zona de estudio inicia en Santa Cruz Xoxocotlán, con una altura máxima de 1,528 m, recorre 44.74 km hasta llegar a Santa Ana Tlapacoyan en donde se encuentra su altura mínima con de 1,455 km. La pendiente del afluente es de 0.16% y con una corriente de orden 7.

Figura 4.10. Distritos en la Zona de estudio Bajo Atoyac.

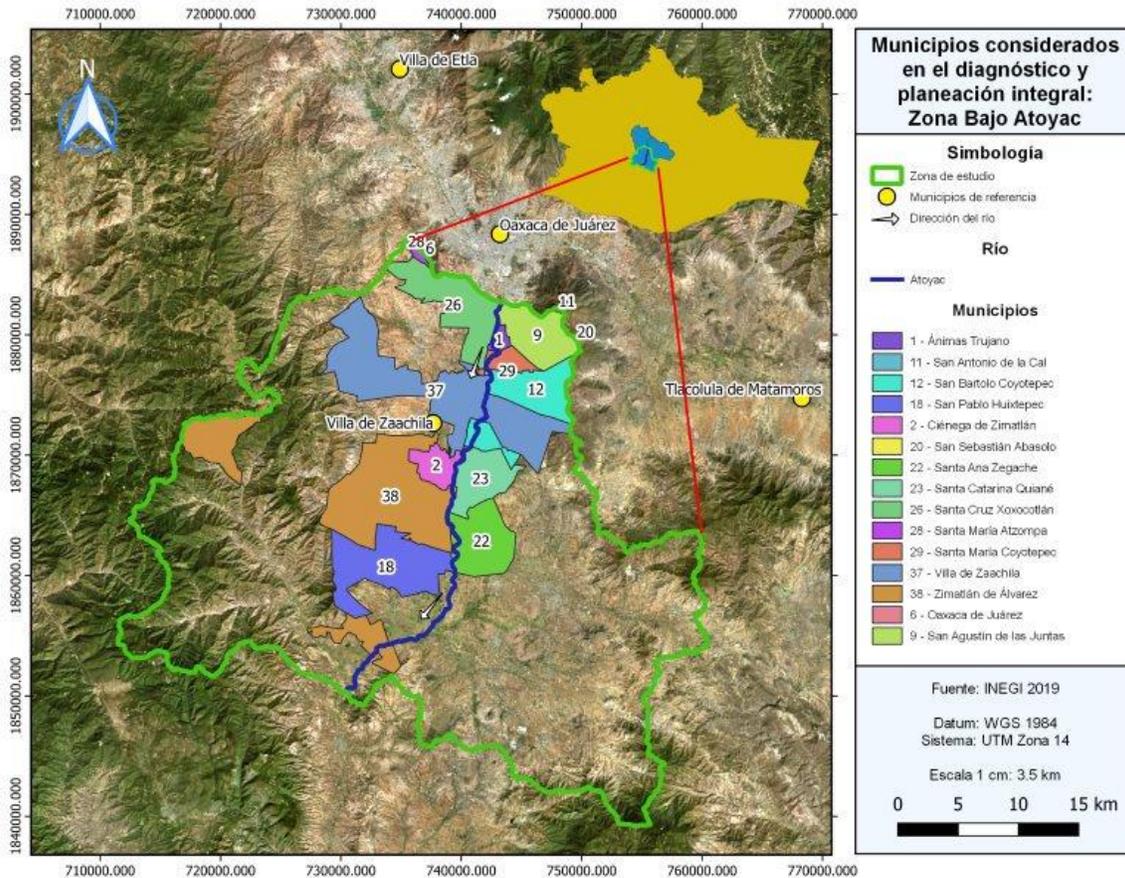


Cuadro 4.8. Cobertura de los distritos ubicados en la Zona de estudio Bajo Atoyac.

Distrito	Área del Distrito dentro de la zona de estudio (km ²)	Porcentaje con respecto a la zona de estudio (%)
Sola de Vega	0.07	0.01
Zimatlán	487.83	37.69
Zaachila	190.41	14.71
Centro	148.73	11.49
Ejutla	26.04	2.01
Ocotlán	441.17	34.09
Tlacolula	0.01	0.0010
Total	1,294.26	100

Esta zona comprende 15 de los 38 municipios contemplados en este estudio (Figura 4.11 y cuadro 4.9). El municipio de mayor área es Zimatlán de Álvarez, con 101.05 km² de extensión, lo que representa el 7.81% de cobertura en relación a toda la zona de estudio.

Figura 4.11. Municipios en la Zona de estudio Bajo Atoyac.



Cuadro 4.9. Municipios dentro de la Zona de estudio Bajo Atoyac.

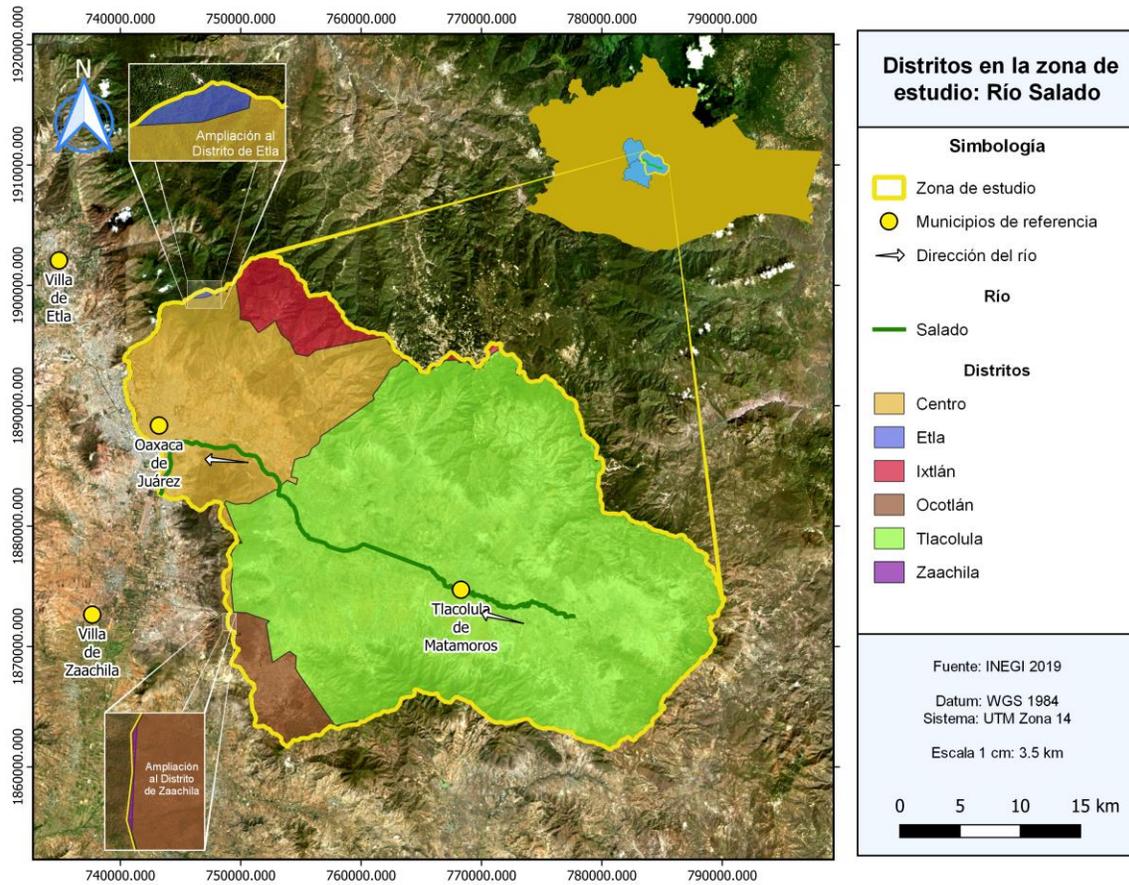
Municipio	Área del Municipio dentro de la zona de estudio (Km ²)	Porcentaje con respecto a la zona de estudio (%)
Ánimas Trujano	3.02	0.23
Ciénega de Zimatlán	10.27	0.79
Oaxaca de Juárez	0.06	0.00
San Agustín de las Juntas	23.37	1.81
San Antonio de la Cal	0.26	0.02
San Bartolo Coyotepec	29.90	2.31
San Pablo Huixtepec	43.30	3.35
San Sebastián Abasolo	0.00	0.00
Santa Ana Zegache	26.80	2.07
Santa Catarina Quiané	20.68	1.60
Santa Cruz Xoxocotlán	33.82	2.61
Santa María Atzompa	1.71	0.13
Santa María Coyotepec	6.54	0.51
Villa de Zaachila	81.42	6.29
Zimatlán de Álvarez	101.05	7.81
Total	382.20	29.53

En esta Zona el afluente del Río Atoyac inicia en Santa Cruz Xoxocotlán, en donde se presenta su altura máxima con 1,528 m.s.n.m. Recorre 44.74 km hasta llegar a Santa Ana Tlapacoyan, en donde se ubica la altura mínima de 1,455 m.s.n.m. La pendiente del afluente es de 0.16% y pertenece a una corriente de orden 7.

4.2.1.3. Zona de estudio Río Salado

La Zona de estudio Río Salado presenta una superficie de 1,203.04 km², representando el 34% de la extensión total del área de estudio. Dentro de su perímetro se ubican los Distritos del Centro, Etlá, Ixtlán, Ocotlán, Tlacolula y Zaachila. El Distrito de Tlacolula es el más extenso, cubriendo el 72.10% de toda la Zona de estudio, seguido del Distrito del Centro con una cobertura del 20.37% (Figura 4.12 y Cuadro 4.10).

Figura 4.12. Distritos en la Zona de estudio Río Salado.

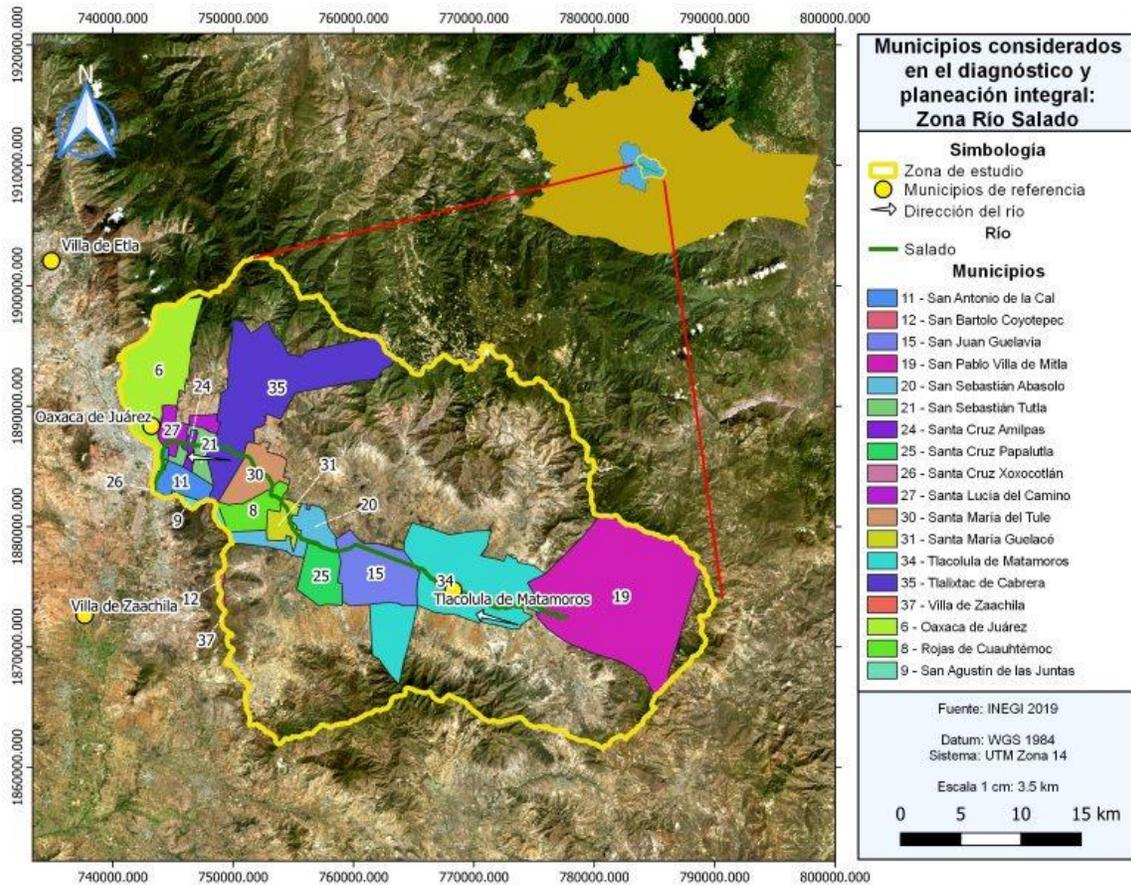


Cuadro 4.10. Cobertura de los distritos ubicados en la Zona de estudio Río Salado.

Distrito	Área del Distrito dentro de la zona de estudio (Km ²)	Porcentaje con respecto a la zona de estudio (%)
Centro	245.07	20.37
Ocotlán	43.05	3.58
Tlacolula	867.40	72.10
Zaachila	0.01	0.00
Etlá	0.49	0.04
Ixtlán	47.02	3.91
Total	1,203.04	100

La zona de estudio Río Salado comprende 18 de los 38 municipios contemplados en este estudio. (Figura 4.13 y cuadro 4.11). El municipio de mayor cobertura es San Pablo Villa de Mitla, con 124.84 km² de extensión, lo que representa el 10.38% de cobertura en relación a toda la zona de estudio (Cuadro 4.11).

Figura 4.13. Municipios en la Zona de estudio Río Salado.



Cuadro 4.11. Municipios dentro de la Zona de estudio Río Salado.

Municipio	Área del Municipio dentro de la zona de estudio (km ²)	Porcentaje con respecto a la zona de estudio (%)
Oaxaca de Juárez	49.24	4.09
Rojas de Cuauhtémoc	12.46	1.04
San Agustín de las Juntas	2.62	0.22
San Antonio de la Cal	10.69	0.89
San Bartolo Coyotepec	1.47	0.12
San Juan Guelavía	31.76	2.64
San Pablo Villa de Mitla	124.84	10.38
San Sebastián Abasolo	15.37	1.28
San Sebastián Tutla	7.33	0.61
Santa Cruz Amilpas	2.27	0.19
Santa Cruz Papalutla	14.77	1.23
Santa Cruz Xoxocotlán	0.08	0.01
Santa Lucía del Camino	9.44	0.78

Municipio	Área del Municipio dentro de la zona de estudio (km ²)	Porcentaje con respecto a la zona de estudio (%)
Santa María del Tule	16.8	1.4
Santa María Guelacé	7.38	0.61
Tlacolula de Matamoros	82.22	6.83
Tlalixtac de Cabrera	81.51	6.78
Villa de Zaachila	0.01	0
Total	470.26	39.1

El afluente del Río Salado inicia en San Pablo Villa de Mitla, en donde se presenta su altura máxima con 1,665 m.s.n.m. Recorre 48.4 km hasta llegar a Santa Ana Tlapacoyan, en donde se ubica la altura mínima de 1,528 m.s.n.m. La pendiente del afluente es de 0.28% y pertenece a una corriente de orden 5 y 6.

La descripción de las condiciones ambientales prevalentes en el área de estudio se realizó con los datos atmosféricos registrados diariamente en 28 estaciones climatológicas de la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) durante un periodo comprendido entre 1981 y 2018. Información disponible en <https://smn.conagua.gob.mx/es/climatologia/informacion-climatologica/informacion-estadistica-climatologica>. Las características de las estaciones se mencionan en el siguiente cuadro.

Cuadro 4.12. Estaciones climatológicas consultadas en el estudio.

ID	Nombre de la Estación Climatológica	Ubicación	Coordenadas WGS84 UTM Zona 14 N		Estatus
			X	Y	
20004	San Juan Atepec	San Juan Atepec	760276.93	1929135.84	OPERANDO
20007	Ayutla	San Pedro y San Pablo Ayutla	808800.00	1883691.14	OPERANDO
20022	Coyotepec	San Bartolo Coyotepec	742073.26	1875424.26	OPERANDO
20023	Cuajimoloyas	Villa Díaz Ordaz	774869.38	1895208.75	OPERANDO
20034	Etla	Villa de Etla	733995.94	1903806.39	OPERANDO
20040	Ixtepeji	Santa Catarina Ixtepeji	760512.02	1910713.27	OPERANDO
20041	Ixtlán De Juárez	Ixtlán de Juárez	767500.45	1918156.07	OPERANDO
20044	Jalapa Del Valle	San Felipe Tejalápam	725804.67	1888061.54	OPERANDO
20073	Nacaltepec	Santiago Nacaltepec	719434.99	1937908.08	OPERANDO
20079	Oaxaca	Oaxaca de Juárez	743733.33	1890179.57	OPERANDO
20118	San Miguel Ejutla	San Miguel Ejutla	741443.45	1834388.06	OPERANDO
20150	Tejocotes	Santiago Tenango	712424.43	1906339.89	OPERANDO
20151	San Francisco Telixtlahuaca	San Francisco Telixtlahuaca	723213.53	1913959.86	OPERANDO
20153	Teojomulco	Santo Domingo Teojomulco	692026.23	1836167.84	OPERANDO
20191	Zoquitlán	Santa María Zoquitlán	781040.74	1831615.47	OPERANDO
20202	Santa Ana Tlapacoyan	Santa Ana Tlapacoyan	732763.25	1852037.49	OPERANDO
20209	Zimatlán	Zimatlán de Álvarez	736053.09	1865945.34	OPERANDO
20258	Santo Domingo Barrio Bajo	Villa de Etla	736100.99	1903033.31	OPERANDO
20266	San Pablo Huixtepec	San Pablo Huixtepec	736505.48	1861732.49	OPERANDO
20271	La Carbonera	San Francisco Telixtlahuaca	719575.22	1924957.42	OPERANDO

ID	Nombre de la Estacion Climatológica	Ubicación	Coordenadas WGS84 UTM		Estatus
			Zona 14 N		
			X	Y	
20313	Tlazoyaltepec	Santiago Tlazoyaltepec	713089.02	1884152.54	OPERANDO
20314	Yalalag (Cfe)	Villa Hidalgo	801147.01	1902840.58	OPERANDO
20354	Zaachila	Villa de Zaachila	736184.36	1875113.38	OPERANDO
20364	Huitzo	San Pablo Huitzo	725031.10	1912108.86	OPERANDO
20366	Mitla	San Pablo Villa de Mitla	780750.32	1872064.87	OPERANDO
20367	Presa El Estudiante	Tlalixtac de Cabrera	752349.34	1896184.05	OPERANDO
20507	Díaz Ordaz	Villa Díaz Ordaz	773373.44	1881036.67	OPERANDO
20233	Totolapa	San Pedro Totolápam	787269.10	1845020.44	OPERANDO

4.2.2. Clima

4.2.2.1. Clima en el área de estudio

La combinación de las características predominantes de relieve, humedad, temperatura, viento, entre otras, con el uso del suelo de mayor prevalencia en cada una de las zonas de estudio, (Alto y Bajo Atoyac, y Río Salado) condicionan los patrones de evaporación, infiltración, flujo superficial del ciclo hidrológico en la región (Díaz *et al.*, 1999), generando condiciones climáticas variadas.

La clasificación de climas presentada en el presente estudio es la utilizada por INEGI (2008), la cual está basada en la de Wladimir Köppen, ésta es una de las clasificaciones más utilizadas, fue modificada por Enriqueta García en 1964, para adaptarla a las condiciones de nuestro país y está basada en los datos de temperatura y precipitación.

La elaboración de la cartografía para la configuración de las isoyetas e isotermas se desarrolló a través de la consulta de las bases de datos de las estaciones climatológicas presentes en el área de estudio, considerando únicamente a las que cumplen con, al menos, un 80% datos capturados. Para homogenizar la información se identificaron los vacíos en la serie de datos de cada estación considerada para el análisis. La información faltante se compensó con información de las estaciones más cercanas para estandarizarlos, este procedimiento se realizó con base en el método de la razón y en el de regresión lineal. Finalmente se generó la base de datos con la cual se realizó la interpolación de datos y con ayuda del SIG se generaron los resultados presentados en este apartado.

En la parte central de las zonas de estudio, en la porción central del Valle, predomina el clima semicálido, con un régimen de lluvias de verano; hacia la periferia el clima es semicálido y subhúmedo y en las sierras circundantes es templado subhúmedo. La precipitación media anual de la zona correspondiente al área es de 757.6 mm. La época de lluvia está comprendida entre los meses de mayo a octubre, presentándose una pequeña sequía intraestival o canícula en el mes de agosto. La temperatura media anual es de 19.7°C, con temperaturas máximas entre los meses de marzo a junio y mínimas en los meses de noviembre a febrero.

El clima de las zonas de estudio es variado, existen ocho condiciones climáticas distribuidas de forma regular, alineadas de manera concéntrica en relación al Área de estudio. Predomina el semiseco-semicálido con una distribución alineada con el crecimiento urbano de los municipios desarrollados en las cercanías de los Ríos Atoyac y Salado. Le sigue el templado subhúmedo coincidente con la parte alta

de la cuenca y con menor presencia de núcleos poblacionales. Aparece en pequeñas áreas de las partes altas de las montañas (Cuadro 4.13 y Figura 4.14).

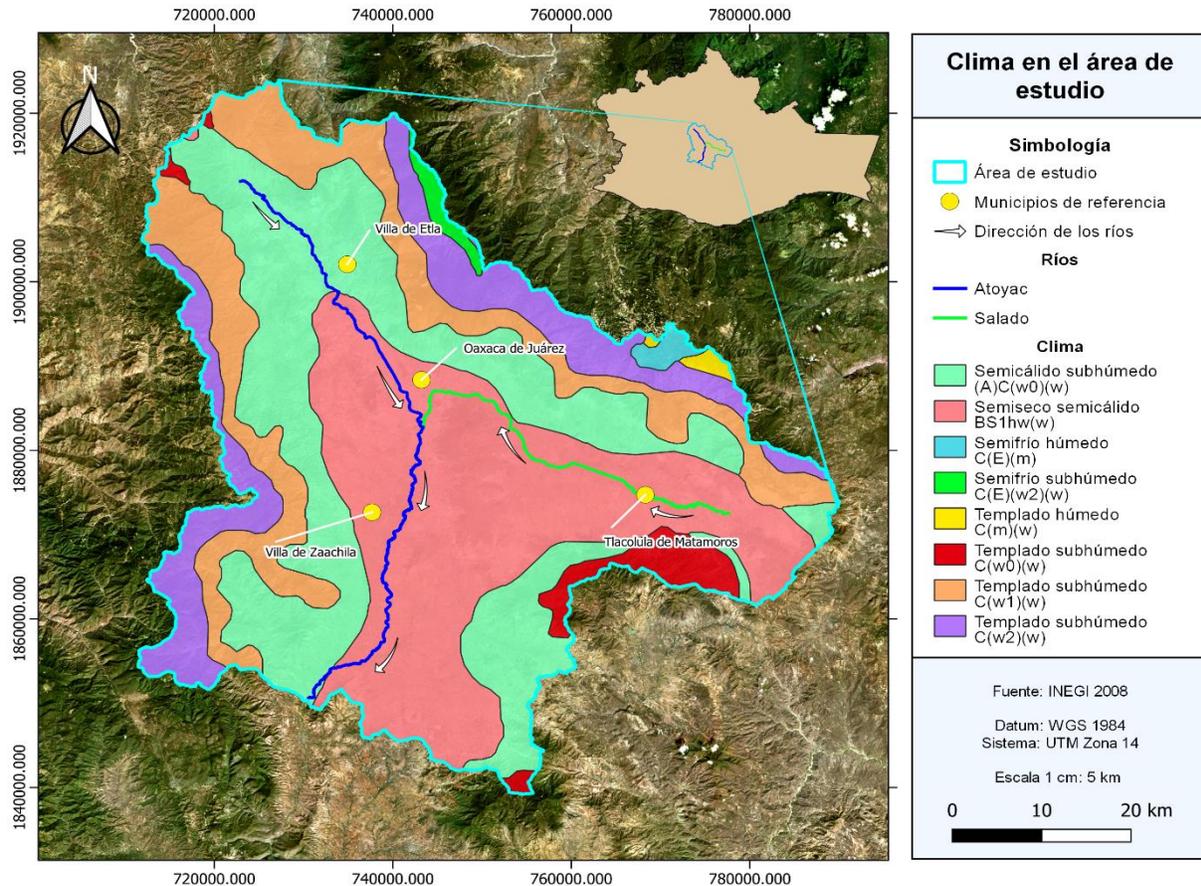
Cuadro 4.13. Descripción de los climas presentes en el Área de estudio.

Clima	Características
Semicálido subhúmedo (A)C(wO)(w)	Régimen de lluvias es de verano y presentan sequía en invierno. El mes de máxima precipitación se presenta dentro del período mayo-octubre, y este mes recibe por lo menos diez veces mayor cantidad de precipitación que el mes más seco del año. Temperatura media anual mayor de 18°C, temperatura del mes más frío menor de 18°C, temperatura del mes más caliente mayor de 22°C. Precipitación del mes más seco menor de 40 mm; lluvias de verano con índice P/T menor a 43.2 y porcentaje de lluvia invernal del 5% al 10.2% del total anual.
Semiseco semicálido BS1hw(w)	Semiárido, semicálido, temperatura media anual mayor de 18°C, temperatura del mes más frío menor de 18°C, temperatura del mes más caliente mayor de 22°C. Lluvias de verano y porcentaje de lluvia invernal del 5% al 10.2% del total anual.
Semifrío húmedo C(E)(m)	Semifrío húmedo, cuyos regímenes de lluvias corresponde a todo el año o abundantes lluvias en verano, se encuentra en altitudes de entre 2,800 y 3,800 msnm. Su temperatura media fluctúa entre 5 y 12 °C y temperatura del mes más caliente bajo 22°C. En regiones más elevadas, a partir de los 3,800 m, se puede encontrar el clima frío, que se caracteriza por su temperatura media anual de entre 2 y 5 °C. Precipitación en el mes más seco menor de 40 mm; lluvias de verano y porcentaje de lluvia invernal mayor al 10.2% del total anual
Semifrío subhúmedo C(E)(w2)(w)	Semifrío húmedo, con regímenes de lluvia en verano, escasas todo el año o de invierno, se encuentra en altitudes de entre 2,800 y 3,800 msnm. Su temperatura media fluctúa entre 5 y 12 °C y temperatura del mes más caliente bajo 22°C., en regiones más elevadas, a partir de los 3.800 m, se puede encontrar el clima frío, que se caracteriza por su temperatura media anual de entre 2 y 5 °C. Cuando el mes de máxima precipitación cae dentro del período mayo-octubre, y este mes recibe por lo menos diez veces mayor cantidad de precipitación que el mes más seco del año. Precipitación en el mes más seco menor de 40 mm.
Templado húmedo C(m)(w)	Templado, húmedo, temperatura media anual entre 12°C y 18°C, temperatura del mes más frío entre -3°C y 18°C y temperatura del mes más caliente bajo 22°C. Precipitación en el mes más seco menor de 40 mm; lluvias de verano y porcentaje de lluvia invernal del 5% al 10.2% del total anual.
Templado subhúmedo C(w0)(w)	Templado, subhúmedo, temperatura media anual entre 12°C y 18°C, temperatura del mes más frío entre -3°C y 18°C y temperatura del mes más caliente bajo 22°C. Precipitación en el mes más seco menor de 40 mm; lluvias de verano con índice P/T menor de 43.2 y porcentaje de precipitación invernal del 5% al 10.2% del total anual.
Templado subhúmedo C(w1)(w)	Templado, subhúmedo, temperatura media anual entre 12°C y 18°C y temperatura del mes más caliente bajo 22°C. Precipitación en el mes más seco menor de 40 mm; lluvias de verano con índice P/T entre 43.2 y 55 y porcentaje de lluvia invernal del 5% al 10.2% del total anual.
Templado subhúmedo C(w2)(w)	Templado, subhúmedo, temperatura media anual entre 12°C y 18°C, temperatura del mes más frío entre -3°C y 18°C y temperatura del mes más caliente bajo 22°C. Precipitación en el mes más seco menor de 40 mm; lluvias de verano con índice P/T mayor de 55 y porcentaje de lluvia invernal del 5 al 10.2% del total anual.

En general, el rango en el que oscila la variedad de climas es homogéneo, la diferencia entre la máxima y mínima temperatura en toda el área de estudio es de 10°C. Considerando la relación entre el clima y temperatura, una particularidad a resaltar es que el clima semiseco-semicálido, se distribuye coincidentemente con las zonas de mayor temperatura en la Zona de estudio del Alto y Bajo Atoyac,

mientras la Zona de estudio Río Salado presenta temperaturas más bajas. Otro punto a observar es que en la porción norte del Alto Atoyac se registra un punto aislado con el mismo rango de temperatura que se observa en la distribución central, como se observa (Figura 4.14).

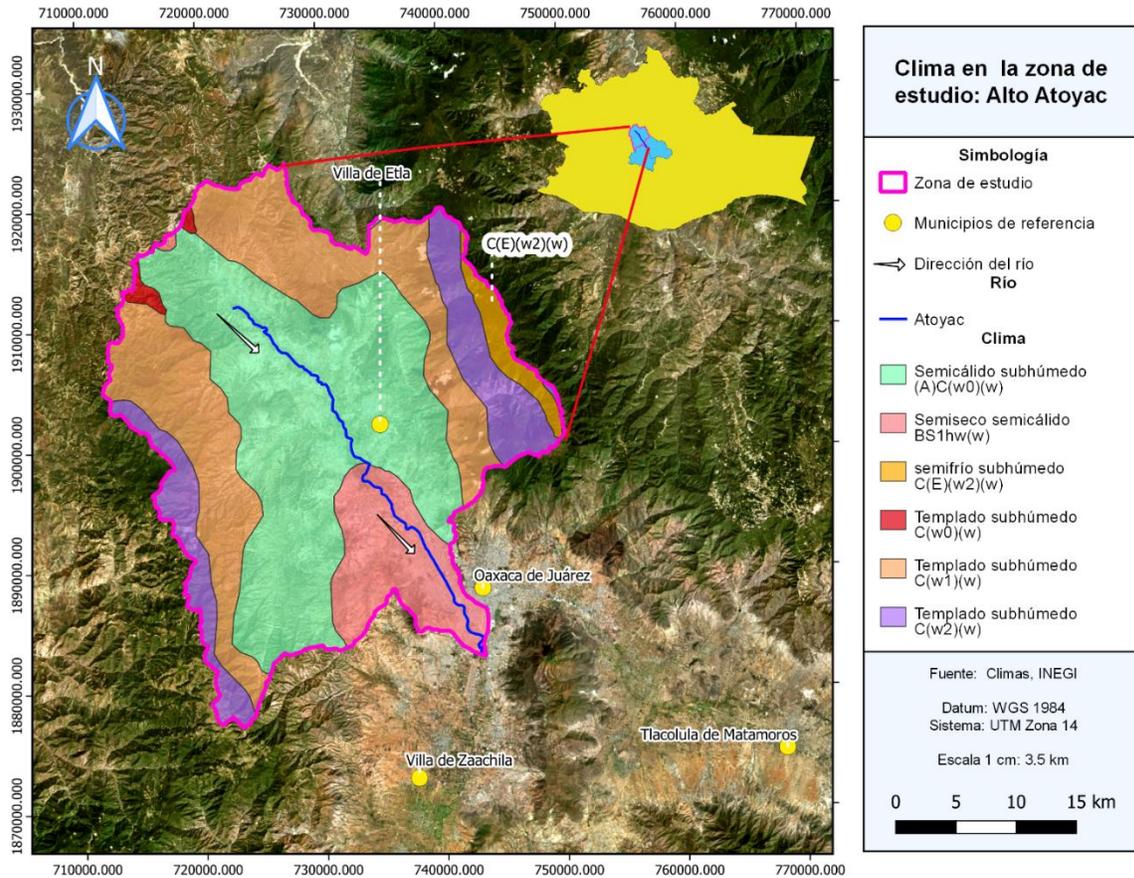
Figura 4.14. Tipos de clima en el área de estudio.



4.2.2.2. Clima en Zona de estudio Alto Atoyac

Presenta seis tipos de clima, con una distribución alineadas al curso del Río Atoyac de manera longitudinal, el cual se encuentra en medio de esta distribución. El clima semiseco semicálido se presenta en la parte central sur, donde tiene mayor amplitud y va disminuyendo conforme se distribuye hacia la parte media de la zona y una mínima porción en el límite norte. En seguida, de manera uniforme se presenta el clima semicálido subhúmedo ocupando la parte central de la zona de estudio, continúa el clima templado subhúmedo hacia la porción este y oeste de la zona de estudio. El clima templado subhúmedo se presenta en franjas longitudinales en el límite oeste y cerca al límite este de la zona. El clima semifrío subhúmedo se observa en una delgada franja en el límite este de la zona. Finalmente, en una mínima porción, en la parte norte colindando con los climas templado subhúmedo y semicálido subhúmedo se presenta el clima templado subhúmedo (Figura 4.15).

Figura 4.15. Tipos de clima en la Zona de estudio Alto Atoyac.

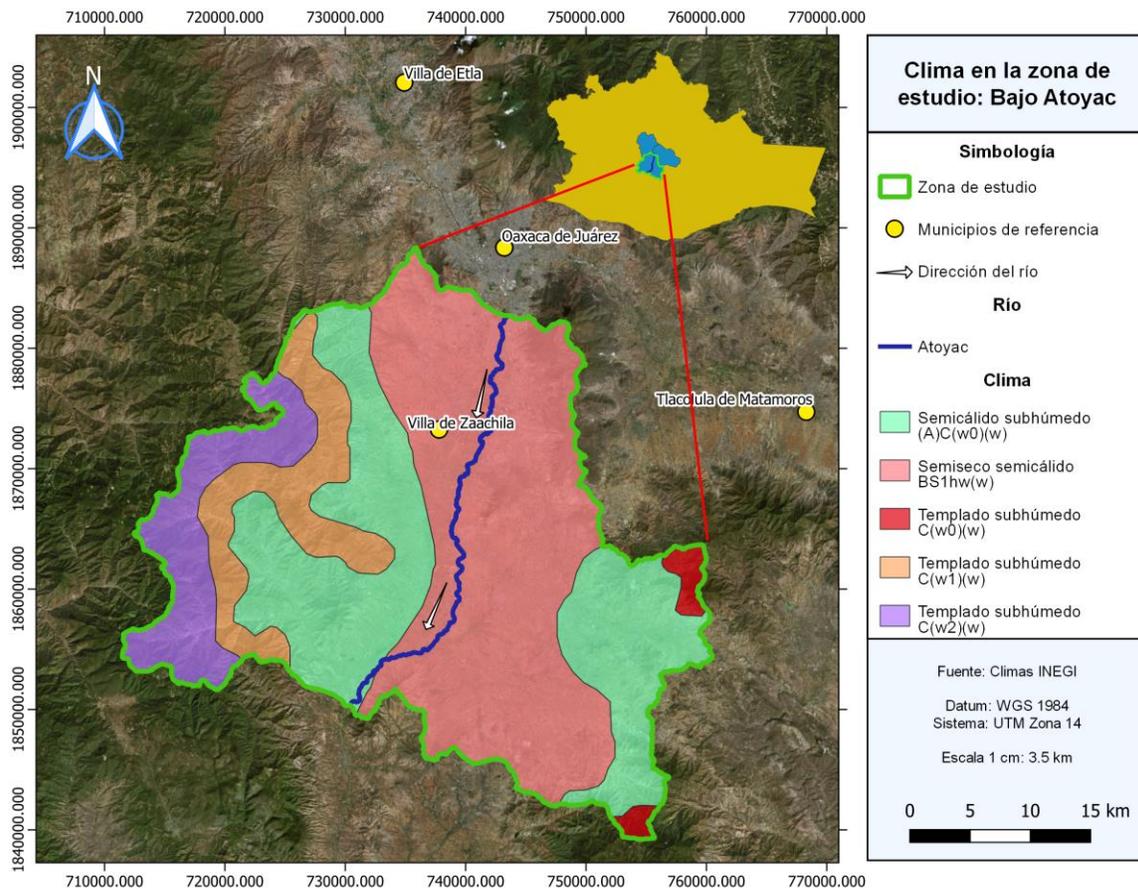


4.2.2.3. Clima en Zona de estudio Bajo Atoyac

En esta zona se encuentran cinco tipos de clima, de los que se observan en la zona de estudio Alto Atoyac, se mantiene la continuidad de la distribución, de manera que el clima semiseco semicálido se presenta a lo largo del Río Atoyac con mayor extensión hacia la porción este de la zona.

El clima semicálido subhúmedo aparece a ambos lados del clima descrito anteriormente, de forma paralela al flujo. Le siguen una franja de los dos tipos de clima templado subhúmedo, en el límite de la zona por el lado oeste. En el límite este de la zona aparecen dos pequeñas áreas con clima templado subhúmedo (Figura 4.16).

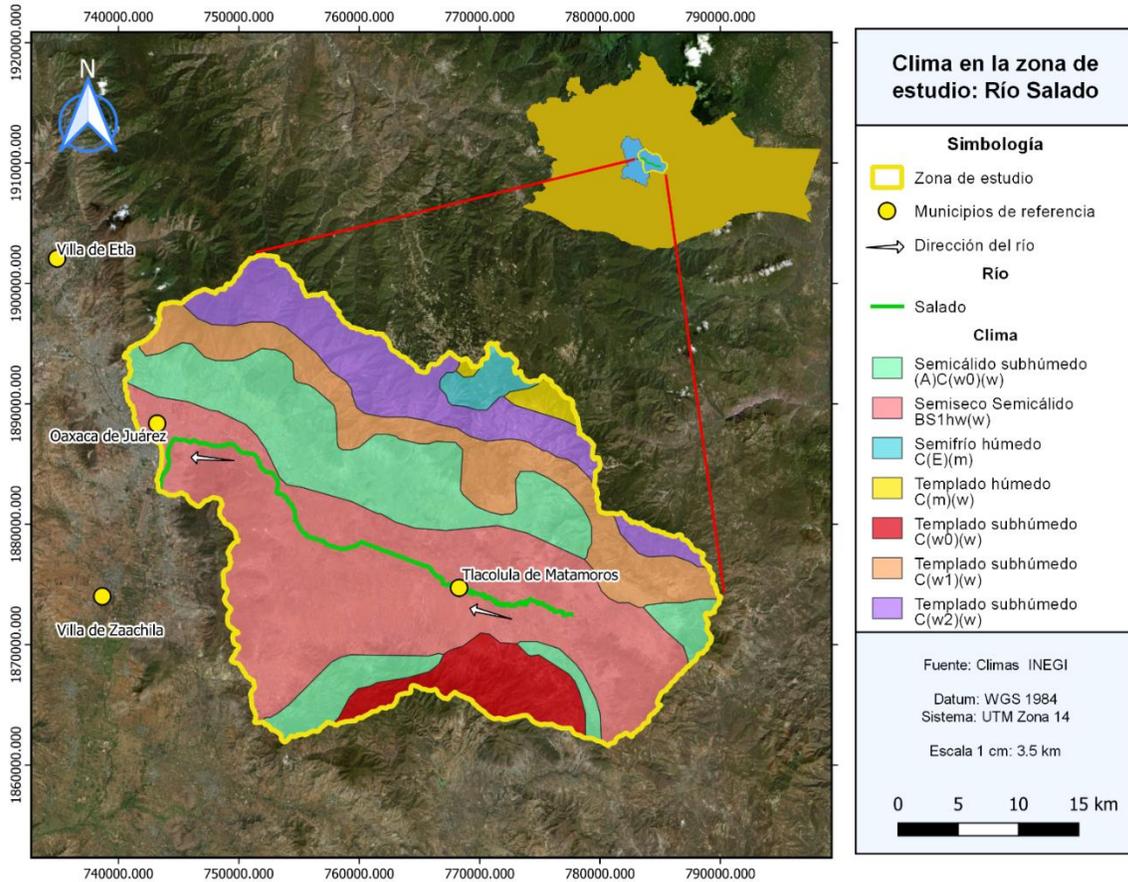
Figura 4.16. Tipos de clima en la Zona de estudio Bajo Atoyac.



4.2.2.4. Clima en Zona de estudio Río Salado

En esta zona se encuentran siete tipos de clima de los ocho descritos para el área de estudio. El semiseco semicálido aparece distribuido en el mismo sentido del Río Salado, el flujo se encuentra inmerso, en su totalidad, en el área cubierta por este clima. Hacia la parte norte y sur del clima descrito anteriormente le sigue una franja del clima semicálido subhúmedo, presente también en una pequeña porción al este de la zona. En seguida se presenta una franja del clima templado subhúmedo extendida de este a oeste en sentido paralelo al norte del río. Continúa una franja menos extensa de otro tipo del clima templado subhúmedo, colindando, en su mayor parte, con el límite de la zona. En el límite norte de la zona, en dirección de la Sierra Norte, se observan dos pequeñas porciones del clima templado húmedo y semifrío húmedo, presentes únicamente en esta parte de la zona. En la porción sur de la zona en el límite de la misma hay una pequeña porción con clima templado subhúmedo (Figura 4.17).

Figura 4.17. Tipos de clima en la Zona de estudio Río Salado.



El clima semicálido subhúmedo (A)C(w0)(w) y el semiseco semicálido BS1hw(w) tienen una distribución coincidente con el flujo de los ríos, por lo que se esperaría un clima menos cálido en el área pero las zonas urbanas representan una fuente de calor en la región de valles y llanuras pudiendo generar ambientes más cálidos y una menor precipitación.

Los climas semifrío húmedo C(E)(m), semifrío subhúmedo C(E)(w2)(w) y templado húmedo C(m)(w) se distribuye en porciones mínimas en el lado este del área a alturas mayores a los 3,000 m.s.n.m. y temperaturas de hasta 12°C, alejados del impacto de las zonas urbanas.

El clima C(w1)(w) se presenta en los márgenes este y oeste a lo largo del límite del área de estudio, coincidiendo con el relieve de la sierra a alturas de más de 2,000 m.

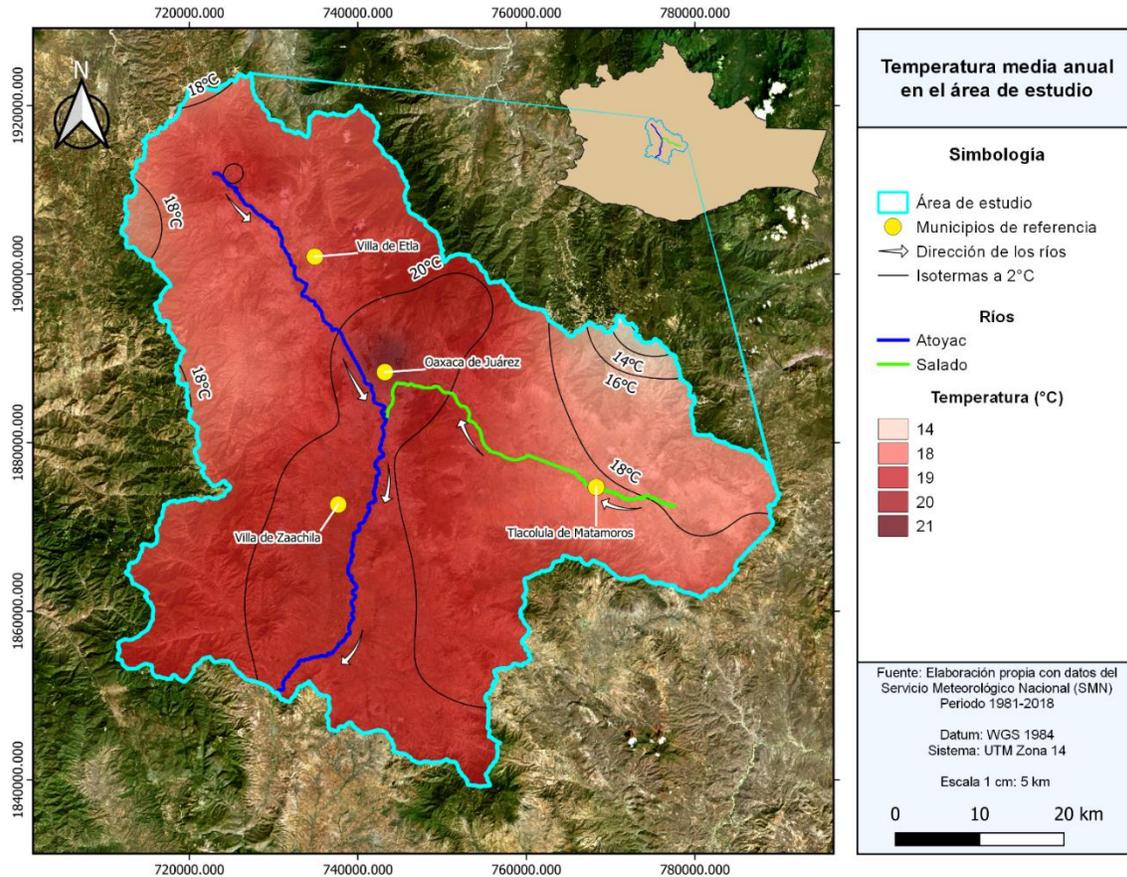
Si bien las variaciones climáticas se están presentando por fenómenos globales, entre ellos el cambio climático, acciones locales permitirán generar estrategias para poder mitigar estas alteraciones. Dentro de la matriz del GET, el Eje II. Manejo Integrado de Cuenca, en los incisos c, d y e, se consideran actividades, principalmente de reforestación, para contribuir a mantener el clima en la el área y zonas de estudio.

4.2.3. Temperatura

4.2.3.1. Temperatura en el área de estudio

La temperatura es la medida física que indica la cantidad de energía o calor presente en el aire del medio ambiente. Es uno de los factores meteorológicos, como el viento, humedad o precipitación, que determinan las condiciones ambientales. Su variabilidad influye, de forma directa, con la posibilidad de desarrollo de las diferentes formas de vida (Figura 4.18).

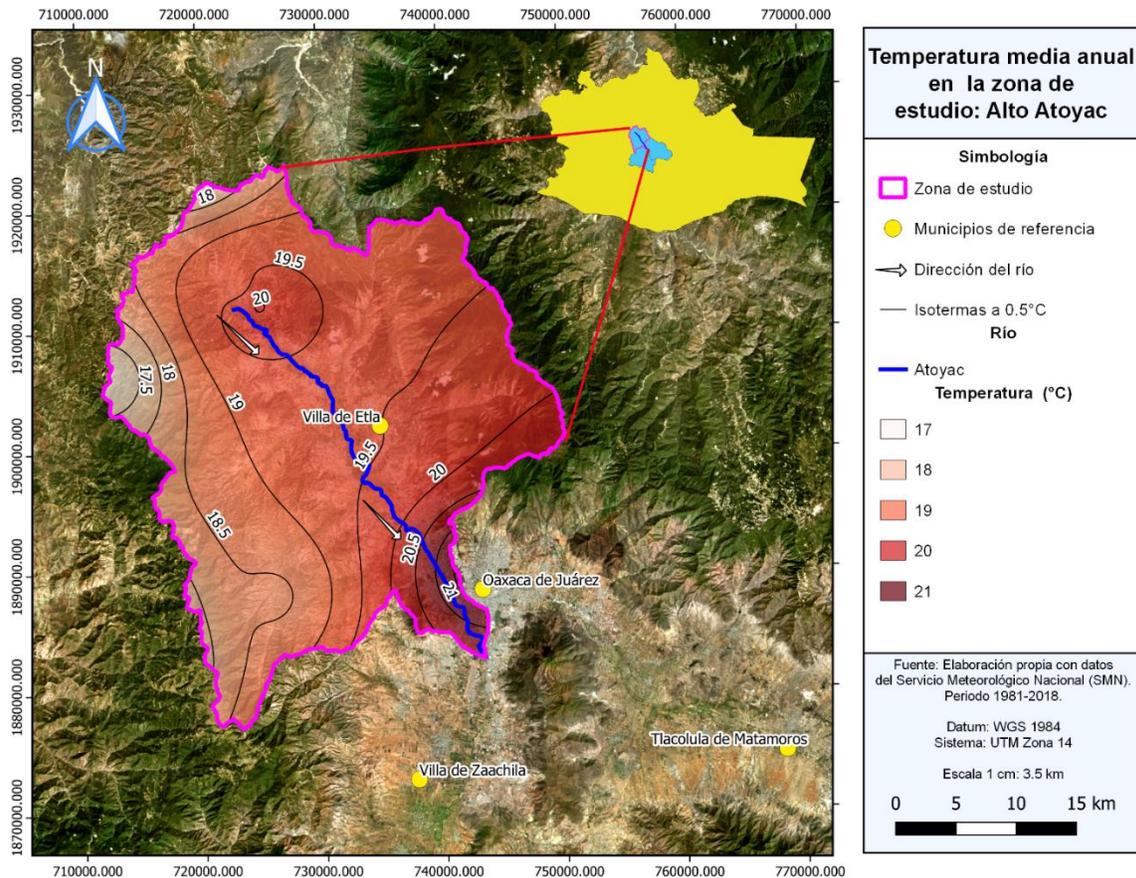
Figura 4.18. Temperatura media anual en el área de estudio.



4.2.3.2. Temperatura en Zona de estudio Alto Atoyac

La mayor temperatura observada, de 21°C, se encuentra en una pequeña porción en la parte sur del curso del afluente en el límite del perímetro de la zona. La distribución de la temperatura para la mayor parte del territorio de la zona se encuentra dentro de un rango de 17.5°C a 20.5°C. La temperatura más baja se observa únicamente en una pequeña porción en la parte noroeste (Figura 4.19).

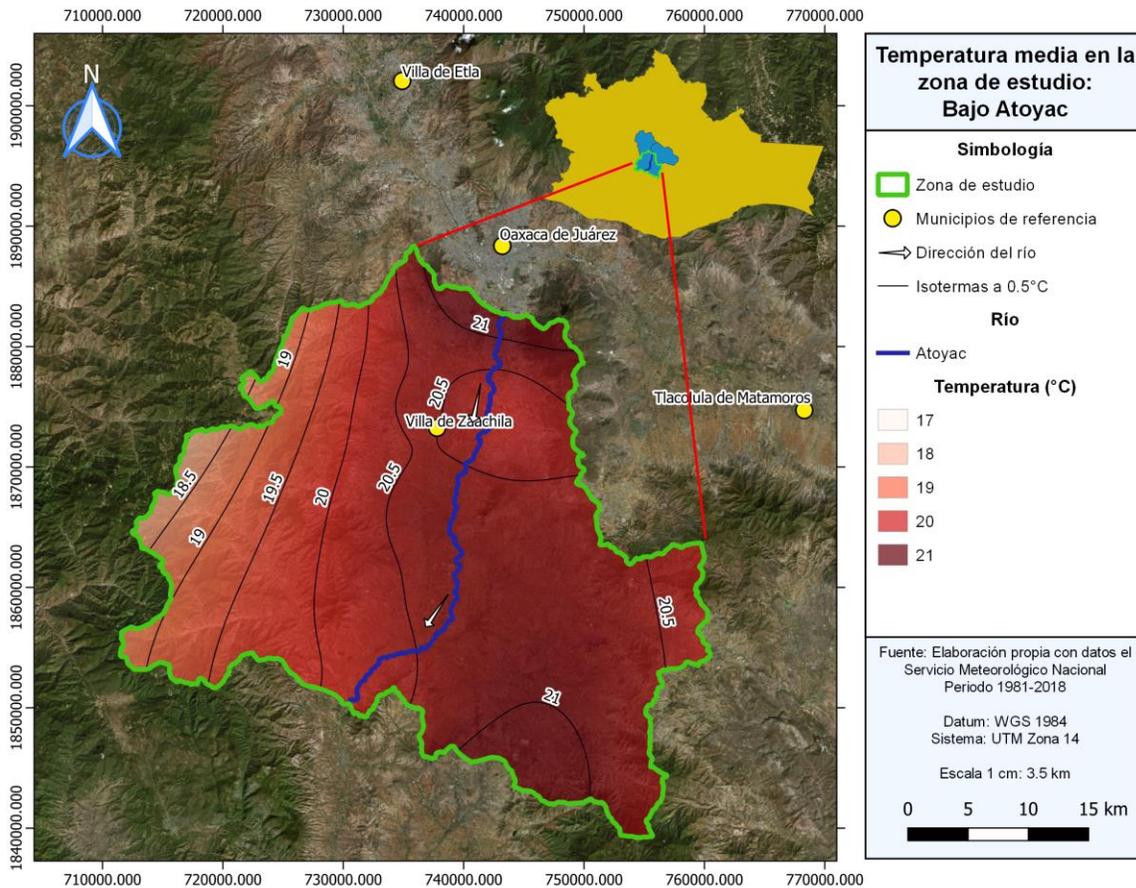
Figura 4.19. Temperatura media en la Zona de estudio Alto Atoyac.



4.2.3.3. Temperatura en Zona de estudio Bajo Atoyac

Las temperaturas más altas se presentan en la mitad del lado este del Río Atoyac, entre 20°C a los 21°C; en el territorio en donde se distribuye este rango de temperatura escurre la mayor parte del afluente del río. En la porción oeste de la zona, la distribución de la temperatura se presenta en franjas paralelas, orientadas de forma paralela al río. La menor temperatura es de 18°C en el límite de la zona de estudio, la cual aumenta a poco más de 20°C hacia el curso del río (Figura 4.20).

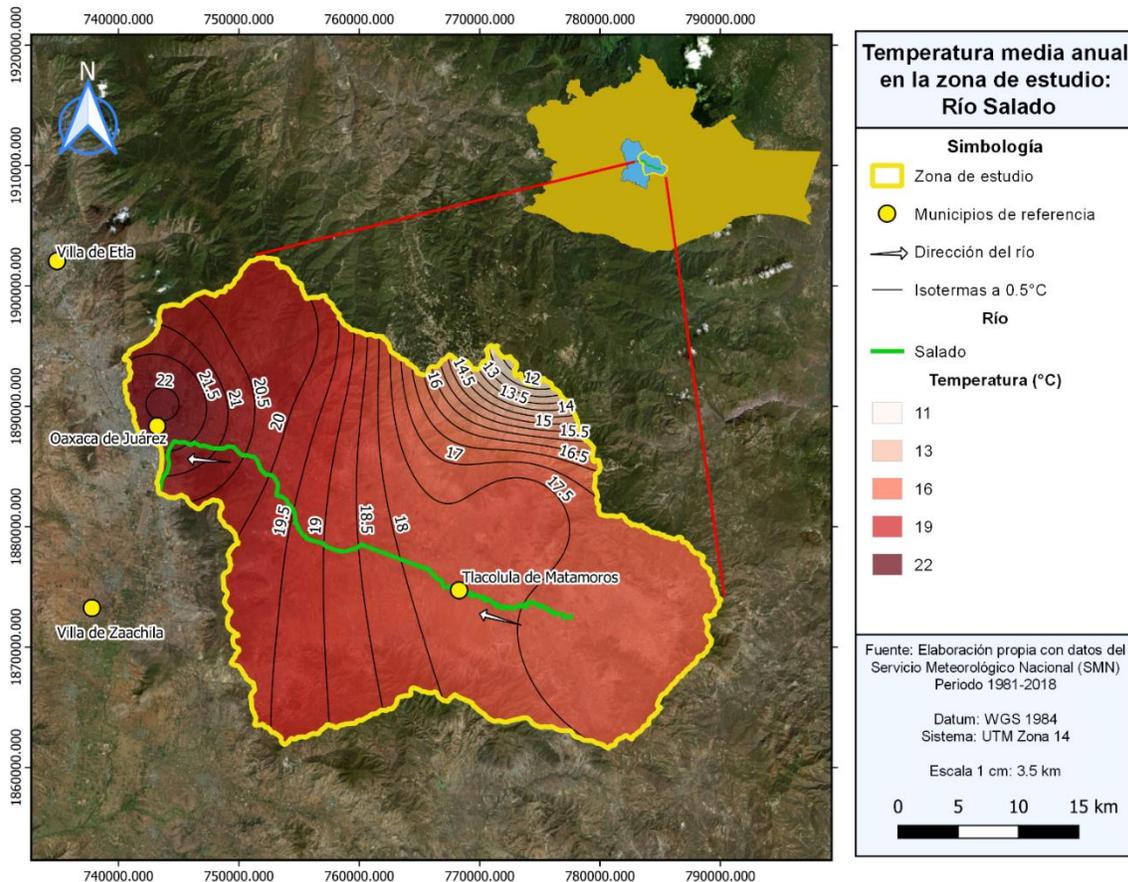
Figura 4.20. Temperatura media en la Zona de estudio Bajo Atoyac.



4.2.3.4. Temperatura en Zona de estudio Río Salado

Las más altas temperaturas se presentan en la parte norte-oeste en donde se ha desarrollado la ZMO con poco más de los 22°C. a los 20.25°C. La temperatura en la mitad oeste de la zona fluctúa entre los 18°C- 22°C y la mitad este entre poco más de los 11°C-18°C. Las menores temperaturas se observan en el lado norte-este, hacia la Sierra Norte. Se observa que el escurrimiento del Río Atoyac atraviesa un rango de temperatura entre 17°C a 20°C, desde su nacimiento a la parte en donde se agrega al flujo del Bajo Atoyac (Figura 4.21).

Figura 4.21. Temperatura en la Zona de estudio Río Salado.



Las temperaturas más elevadas se distribuyen principalmente de la parte central y hacia la porción inferior, en la Zona Bajo Atoyac. Esto se entiende por el desarrollo urbano que es mayor en estas áreas, en la ciudad de Oaxaca de Juárez y alrededores, donde los elementos urbanos como el pavimento, construcciones y combustión elevan la temperatura local, alcanzando los 22°C en las áreas de mayor desarrollo. La disminución de la temperatura hacia el lado noreste de la zona se observa en la porción donde hay presencia de cobertura vegetal, donde se desarrollan áreas de bosque de pino, vegetación secundaria arbórea de bosque de encino, vegetación secundaria arbórea de bosque de pino-encino y vegetación secundaria arbustiva de bosque de encino-pino.

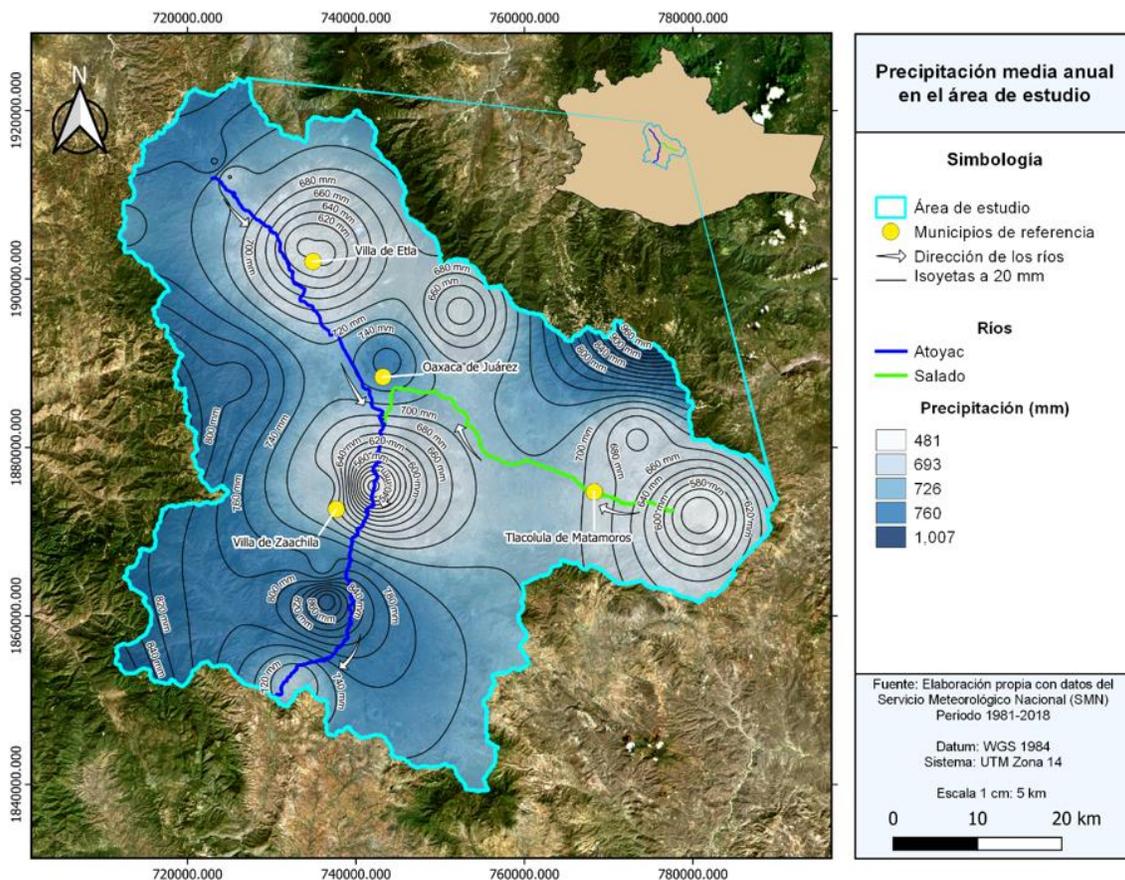
Lo anterior resulta de un esquema de regulación ineficiente para las fuentes de emisiones de efecto invernadero, los planes de manejo de emisiones actuales no están funcionando, ya que el marco regulatorio no es específico para las condiciones de Oaxaca, en especial las de efecto invernadero. Si estas condiciones persisten, la temperatura media anual continuará aumentando.

4.2.4. Precipitación

4.2.4.1. Precipitación en área de estudio

La precipitación es la cantidad de lluvia que cae sobre un punto determinado de la superficie terrestre como resultado de la condensación del vapor de agua atmosférico. SEMARNAT y CONAGUA (2014) mencionan que, en términos generales, en la región sur de la República Mexicana, en la cual se encuentra inmersa el área de estudio, hay condiciones de humedad atmosférica y de factores climáticos de viento, temperatura y presión atmosférica que favorecen la precipitación pluvial, la cual oscila entre 801 mm y 1,200 mm al año, para la región en donde se encuentra el Área de estudio. Hay dos tipos prevalentes de lluvia en esta región, una es ocasionada por el calentamiento del aire en la zona de interfaz con el suelo en presencia de humedad y vapor de agua, llamada convectiva y por el movimiento de masas de aire desde regiones de alta presión a regiones de baja presión, llamada ciclónica (Figura 4.22).

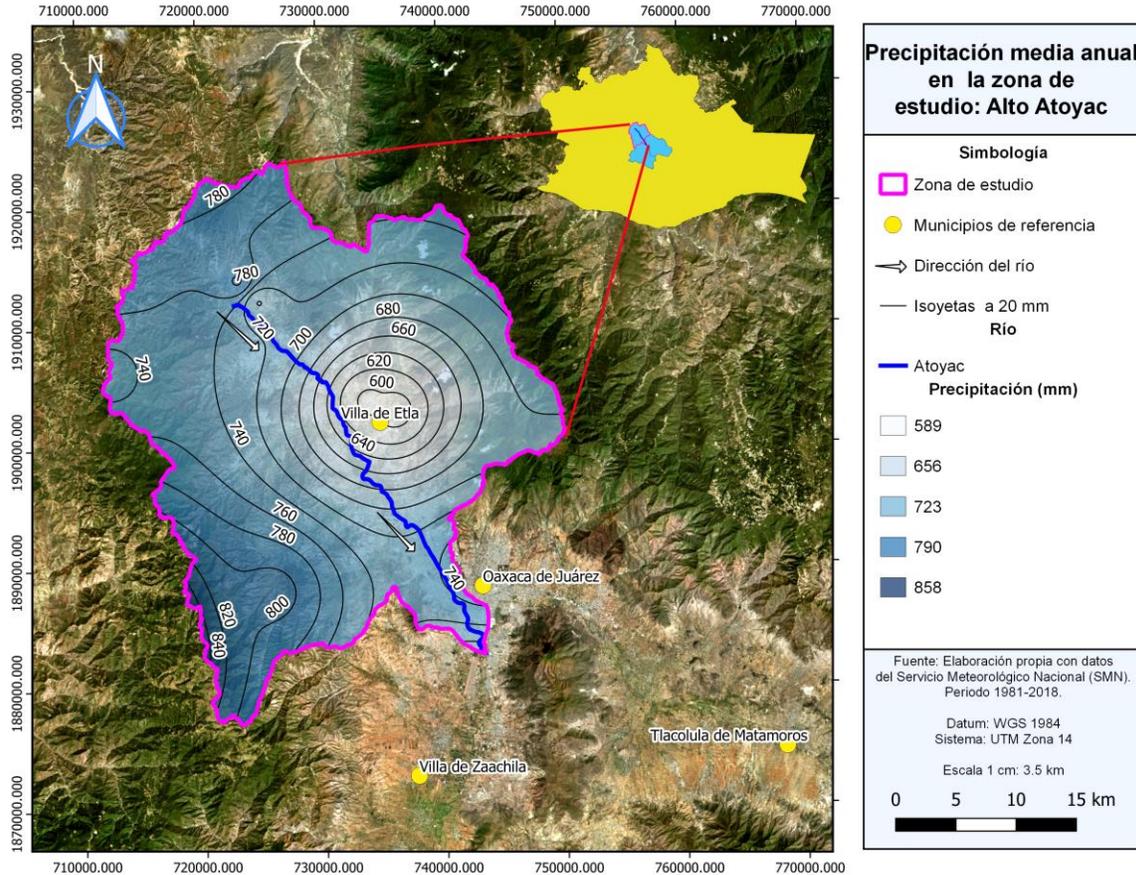
Figura 4.22. Precipitación media anual en el área de estudio.



4.2.4.2. Precipitación en Zona de estudio Alto Atoyac

La mayor precipitación ocurre en el lado oeste del Río Atoyac. Los volúmenes más altos oscilan entre 740 y 840 mm. El volumen va disminuyendo hacia la parte media de la zona de estudio y hacia la porción este del río, alcanzando los valores más bajos, por debajo de los 600 mm (Figura 4.23).

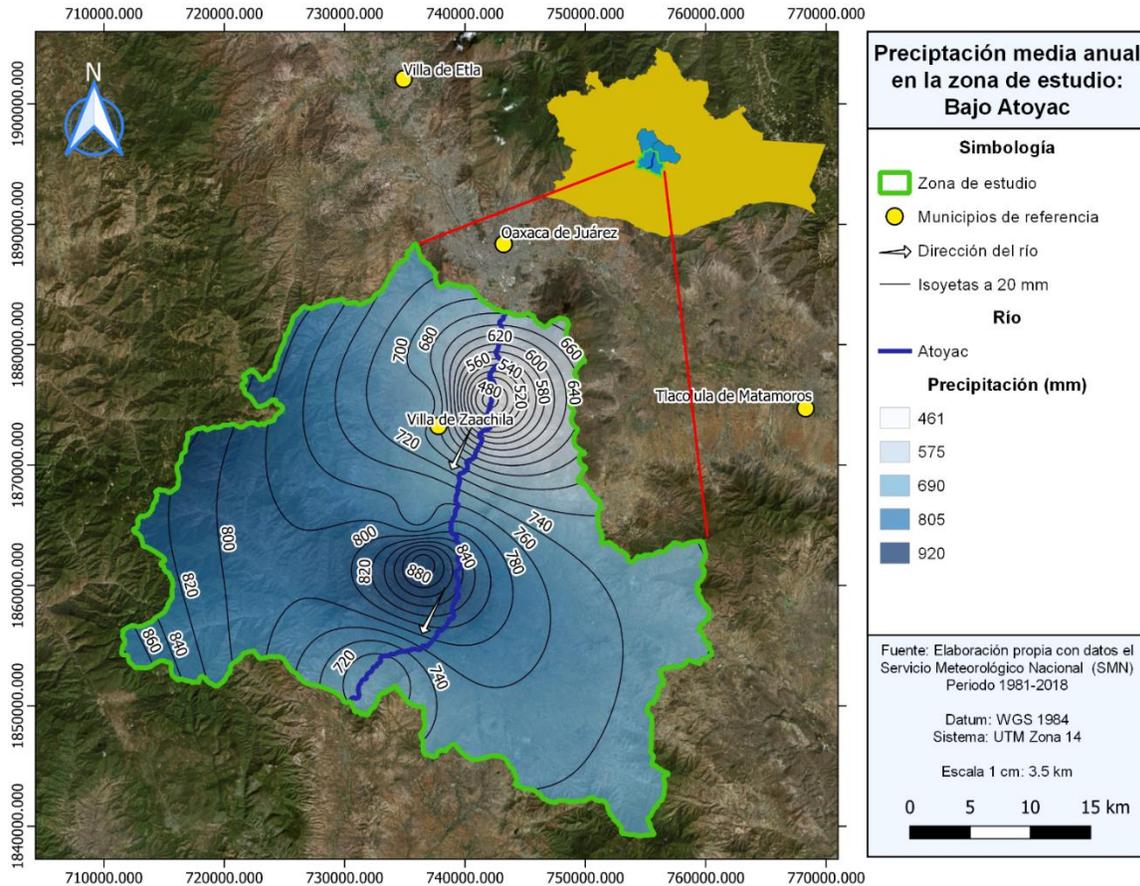
Figura 4.23. Precipitación media en la Zona de estudio Alto Atoyac.



4.2.4.3. Precipitación en la Zona de estudio Bajo Atoyac

La mayor precipitación ocurre en la porción media-sur del lado oeste del Río Atoyac y lo largo de la porción oeste de la zona. Los volúmenes más altos oscilan entre 790 y 890 mm y se distribuyen de manera homogénea en la mayor parte del territorio de esta zona. Los volúmenes de menor valor se presentan en la porción norte, de manera concéntrica al curso del río y hacia el límite de la zona de estudio, con valores menores a los 650 mm (Figura 4.24).

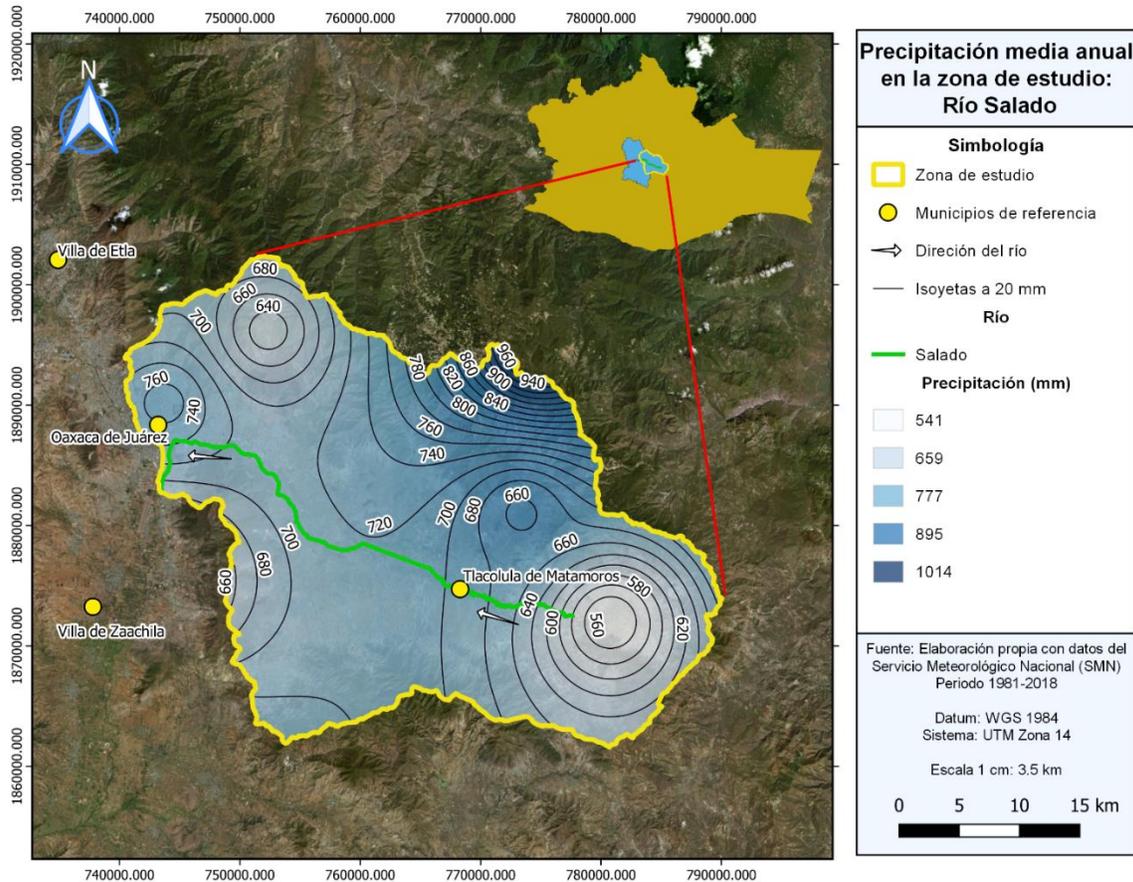
Figura 4.24. Precipitación media en la Zona de estudio Bajo Atoyac.



4.2.4.4. Precipitación en la Zona de estudio Río Salado

En esta zona el área de mayor precipitación está reducida a una zona focalizada en la porción noreste de la zona de estudio, coincidente con la Sierra Norte. Los valores de precipitación en esta área van de 810 a 990 mm en los límites de la zona. Se observan dos puntos con la menor precipitación, una en la porción este de la zona, en donde surge el Río Salado, con un valor de 610 a 690 mm. La otra en la parte norte de la zona con una precipitación de 690 mm. La mayor parte del afluente escurre en un área con 710 mm de precipitación. El resto del territorio tiene una precipitación entre 650 a 730 mm a lo largo del límite oeste de la zona Río Salado (Figura 4.25).

Figura 4.25. Precipitación media en la Zona de estudio Río Salado.



La ubicación del área de estudio, inmersa en un Estado costero del Océano Pacífico, aunado a lo accidentado de su relieve, genera los valores de mayor precipitación en las áreas montañosas, principalmente a lo largo del lado oeste, en la parte norte y una porción coincidente con la Sierra Norte en el lado este del área. En estas áreas la cobertura vegetal, proporciona humedad a la atmósfera y las temperaturas permiten su condensación. De esta forma dan origen a la compleja red hidrográfica presente en el área, donde los periodos de precipitación están en función de dos estaciones del año principales: húmeda y seca; la temporada húmeda se presenta inicialmente durante el verano desde finales de mayo, continúa hasta noviembre, el resto del año es la temporada seca.

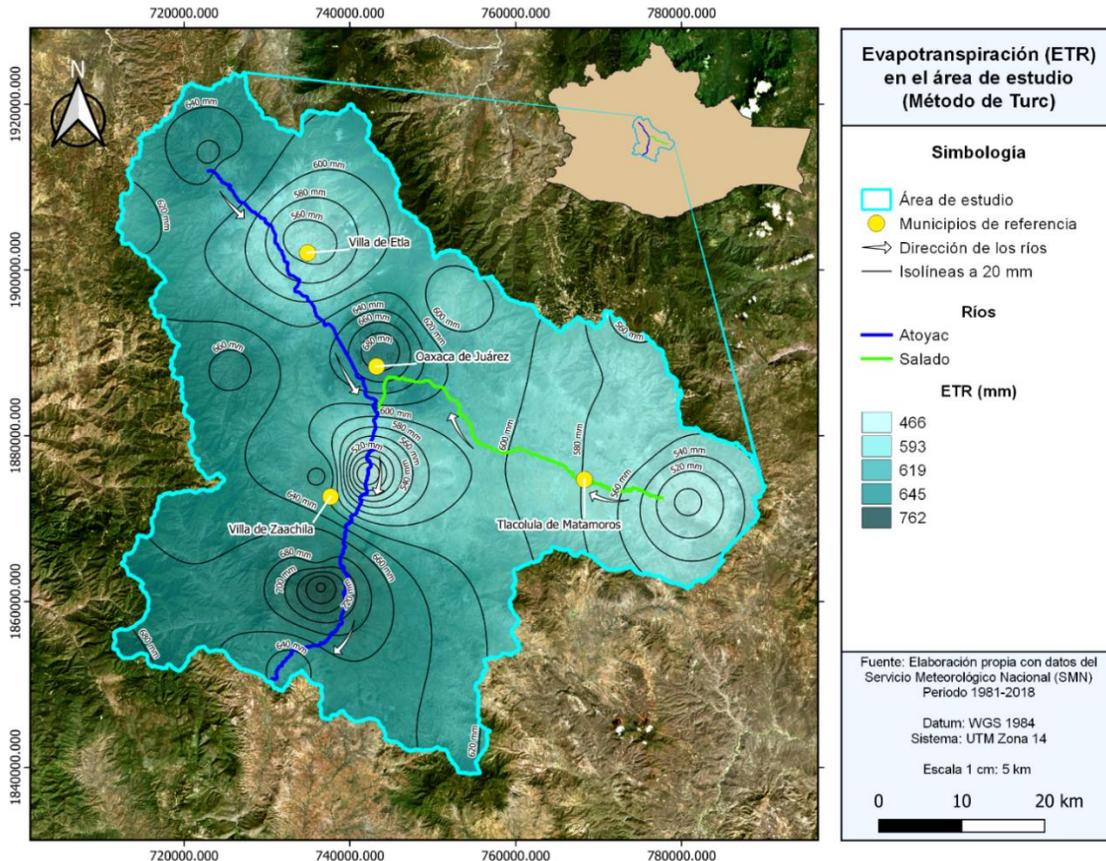
Siendo la precipitación la entrada de agua dulce a la Subcuenca RH20Ac, y debido al mal manejo ambiental que se ha tenido durante eventos de lluvias torrenciales, que propicia afectaciones a terrenos, campos de cultivo e inundaciones. La matriz de trabajo del GET en los ejes: II. Manejo Integrado de

Cuenca, en los incisos a, b, c, f, g y h; V. Normatividad ambiental, inciso a, y el VI. Rehabilitación de cauces de ríos y riberas, considera implementar acciones que contribuyan a aprovechar el agua de lluvia, potenciar la infiltración, y regular áreas que históricamente han sido afectadas por inundaciones. Estas actividades se retomarán en el Plan Integral de Saneamiento.

4.2.5. Evapotranspiración en el área de estudio

La evapotranspiración es el resultado de la combinación de dos procesos en los que se pierde agua, la evaporación y transpiración. Ocurren de manera simultánea y determinan la formación del vapor atmosférico, una vez que alcanza condiciones de condensación, retorna a la superficie en forma de precipitación. En la evaporación, el agua líquida se convierte en vapor de agua que se separa de distintas superficies, como cuerpos de agua, suelos y la vegetación. La transpiración consiste en la vaporización del agua líquida contenida en los tejidos de las plantas que conforman la vegetación y cultivos, y la posterior transferencia a la atmósfera (Figura 4.26).

Figura 4.26. Evapotranspiración en el área de estudio.

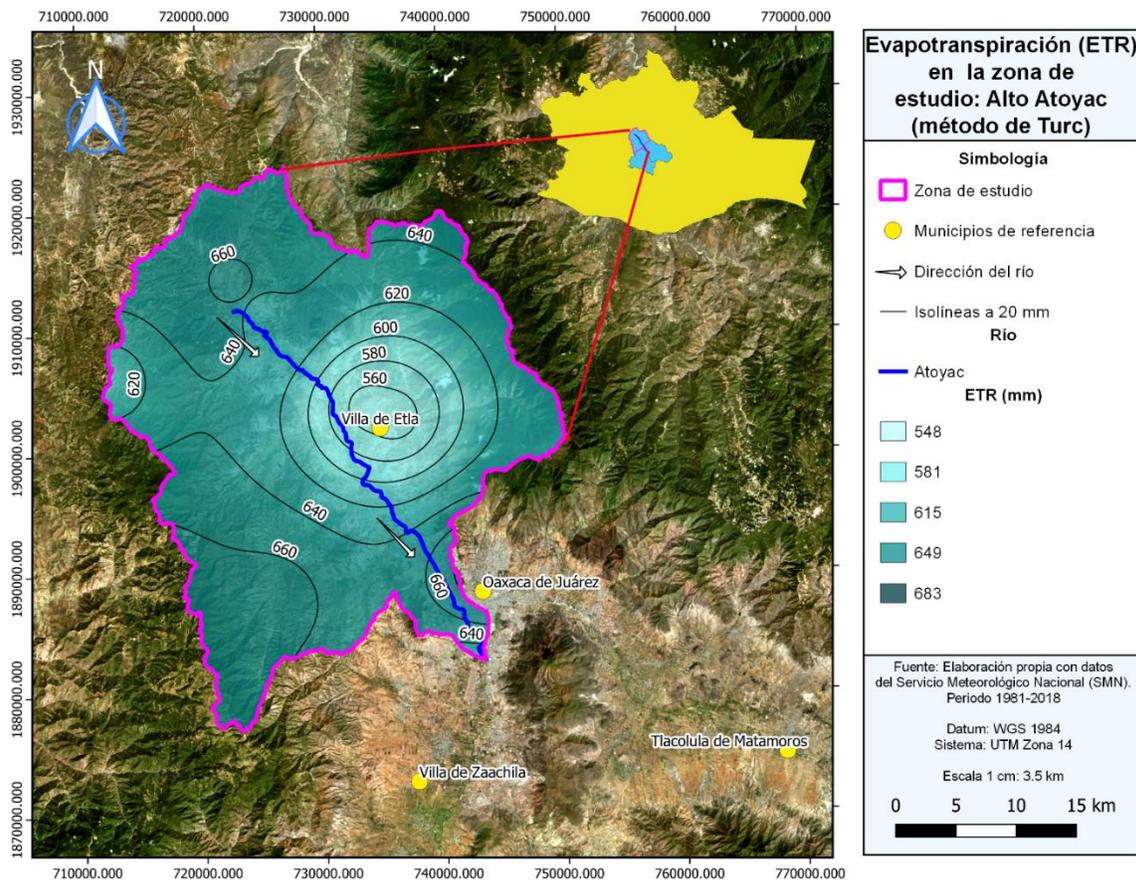


La evapotranspiración se produce en función de variables meteorológicas (temperatura, radiación solar, vientos, humedad relativa y precipitación), factores de cultivo (tipo, variedad, etapa de desarrollo y densidad del cultivo), características de la vegetación y la disponibilidad de agua en el suelo. La combinación de estos factores generó valores de ETR menores a los de precipitación dentro del área de estudio.

4.2.5.1. Evapotranspiración en Zona de estudio Alto Atoyac

Los valores más altos de evapotranspiración se presentan en los límites de la zona de estudio, en la porción norte y en el lado oeste con un valor de 660 mm, coincidiendo con una temperatura entre los 19°C y 20°C. En la porción sur la evapotranspiración tiene un valor entre los 640 y 660 mm, coincidiendo con las temperaturas más elevadas de la zona entre 20°C y 21°C. Los valores menos elevados se observan abarcando en la porción este de la zona, con un rango de 560 a 640 mm. Los puntos de mayor valor de la evapotranspiración coinciden también, con los puntos de mayor precipitación media, en el límite de la porción norte con 780 mm, en el de la porción sureste con 800 mm y en la porción sur con 740 mm. En términos generales se puede observar que el volumen de agua precipitado es mayor al que se traslada a la atmósfera por evapotranspiración (Figura 4.27).

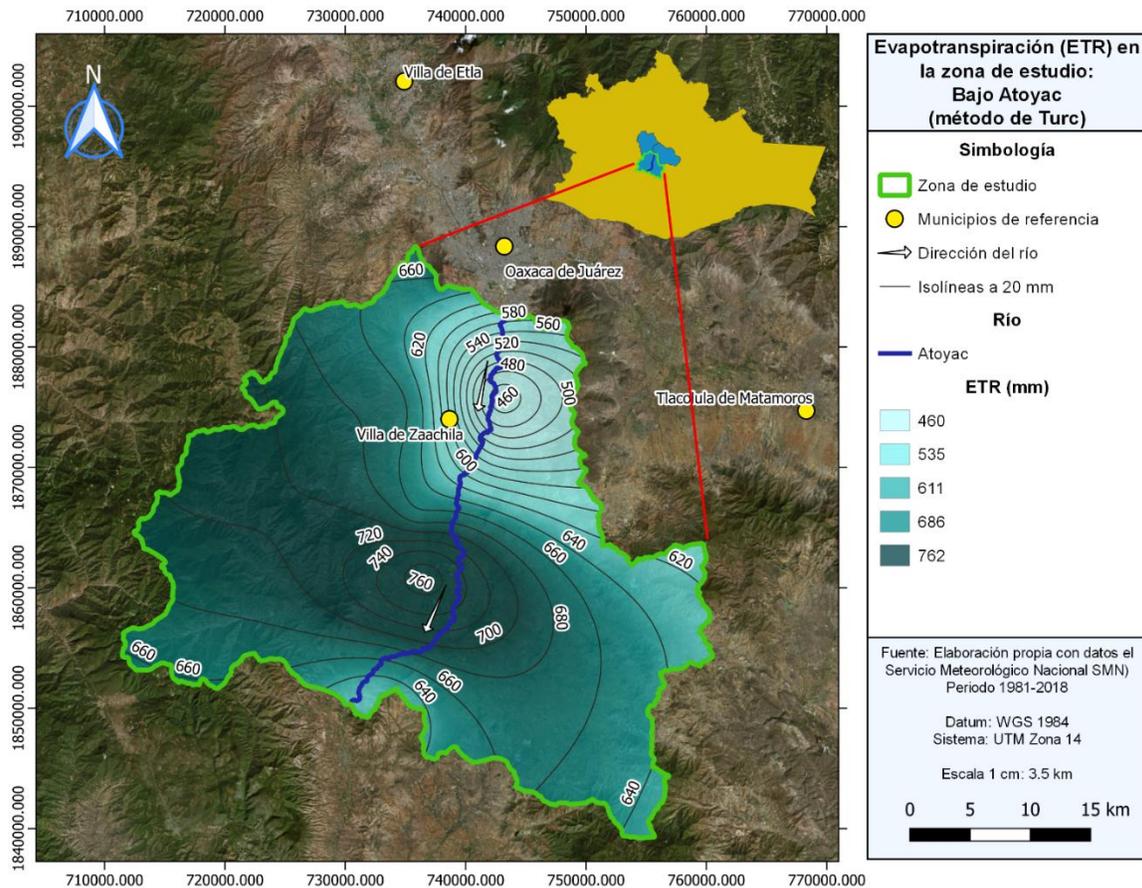
Figura 4.27. Evapotranspiración en la Zona de estudio Alto Atoyac.



4.2.5.2. Evapotranspiración en Zona de estudio Bajo Atoyac

Se observan dentro de un área delimitada, en la porción norte, el gradiente de los valores más bajos de precipitación, entre 460mm y 580 mm. El gradiente se va distribuyendo con mayor amplitud en el resto de la zona, y con los valores más elevados en la porción media junto al curso del Río Atoyac hacia la parte sur, con valores entre 720 mm y 760 mm, esta área se presenta en un punto donde la temperatura oscila entre los 20°C y 20.7°C y una precipitación de 750 mm 810 mm. En esta zona las áreas de mayor y menor valor de evapotranspiración coinciden con los vaores de mayor y menor valor de precipitación. De la misma manera que en el Alto Atoyac, el volumen de agua que precipita es mayor al que se evapotranspira como se muestra en la siguiente Figura 4.28.

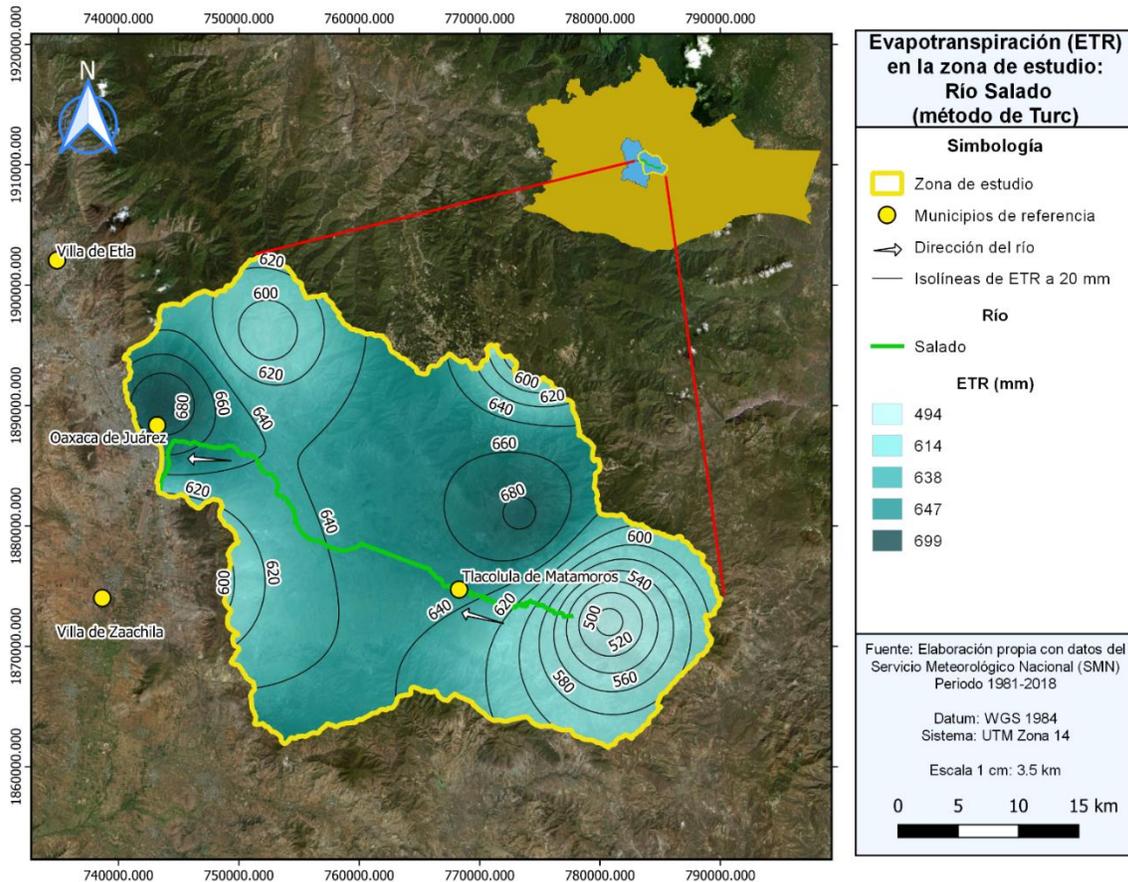
Figura 4.28. Evapotranspiración en la Zona de estudio Bajo Atoyac.



4.2.5.3. Evapotranspiración en Zona de estudio Río Salado

Los valores más altos de 680 mm evapotranspiración se observan en la porción noroeste en el límite de la zona y en la porción este del lado norte del Río Salado, en donde coincide con un área de menor precipitación en la zona con 650 mm. En la parte noroeste se encuentra la zona de mayor desarrollo urbano, con las temperaturas más altas de la zona, entre 20°C y 22°C. La menor evapotranspiración se concentra en la porción este, en la parte donde se origina el afluente, con valores entre 500 mm y 600 mm, coincidiendo con los valores más bajos de precipitación de la zona, entre 610mm y 670 mm. En el resto de la zona la evapotranspiración está entre los 620mm y 640 mm. En esta zona, como en las dos anteriores, el volumen de agua precipitado es mayor al que se va a la atmósfera por la evapotranspiración (Figura 4.29).

Figura 4.29. Evapotranspiración en la Zona de estudio Río Salado.



En la Zona Alto Atoyac se observa que en el área de urbanización en Villa de ETLA los valores de evapotranspiración son de los más bajos, esto se debe a la pérdida de áreas que producen humedad (con cobertura forestal) han sido reducidas para dar cabida al crecimiento urbano. Hacia la parte central del área de estudio, en la ciudad de Oaxaca de Juárez y alrededores, la evapotranspiración aumenta, a pesar de la disminución de cobertura vegetal. Esto se puede explicar por la evaporación de la humedad que brinda la cercanía con la Sierra Norte.

Los valores más altos de evapotranspiración en el área de estudio se dan en la Zona Bajo Atoyac, en la porción media, con dirección oeste. De las tres zonas de estudio, ésta es la de mayor urbanización, por

lo que se esperaría una disminución de la evapotranspiración, sin embargo, en la porción media a baja del afluente y con mayor incidencia hacia el oeste hay una mayor cobertura de cultivos de riego, los cuales aportan humedad a la atmósfera principalmente en San Pablo Huixtepec y Villa de Zimatlán, y en menor grado en Santa Catarina Quiané y Santa Ana Zegache. Por otro lado, la cercanía con la Sierra Madre del Sur también incrementa los valores de evapotranspiración. En contraste, también en esta misma Zona del Bajo Atoyac, se dan los menores valores de evapotranspiración en el tramo alto del afluente coincidiendo con los municipios que forman principales crecimientos urbanos: Villa de Zaachila, San Bartolo Coyotepec, Santa María Coyotepec, Ánimas Trujano, San Agustín de las Juntas, y San Antonio de la Cal.

Como se pudo analizar, tanto la temperatura como la evapotranspiración se encuentran altamente correlacionadas, entendiéndose que a mayor temperatura mayor será la evapotranspiración. Como ya se comentó, las zonas urbanas, de acuerdo a los cálculos desarrollados, presentan mayores temperaturas sobre todo la zona conurbada a la Ciudad de Oaxaca de Juárez, lo que se manifiesta en un área con una tasa de evapotranspiración elevada.

De acuerdo a la matriz desarrollada por el GET, de forma indirecta el Eje II. Manejo Integrado de Cuenca, especialmente con las acciones de reforestación, contribuirían a mitigar efectos de incremento de temperatura y evapotranspiración; aunque también los ejes I. Cultura ambiental al propiciar entre la población la disminución de Gases de Efecto Invernadero (GEI) derivados de acciones cotidianas; el eje V. Normatividad ambiental, donde se deberá regular actividades productivas en la región que arrojen GEI, y el eje VII. Inspección y vigilancia, permitirían disminuir la generación de GEI y mitigar sus efectos. Estas actividades se retoman en el Plan Integral para el Saneamiento.

4.2.5.4. Vientos

El área de estudio se encuentra dentro de un estado costero, Oaxaca por su ubicación geográfica entre el Golfo de México y el Océano Pacífico. De acuerdo a D. Elliott *et al.*, (2004) se encuentra bajo el efecto de tres flujos eólicos predominantes:

- Viento del noreste a norte de octubre a febrero
- Viento del este de marzo a mayo
- Viento del este a noreste (vientos alisios) de junio a septiembre

El viento predominante y de mayor fuerza en todo el Estado fluye de noreste a norte en los meses de marzo y abril. Esta corriente surge del gradiente de mayor y menor presión entre el Golfo de México y el Océano Pacífico respectivamente. Este flujo de viento proviene típicamente, tanto del área cerca de la superficie en el norte, como de varios cientos de metros alturas de sobre la superficie del noreste (*Idem*).

El Servicio Meteorológico Nacional (SMN) a través de la Estación Sinóptica Meteorológica (ESIME) forman una red que proporciona información meteorológica actual e histórica, en forma de reportes generados en los observatorios cada tres horas.

Se recabó la información generada en la estación Oaxaca, en el Municipio Ánimas Trujano, con Latitud (N): 17.00222, Longitud (O): -96.72111 a una Altitud: 1,529 m.s.n.m.

Se obtuvo el promedio de 12,670 datos correspondientes a un período de 90 días, del 1 de mayo al 12 de julio del presente año, 2021. Así como los promedios mensuales con 4,415 datos para el mes de mayo, 4,321 para el mes de junio y 1,653 para el mes de julio.

Cuadro 4.14. Valores promedio de características del viento y factores asociados del 1 de mayo al 12 de julio del 2021.

Período	Radiación Solar (W/m ²)	Dirección del Viento (grados)	Rapidez de viento (km/h)	Dirección de ráfaga (grados)	Rapidez de ráfaga (km/h)	Temperatura del Aire (°C)	Precipitación (mm)	Humedad relativa (%)	Presión Atmosférica (hPa)
1-31 mayo	265.58	150.55	5.63	154.09	12.13	22.84	0.003	62.91	844.42
1-30 junio	210.39	131.58	3.80	140.43	8.30	20.93	0.03	78.59	844.23
1-12 julio	233.13	124.28	4.04	132.87	8.53	21.23	0.02	77.02	843.70
Promedio	236.37	135.47	4.49	142.46	9.65	21.67	0.02	72.84	844.12

4.2.6. Eventos extraordinarios

Los procesos físicos que ocurren en cualquier territorio están sujetos a la articulación de los diferentes factores que lo generan, en ocasiones estos presentan valores que salen del comportamiento promedio y llegan a tener valores extremos que aparecen en lapsos de tiempo largos. Es importantes identificarlos y tener presente estos cambios para desarrollar los instrumentos técnicos que permita a las autoridades y ciudadanía prever los cambios futuros y asegurar el bienestar de la población.

De acuerdo con la CONAGUA se presentan los valores extremos de temperatura (máxima y mínima), precipitación y evaporación durante el periodo de 1986 al 2020 dentro del área de estudio (<https://smn.conagua.gob.mx/es/climatologia/informacion-climatologica/informacion-estadistica-climatologica>).

Cuadro 4.15. Valores extraordinarios de temperaturas máximas reportados en las estaciones climatológicas.

Estación	Clave	Temperatura máxima (°C)	Fecha
San Francisco Telixtlahuaca	20151	39	10/01/15
Huitzo	20364	39	23/04/84
Etla	20034	42	25/05/60
Santo Domingo Barrio Bajo	20258	38.5	04/04/84
Jalapa del Valle	20044	39	02/04/85
Presa "El estudiante"	20367	39	21/09/82
Oaxaca	20079	43	06/05/98
Diaz Ordaz	20507	43	11/05/11
Mitla	20366	38	may-17
Coyotepec	20022	40	18/04/82
Zaachila	20354	40	05/05/98
Zimatlán	20209	40	12/05/98
San Pablo Huixtepec	20266	39	13/12/10
Santa Ana Tlapacoyan	20202	46	27/06/10

Cuadro 4.16. Valores extraordinarios de temperaturas mínimas reportados en las estaciones climatológicas.

Estación	Clave	Temperatura mínima (°C)	Fecha
San Francisco Telixtlahuaca	20151	1.2	23/11/84
Huitzo	20364	2	10/01/18
Etla	20034	0	14/01/86
Santo Domingo Barrio Bajo	20258	-2.5	11/12/10
Jalapa del Valle	20044	-1	07/01/06
Presa "El estudiante"	20367	0	12/01/04
Oaxaca	20079	4	05/04/85
Diaz Ordaz	20507	-3	09/01/02
Mitla	20366	-2	dic-82
Coyotepec	20022	-3	10/02/87
Zaachila	20354	-1	06/01/96
Zimatlán	20209	-3	10/02/76
San Pablo Huixtepec	20266	-1.5	11/12/10
Santa Ana Tlapacoyan	20202	-4	14/01/96

Cuadro 4.17. Valores extraordinarios de precipitación reportados en las estaciones climatológicas.

Estación	Clave	Precipitación (mm)	Fecha
San Francisco Telixtlahuaca	20151	110	25/04/89
Huitzo	20364	115	30/08/01
Etla	20034	54	15/04/96
Santo Domingo Barrio Bajo	20258	95.5	17/05/12
Jalapa del Valle	20044	108	27/09/98
Presa "El estudiante"	20367	152	23/09/13
Oaxaca	20079	117	04/10/05
Diaz Ordaz	20507	133.7	04/10/05
Mitla	20366	78.3	sep-17
Coyotepec	20022	110	11/08/96
Zaachila	20354	97	04/10/05
Zimatlán	20209	102.3	28/09/81
San Pablo Huixtepec	20266	320	14/09/91
Santa Ana Tlapacoyan	20202	104	17/06/17

Cuadro 4.18. Valores extraordinarios de evaporación reportados en las estaciones climatológicas.

Estación	Clave	Evaporación (mm)	Fecha
San Francisco Telixtlahuaca	20151	17.1	24/08/85
Huitzo	20364	15.3	12/05/89
Etla	20034	14.8	07/07/99
Santo Domingo Barrio Bajo	20258	16.9	14/05/84
Jalapa del Valle	20044	14.8	15/05/95
Presa "El estudiante"	20367	16.2	26/02/93
Oaxaca	20079	15.8	18/12/14
Diaz Ordaz	20507	15.7	07/06/02
Mitla	20366	225.38	may-16
Coyotepec	20022	16.8	24/05/91
Zaachila	20354	14.5	01/08/82
Zimatlán	20209	14.4	19/01/81
San Pablo Huixtepec	20266	15.7	24/09/13
Santa Ana Tlapacoyan	20202	16.7	17/05/81

4.2.7. Cambio climático

La interacción que ocurre de forma constante entre las variables atmosféricas con los océanos, continentes, los hielos y las diversas formas de vida en el planeta, generan el estado del tiempo y los diversos climas. En todo momento se presentan modificaciones de estos parámetros, por lo que cada día las condiciones de temperatura y lluvia varían dando por resultado el estado del tiempo, el cual se observa en lapsos de tiempo de días en cada localidad, región o país (Conde, 2007). Dadas las condiciones ambientales en nuestro país y en particular en el Estado de Oaxaca, se espera frío en invierno y calor en verano, inicio de lluvias en primavera y su intensificación y mayor regularidad en verano. Estas condiciones climatológicas han sufrido cambios significativos causados por el cambio climático (Cc), éste puede estar relacionado con procesos naturales y en mayor medida causado por las actividades antropogénicas.

El Cc es un tema que genera un impacto desfavorable en el medio ambiente, sin embargo, se considera un problema que pone en entredicho el desarrollo sustentable de las regiones y ciudades, y que de manera particular repercute en el bienestar social de la población. Miguel *et al.* (2017) concluye que en el Estado de Oaxaca el cambio climático está aumentando a tasas altas, como resultado de las emisiones de las viviendas, los vehículos y de los desechos sólidos.

El Programa Estatal de Cambio Climático (PECC) 2016-2022 presenta proyecciones de los escenarios futuros considerando la alteración de la temperatura y precipitación en la entidad por el efecto del Cc. De acuerdo a lo que se describe en este programa, el cambio posible, a nivel estado, es un escenario

donde la temperatura puede aumentar de manera general hasta 2°C y en algunas regiones del estado de Oaxaca puede incrementarse hasta 3°C. En contraparte, la precipitación tendrá un comportamiento heterogéneo en todo el Estado debido a la variabilidad topográfica y a efectos de las corrientes oceánicas, dando como resultado que en algunos lugares habrá disminución y en otros incrementos en la precipitación (SEMAEDES *et al.*, 2018).

El análisis de la recurrencia de los fenómenos meteorológicos extremos muestra que Oaxaca tiene una alta exposición a inundaciones, ciclones, deslizamientos del terreno, sequías e incendios forestales, los cuales ocasionan grandes pérdidas y altos costos para resarcir sus daños.

De acuerdo a los escenarios de Cc del Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC), para el periodo (2015-2039) la precipitación media anual se reducirá un 6% y para el lejano (2075-2099) un 2% más, (que actualmente es en promedio de 1,105 mm anuales para todo el Estado), ésta, según la Climatic Research Unit (CRU), durante el periodo 1961-2000, tuvo un incremento de 0.07% anual (SEMAEDES *et al.*, 2018).

En los tres escenarios RCP (Vías o rutas de concentración representativas por sus siglas en inglés *Representative Concentration Pathways*) mostrados en el cuadro de abajo, la precipitación en el territorio siguió el mismo patrón de comportamiento que el histórico.

Con respecto a la temperatura, los datos históricos muestran un aumento gradual de la temperatura media (0.02%) y máxima promedio (0.03 %), y una ligera reducción para la temperatura mínima (-0.01%), cuyos valores son de 22°C, 29°C y 16°C, respectivamente. Esto se podría percibir como veranos ligeramente más calurosos.

Cuadro 4.19. Escenarios futuros por Cambio Climático para la Región de Valles Centrales.

RCO	Forzamiento radiactivo (W/m ²)	Concentración (ppm Co _{2e})	Ruta	Promedio	Máx (mm)	Mín (mm)
4.5	~4.5 estabilizándose después del año 2100	~650 estabilizándose después del año 2100	Estabilización sin sobrepasar	25 a 950	1,417	563
6	~6 estabilizándose después del año 2100	~850 estabilizándose después del año 2100	Estabilización sin sobrepasar	25 a 950	1,456	600
8.5	>8.5 en año 2100	>1,370 en año 2100	Incremento	25 a 950	1,424	566

(W/m²)=Watts/m²

ppm Co_{2e}= medida para expresar en términos de CO₂ el nivel de calentamiento global que tienen los otros gases de efecto invernadero.

El escenario descrito se muestra a una escala regional de Valles Centrales basado en las imágenes desarrolladas en el PECC sobre el comportamiento de la precipitación y temperatura.

En el documento diagnóstico presentado por la SEMAEDSO (disponible en el sitio <http://www.ped2016-2022.oaxaca.gob.mx/PED/archivos/regionales/02%20Valles%20Centrales/Medio%20Ambiente/Otros/DIAGNOSTICO%20VALLES%20%20CENTRALES.pdf>), se menciona que las proyecciones de Cc para el año 2030 las condiciones actuales de precipitación y temperatura para la Región de Valles Centrales, se ubicarán a altitudes al menos de 175 m por arriba de lo situado actualmente. Con lo anterior se espera que el bosque latifoliadas (encinar arbustivo) se extienda a expensas del bosque templado y la extinción de especies de pisos altitudinales elevados. Es probable que las sierras oaxaqueñas no puedan brindar en un futuro cercano las condiciones climáticas en las que ahora se ubica la vegetación de altura. Por otro lado, las precipitaciones tendrán descensos del orden de 5 mm en los Valles Centrales, lo cual pone en riesgo de desaparición a múltiples especies de flora y fauna y sistemas agrícolas, y con ello todo el sistema social al que dan soporte.

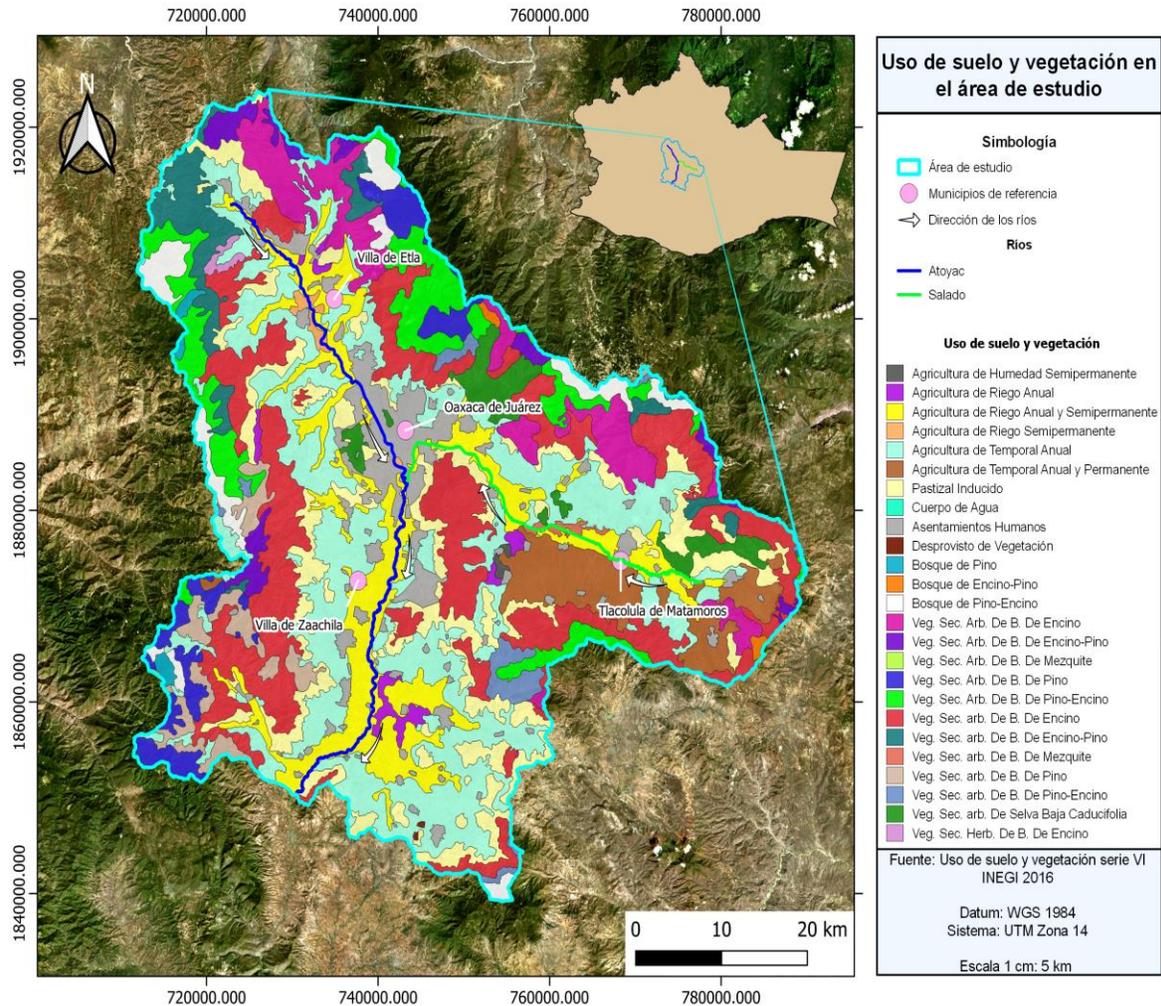
Este documento menciona que “el fenómeno de cambio climático ha contribuido a un aumento global de enfermedades y de mortalidad temprana. Esta mortalidad ha sido provocada por ondas de calor, inundaciones, tormentas, fuegos y sequías; también hay un mayor número de casos de enfermedades diarreicas y un aumento en la frecuencia de enfermedades cardio respiratorias. Aunado a esto se ha alterado la distribución de algunas enfermedades transmitidas por vectores y de algunas especies de polen alergénicas”.

Si bien el desarrollo del Programa Integral es en sí una estrategia para el Saneamiento de los Ríos Atoyac y Salado, su implementación contribuye a mitigar efectos del cambio climático, sobre todo disminuir la generación de Gases de Efecto Invernadero por incendios forestales, además de propiciar la disponibilidad agua con mayor calidad para abastecimiento de la población que, en un escenario de incremento de la temperatura, requerirá más agua para sus actividades y sobre todo para el consumo humano.

4.2.8. Uso de suelo y vegetación

Los distintos tipos de uso que se le asignan a la tierra, generalmente, en función de factores de tipo social y económico, están orientados, principalmente, a satisfacer las demandas de subsistencia de la población. Están condicionados por el potencial y las limitaciones derivadas de las características ambientales específicas presentes en el territorio de interés, por ejemplo, el tipo de suelo, precipitación o pendiente, entre otras. De acuerdo a la Serie VI de INEGI, correspondiente al año 2016, en el área de estudio existen 25 tipos de vegetación y usos de suelos (Figura 4.30 y Cuadro 4.20).

Figura 4.30. Uso de suelo y vegetación en el área de estudio.

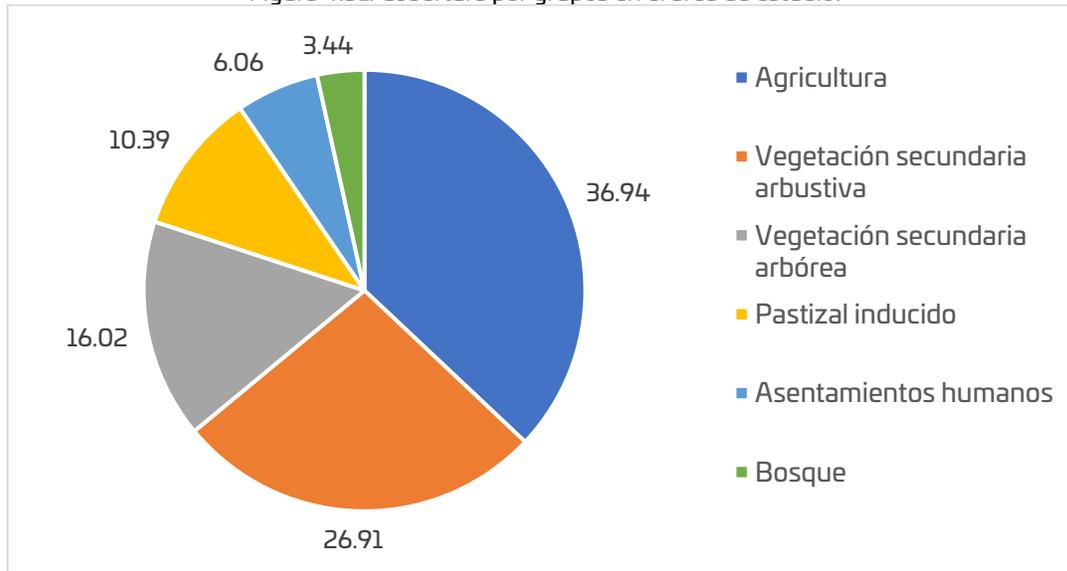


Cuadro 4.20. Uso de suelo y vegetación en el área de estudio.

Uso de suelo y tipo de vegetación	Área (Km ²)	Porcentaje (%)
Asentamientos humanos	214.31	6.06
Pastizal inducido	367.70	10.39
Agricultura de riego anual	29.13	0.82
Agricultura de riego anual y semipermanente	366.23	10.35
Agricultura de riego semipermanente	10.32	0.29
Agricultura de temporal anual	742.51	20.99
Agricultura de temporal anual y permanente	155.32	4.39
Agricultura de humedad semipermanente	3.58	0.10
Bosque de pino	13.89	0.39
Bosque de pino-encino	101.63	2.87
Bosque de encino-pino	6.28	0.18
Cuerpo de agua	0.10	0.00
Desprovisto de vegetación	0.92	0.03
Vegetación secundaria arbórea de bosque de encino	194.76	5.50
Vegetación secundaria arbórea de bosque de mezquite	0.44	0.01
Vegetación secundaria arbórea de bosque de encino-pino	62.40	1.76
Vegetación secundaria arbórea de bosque de pino	102.17	2.89
Vegetación secundaria arbórea de bosque de pino-encino	207.05	5.85
Vegetación secundaria arbustiva de bosque de encino	620.74	17.54
Vegetación secundaria arbustiva de bosque de encino-pino	116.90	3.30
Vegetación secundaria arbustiva de bosque de pino	81.86	2.31
Vegetación secundaria arbustiva de bosque de pino-encino	43.87	1.24
Vegetación secundaria arbustiva de bosque de mezquite	7.58	0.21
Vegetación secundaria arbustiva de selva baja caducifolia	81.07	2.29
Vegetación secundaria herbácea de bosque de encino	7.26	0.21
Total	3,538.05	100.00

De esta variedad de vegetación y uso de suelo, 20 tipos se pueden agrupar en cuatro conjuntos. Seis tipos de agricultura, seis tipos de vegetación secundaria arbustiva, cinco tipos de vegetación secundaria arbórea y tres tipos de bosque. Los cinco tipos restantes son únicos como se puede ver en la siguiente figura.

Figura 4.31. Cobertura por grupos en el área de estudio.



Considerando el área de extensión, el grupo más abundante es el de las diferentes modalidades de agricultura, las cuales suman 1,307.09 km² (36.94%). De la misma manera, uno de los tipos de agricultura es el tipo de mayor predominancia tanto dentro de su grupo como en el área de estudio, es el uso de suelo destinado a la *agricultura de temporal anual*, ocupa un área de 742.51 km², equivalentes al 20.99%, es decir, la quinta parte del territorio del área de estudio está destinada a este tipo de sistema productivo, el cual está en función del ciclo de lluvias durante el ciclo de producción, así como de la capacidad del suelo para captar el agua y conservar la humedad.

La vegetación secundaria arbustiva es el siguiente grupo de mayor extensión, su cobertura es de 952.03 km² (26.91%). La *vegetación secundaria arbustiva de bosque de encino* ocupa 620.74 km² (17.54%) del territorio total. Este tipo de vegetación se desarrolló como resultado de haber sido perturbada la vegetación original y sus comunidades pueden estar conformadas por muchas o por una sola especie. La vegetación presenta una intensa vulnerabilidad a la transformación hacia actividades agropecuarias o a otros usos del suelo (SEMARNAT, 2005).

El tercer grupo en cobertura es el de la vegetación secundaria arbórea con 566.82 km² (16.02%), siendo el de mayor magnitud en su tipo, más no en el área total de estudio, la *vegetación secundaria arbórea de bosque de pino-encino* con 207.05 km² (16.02%). El último y cuarto grupo de mayor extensión es el correspondiente al bosque, el cual ocupa un área de 121.80 km² (3.44%) y el tipo específico de mayor extensión de su grupo es el *bosque de pino-encino* con 101.63 km² (2.87%).

Los cinco tipos restantes son únicos y continuando con el orden en extensión sigue el tipo *pastizal inducido*, abarca una extensión de 367.70 km² (10.39%) y a escala de área de estudio ocupa el tercer lugar en área de cobertura. En este ecosistema los árboles y arbustos son poco frecuentes y predominan los pastos. Su distribución está condicionada, principalmente, por las actividades antrópicas de tipo agrícola, pecuaria y los incendios. Estas áreas se utilizan, principalmente, como agostadero para el pastoreo. Álvarez *et al.*, (2016) menciona que este tipo de vegetación es importante para el mantenimiento y funcionalidad del ecosistema, sobre todo en los hábitats donde no se desarrollan comunidades arbóreas debido a las limitaciones ambientales, ya que puede evitar la erosión

del suelo, incrementar las tasas de infiltración de agua, contribuir a la conservación y el mantenimiento de la biodiversidad, aún si esta vegetación se encuentra sometida a perturbaciones.

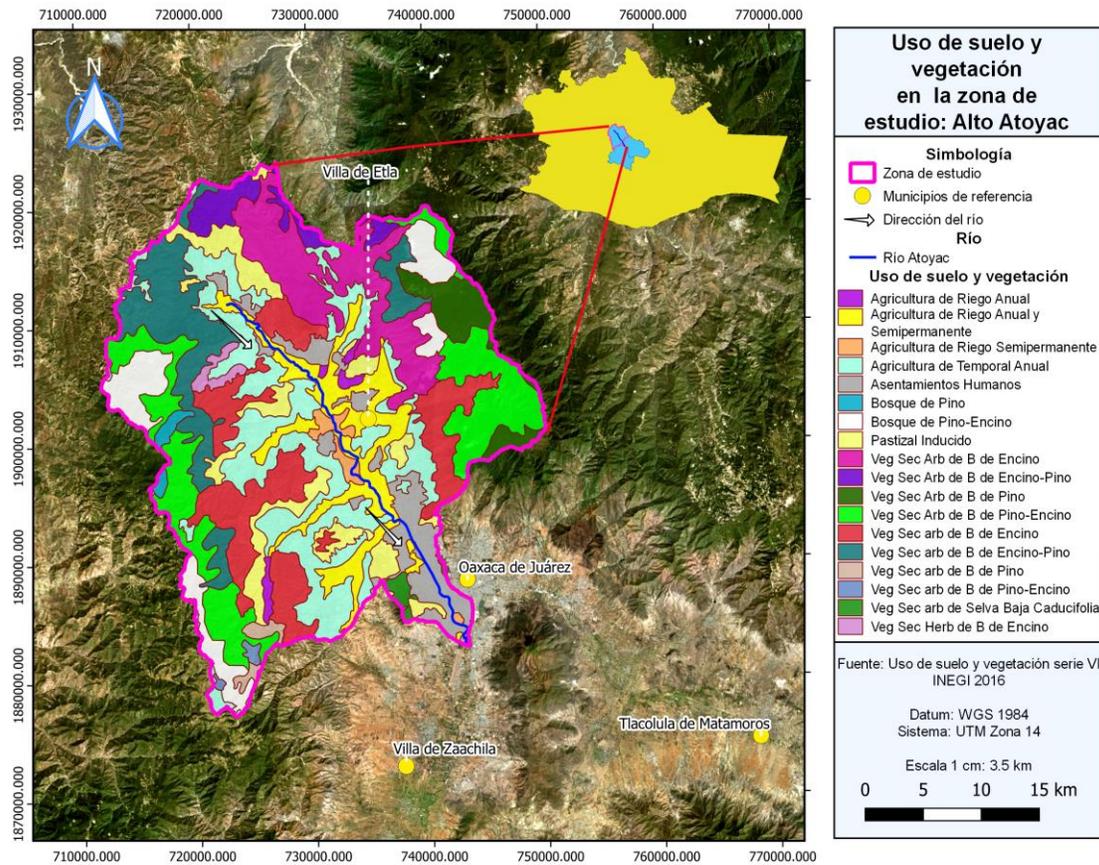
El siguiente tipo único corresponde al destinado para el desarrollo de los *asentamientos humanos*, con 214.31 km² (6.06%). En relación al tamaño del territorio, este valor puede significar, en términos generales, que el área de estudio tiene la posibilidad de ser ordenada de forma integral, para el desarrollo de las poblaciones, contribuyendo a disminuir las perturbaciones al entorno ambiental y evitar perturbarlo de manera irreversible

La vegetación y uso de suelo con las menores extensiones, coberturas menores al 1%, en relación al territorio total del área de estudio son la *vegetación secundaria arbórea de bosque de mezquite, agricultura de humedad semipermanente, bosque de encino-pino, vegetación secundaria herbácea de bosque de encino, vegetación secundaria arbustiva de bosque de mezquite, agricultura de riego semipermanente, bosque de pino y agricultura de riego anual.*

4.2.8.1. Uso de suelo y vegetación en Zona de estudio Alto Atoyac

En el Alto Atoyac se observa que la mayor extensión está ocupada por vegetación secundaria arbórea y arbustiva, constituida por vegetación secundaria arbórea de bosque de encino, vegetación secundaria arbórea de bosque de encino-pino, vegetación secundaria arbórea de bosque de pino, vegetación secundaria arbórea de bosque de pino-encino, vegetación secundaria arbustiva de bosque de encino, vegetación secundaria arbustiva de bosque de encino-pino, vegetación secundaria arbustiva de bosque de pino, vegetación secundaria arbustiva de bosque de pino-encino, vegetación secundaria arbustiva de selva baja caducifolia y la herbácea de bosque de encino (Cuadro 4.21). En su conjunto cubre algo más de la mitad del área total de esta zona de estudio (52.77%). Se distribuye a los lados y alineada en el sentido del Río Atoyac, con mayor presencia en el lado oeste del afluente. En esta zona se practican cuatro de seis tipos de sistemas de productividad, la agricultura de riego anual, de riego anual y semipermanente, de riego semipermanente y de temporal anual. La de mayor extensión es la agricultura de riego anual y semipermanente con 84.70 km² (8.14%). Se ha desarrollado en el límite de la zona de estudio, dos porciones en lado este y dos en el oeste. Cabe mencionar que el área de asentamientos humanos es la de menor extensión en el territorio, ocupa 65.64 km² sólo del 6.31%, y también es la de menor área de las tres zonas de estudio. Se ha desarrollado desde la parte alta, en donde se origina el río y en porciones discontinuadas a lo largo del afluente hasta llegar al límite de la zona con un aumento en la parte sur (Figura 4.32).

Figura 4.32. Uso de suelo y vegetación en la Zona de estudio Alto Atoyac.



En esta zona se observan desarrollados 18 de los 25 tipos de uso de suelo y vegetación descritos para toda el área de estudio (Cuadro 4.20). Los tres tipos de mayor extensión son la agricultura de temporal anual 178.19 km² (17.12%), la vegetación secundaria arbórea de bosque de pino-encino con 134.52 km² (12.93%), vegetación secundaria arbustiva de bosque de encino 128.59 km² (12.36%).

Cuadro 4.21. Proporción de los tipos de uso de suelo y vegetación en la zona de estudio Alto Atoyac.

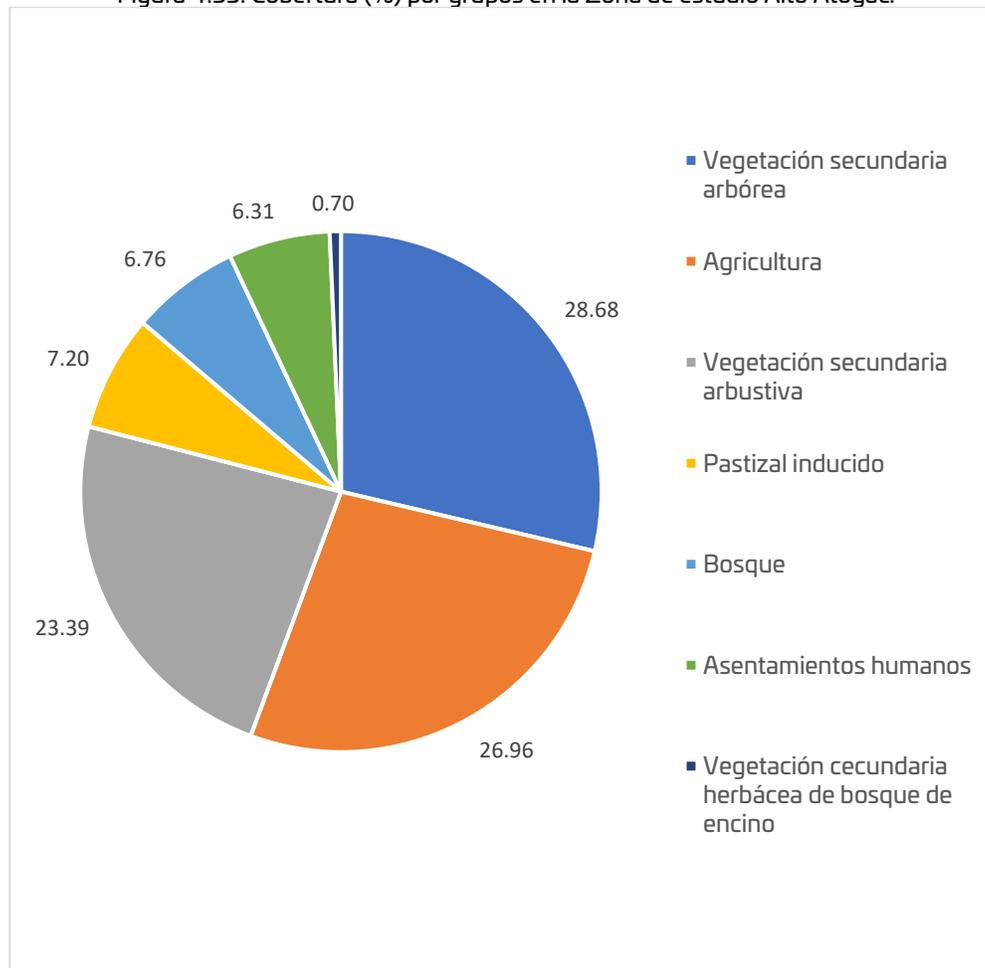
Uso de suelo y tipo de vegetación	Área por tipo de vegetación y uso de suelo (km ²)	Porcentaje con respecto a la zona de estudio (%)
Asentamientos humanos	65.64	6.31
Pastizal inducido	74.98	7.21
Agricultura de riego anual	7.35	0.71
Agricultura de riego anual y semipermanente	84.70	8.14
Agricultura de riego semipermanente	10.32	0.99
Agricultura de temporal anual	178.19	17.12
Bosque de pino	6.52	0.63
Bosque de pino-encino	63.87	6.14
Vegetación secundaria arbórea de bosque de encino	101.24	9.73
Vegetación secundaria arbórea de bosque de encino-pino	28.05	2.69
Vegetación secundaria arbórea de bosque de pino	34.62	3.33
Vegetación secundaria arbórea de bosque de pino-encino	134.52	12.93
Vegetación secundaria arbustiva de bosque de encino	128.59	12.36
Vegetación secundaria arbustiva de bosque de encino-pino	99.23	9.53
Vegetación secundaria arbustiva de bosque de pino	7.08	0.68
Vegetación secundaria arbustiva de bosque de pino-encino	2.95	0.28

Uso de suelo y tipo de vegetación	Área por tipo de vegetación y uso de suelo (km ²)	Porcentaje con respecto a la zona de estudio (%)
Vegetación secundaria arbustiva de selva baja caducifolia	0.46	0.54
Vegetación secundaria herbácea de bosque de encino	7.26	0.70
Total	1,040.72	100.00

Los tres grupos con mayor extensión en la zona del Alto Atoyac son la vegetación secundaria arbórea con 298.44 km² (28.68%), agricultura con 280.56 km² (26.96%) y vegetación secundaria arbustiva con 243.45 km² (23.39%).

De los seis tipos de producción agrícola, en esta zona se practica la agricultura de riego anual, de riego anual y semipermanente, de riego semipermanente y agricultura de temporal anual. No se practica la agricultura de temporal anual y permanente, ni la agricultura de humedad semipermanente (Figura 4.33).

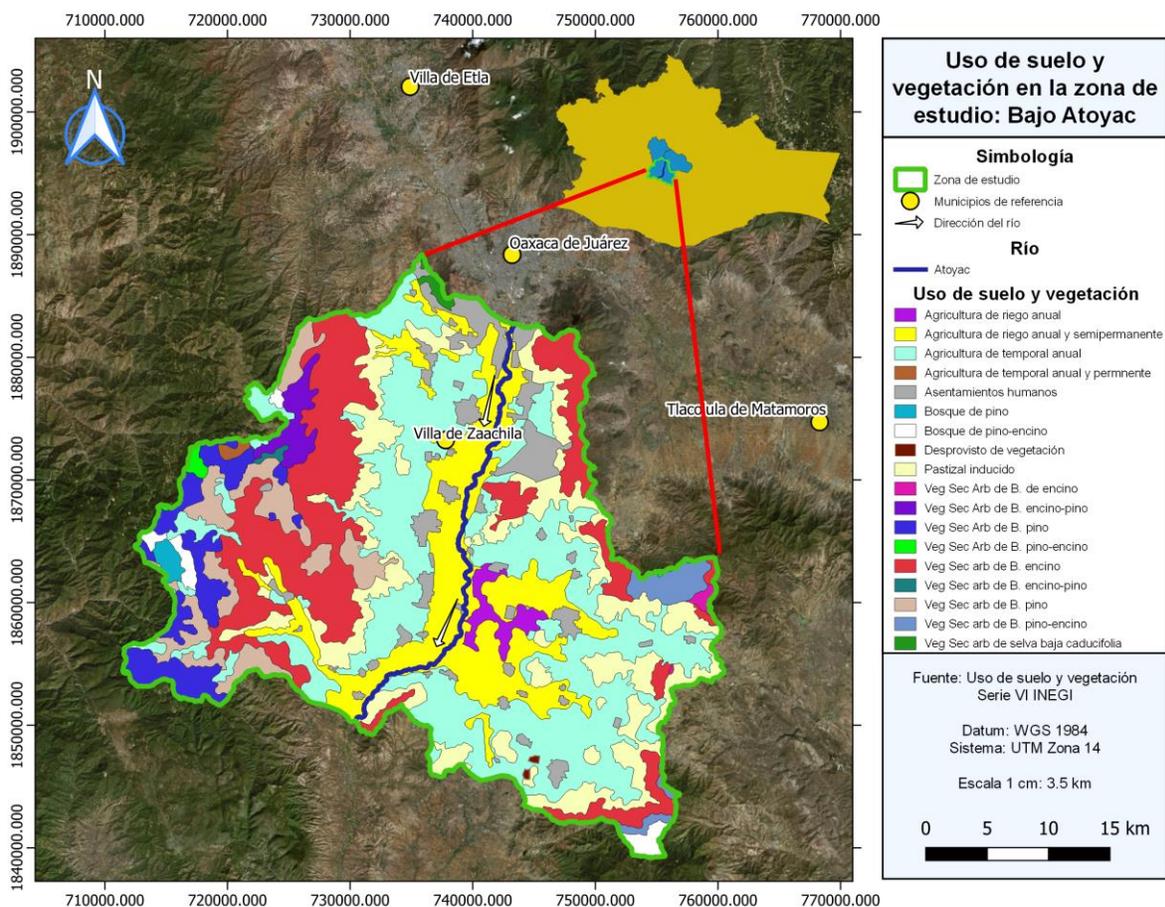
Figura 4.33. Cobertura (%) por grupos en la Zona de estudio Alto Atoyac.



4.2.8.2. Uso de suelo y vegetación en Zona de estudio Bajo Atoyac

En esta zona la mayor área es ocupada por la agricultura de riego anual y semipermanente, y de temporal anual y permanente con el 45.76% de cobertura. Le sigue en extensión la vegetación secundaria con un 31.92%, le sigue el pastizal con un 14.55% y el área ocupada por los asentamientos humanos es del 6.16% (Cuadro 4.22). La extensión de este uso de suelo es notoria en comparación con la zona del Alto Atoyac, la razón es que parte de la capital de la entidad, así como la zona urbana de Santa Cruz Xoxocotlán, la cual ha crecido significativamente en los últimos años, se encuentran en esta zona de estudio. En el Bajo Atoyac se observa que la mayor extensión está ocupada por cuatro tipos de producción, que, en su conjunto, cubren cerca de la mitad del territorio de la zona de estudio con 592.27 km² (45.76%). El tipo con más área es la agricultura de temporal anual con 373.92 km² (28.89%), del lado oeste se ha desarrollado alineada con el flujo del Río Atoyac, está distribuida de forma más heterogénea en la mitad este de la zona (Figura 4.34).

Figura 4.34. Uso de suelo y vegetación en la Zona de estudio Bajo Atoyac.



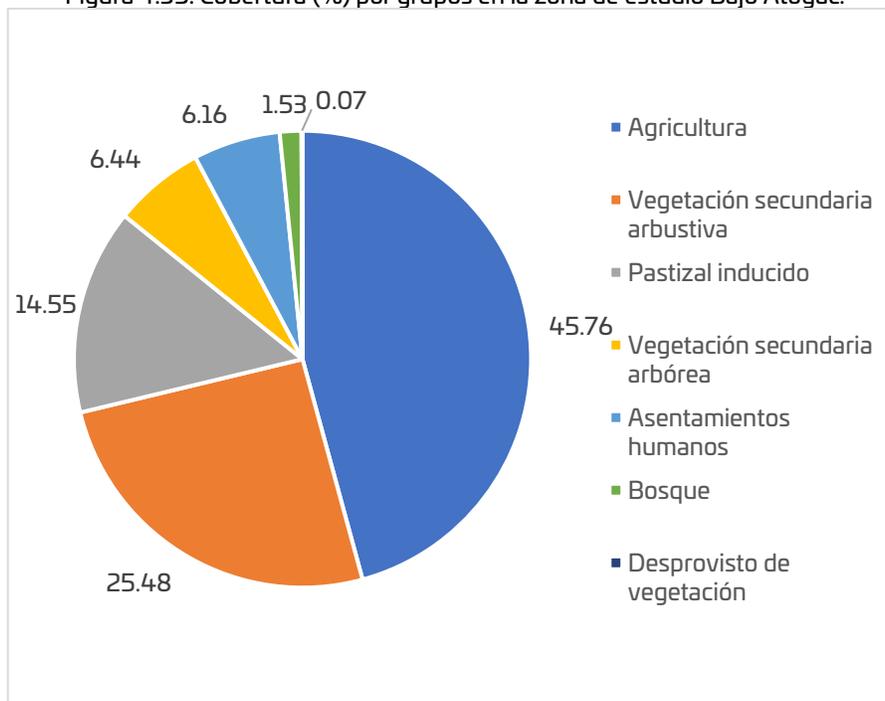
En el Bajo Atoyac se encuentran 18 de los 25 tipos de uso de suelo y vegetación descritos para toda el área de estudio (cuadro 4.20). La agricultura de riego anual y semipermanente con 200.48 km² (15.49%), agricultura de temporal anual con 373.92 km² (28.89%) y la vegetación secundaria arbustiva de bosque de encino con 229.37 km² (17.72%) son los tipos con mayor extensión en la zona, como se describe en el siguiente Cuadro.

Cuadro 4.22. Proporción de los tipos de uso de suelo y vegetación en la Zona de estudio Bajo Atoyac.

Tipo de vegetación y uso de suelo	Área por tipo de vegetación y uso de suelo (Km ²)	Porcentaje con respecto a la zona de estudio (%)
Agricultura de riego anual	15.33	1.18
Agricultura de riego anual y semipermanente	200.48	15.49
Agricultura de temporal anual	373.92	28.89
Agricultura de temporal anual y permanente	2.55	0.20
Asentamientos humanos	79.78	6.16
Bosque de pino	5.74	0.44
Bosque de pino-encino	14.09	1.09
Desprovisto de vegetación	0.92	0.07
Pastizal inducido	188.35	14.55
Vegetación secundaria arbórea de bosque de encino	2.89	0.22
Vegetación secundaria arbórea de bosque de encino-pino	17.60	1.36
Vegetación secundaria arbórea de bosque de pino	58.27	4.50
Vegetación secundaria arbórea de bosque de pino-encino	4.61	0.36
Vegetación secundaria arbustiva de bosque de encino	229.37	17.72
Vegetación secundaria arbustiva de bosque de encino-pino	1.66	0.13
Vegetación secundaria arbustiva de bosque de pino	74.78	5.78
Vegetación secundaria arbustiva de bosque de pino-encino	20.51	1.58
Vegetación secundaria arbustiva de selva baja caducifolia	3.46	0.27
Total	1,294.29	100.00

La vegetación de todos los tipos de secundaria arbustiva abarca 329.78 km² (25.48%). Las áreas con asentamientos humanos cubren 79.78 km² (6.16%) en porciones irregulares a ambos lados del río, paralelas al cauce del lado oeste y con mayor dispersión del lado este del mismo.

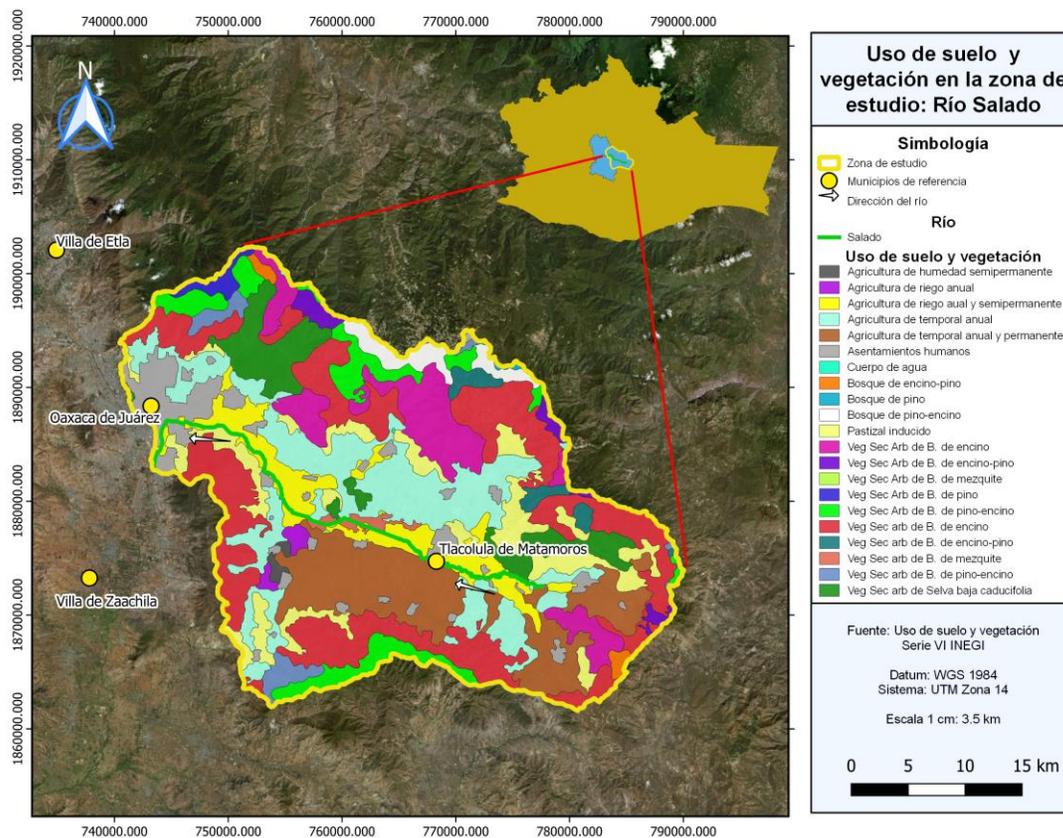
Figura 4.35. Cobertura (%) por grupos en la zona de estudio Bajo Atoyac.



4.2.8.3. Uso de suelo y vegetación en Zona de estudio Río Salado

En esta zona la vegetación secundaria ocupa la mayor extensión con un 46.87%, compuesta por vegetación secundaria arbórea de bosque de encino, vegetación secundaria arbórea de bosque de mezquite, vegetación secundaria arbórea de bosque de encino-pino, vegetación secundaria arbórea de bosque de pino, vegetación secundaria arbórea de bosque de pino-encino, vegetación secundaria arbustiva de bosque de encino, vegetación secundaria arbustiva de bosque de encino-pino, vegetación secundaria arbustiva de bosque de pino-encino, vegetación secundaria arbustiva de bosque de mezquite, vegetación secundaria arbustiva de selva baja caducifolia. Les sigue el área ocupada por la agricultura de humedad, de riego anual y semipermanente, de temporal anual y semipermanente con un 36.11% de cobertura. Le sigue el pastizal inducido con un 8.68% y un 5.73% ocupado por asentamientos humanos (Figura 4.36 y Cuadro 4.23).

Figura 4.36. Uso de suelo y vegetación en la Zona de estudio Río Salado.



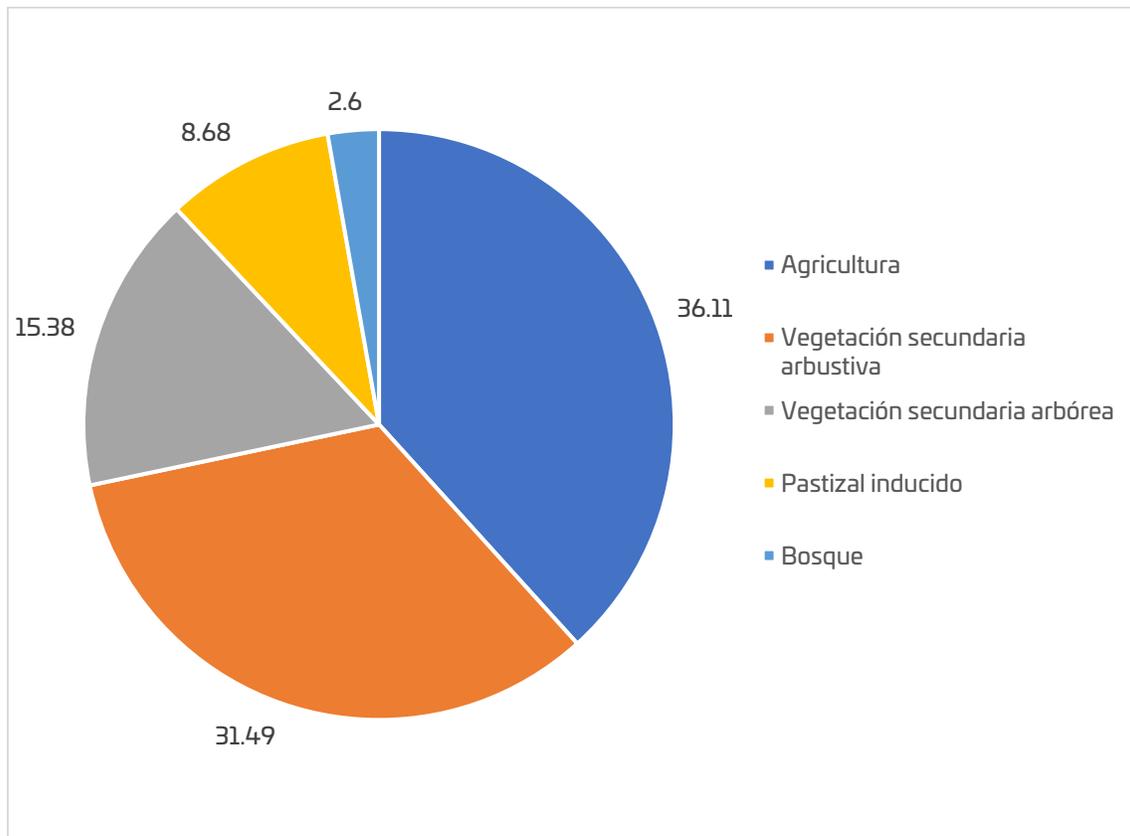
En Río Salado se distribuyen los 21 de los 25 tipos uso de suelo y vegetación descritos para toda el área de estudio (Cuadro 4.20). La vegetación secundaria arbustiva de bosque de encino cubre un área de 262.78 km² (21.84%), seguido de la agricultura de temporal anual con una cobertura de 190.40 km² (15.83%) y de la agricultura de temporal anual con 190.40 km² de extensión (15.83%), estos tres tipos de uso de suelo y vegetación son los de mayor extensión, como se muestra en el siguiente Cuadro.

Cuadro 4.23. Proporción de los tipos de uso de suelo y vegetación en la Zona de estudio Río Salado.

Uso de suelo y tipo de vegetación	Área por vegetación y uso de suelo (Km ²)	Porcentaje con respecto a la zona de estudio (%)
Agricultura de humedad semipermanente	3.58	0.30%
Agricultura de riego anual	6.45	0.54%
Agricultura de riego anual y semipermanente	81.06	6.74%
Agricultura de temporal anual	190.40	15.83%
Asentamientos humanos	68.88	5.73%
Bosque de encino-pino	6.28	0.52%
Bosque de pino	1.63	0.14%
Bosque de pino-encino	23.68	1.97%
Cuerpo de agua	0.10	0.01%
Pastizal inducido	104.37	8.68%
Vegetación secundaria arbórea de bosque de encino	90.63	7.53%
Vegetación secundaria arbórea de bosque de encino-pino	16.75	1.39%
Vegetación secundaria arbórea de bosque de mezquite	0.44	0.04%
Vegetación secundaria arbórea de bosque de pino	9.28	0.77%
Vegetación secundaria arbórea de bosque de pino-encino	67.92	5.65%
Vegetación secundaria arbustiva de bosque de encino	262.78	21.84%
Vegetación secundaria arbustiva de bosque de encino-pino	16.01	1.33%
Vegetación secundaria arbustiva de bosque de mezquite	7.58	0.63%
Vegetación secundaria arbustiva de bosque de pino-encino	20.41	1.70%
Vegetación secundaria arbustiva de selva baja caducifolia	72.02	5.99%
Total	1,203.04	100

Los tres grupos con mayor extensión en la zona son la agricultura con 434.26 km² (36.11%), vegetación secundaria arbustiva con 378.80 (31.49%) y la vegetación secundaria arbórea con 185.02 Km² (15.38%). En esta zona se desarrollan cinco: agricultura de riego anual, agricultura de riego anual y semipermanente, agricultura de temporal anual, agricultura de temporal anual y permanente, y la agricultura de humedad semipermanente (Figura 4.37).

Figura 4.37. Cobertura (%) por grupos en la zona de estudio Río Salado.



Dentro de lo observado en el área de estudio y mediante el análisis de la información sobre el uso de suelo y vegetación se puede concluir que en este momento no existen procesos significativos de Cambio de Usos de Suelo, sin embargo, es importante reconocer que la agricultura está generando presión sobre los ecosistemas asociados a los ríos Atoyac y Salado, ya que en el desarrollo de la agricultura de temporal anual se ha promovido el uso de paquetes tecnológicos que incluyen el uso de fertilizantes y agroquímicos, los cuales son arrastrados a los afluentes en temporada de lluvia además de ser causal de los procesos de erosión e infertilidad de los suelos, sin considerar la toxicidad que pueden producir en los productos cosechados.

En la Zona Alto Atoyac el área destinada para los asentamientos humanos se extendió con una correspondiente pérdida de áreas usadas para la actividad agrícola y de pastizal inducido. La vegetación del bosque de pino, vegetación secundaria arbórea de bosque de pino y vegetación secundaria arbustiva de bosque de pino no sufrieron cambios, inicialmente cubrían una pequeña parte del área, pero se mantuvieron constantes. Los tipos de uso de suelo y vegetación que muestran una pérdida en extensión sobre el territorio son la agricultura en sus diferentes modalidades, el pastizal inducido y la vegetación secundaria arbórea de bosque de pino-encino.

En la Zona Bajo Atoyac las áreas que experimentaron un incremento fueron las ocupadas por los asentamientos humanos, la vegetación secundaria arbórea de bosque de encino, la vegetación secundaria arbórea de bosque de pino y la agricultura de temporal anual. El aumento de esta última podría explicarse por la demanda poblacional de la producción agrícola ante el aumento de la población. Aunque los incrementos son mínimos puede considerarse como un factor positivo, teniendo en consideración la excesiva presión que la población ejerce en esta parte de la subcuenca.

En la Zona de Río Salado el mayor incremento se dio en la agricultura de temporal anual y permanente, en la vegetación secundaria arbustiva de bosque de encino y en la zona de asentamientos humanos. Estas áreas se observan concentradas hacia la porción oeste formando parte de la zona centro y con áreas en comparación pequeñas, aisladas y esparcidas en el resto de la zona alineadas al curso del Río Salado.

No se identificaron áreas con procesos de desertificación, sin embargo, la degradación ambiental generada por los asentamientos humanos es significativa en las tres zonas y los afluentes de los Ríos Atoyac y Salado.

De acuerdo al diagnóstico de la Cadena Valor Mezcal desarrollado por COPLADE (2016), dentro de los impactos ambientales más significativos se encuentran los generados por la industria mezcalera, la cual en los últimos años ha tenido un auge sin precedentes, en mayor medida en la Zona del Río Salado en donde por tradición se ha realizado esta actividad desde hace décadas. Otro de los impactos presentes es el que ocasiona la producción de artesanías. La cantidad y composición de elementos químicos que se usan para realizar los procedimientos y generar productos de manufacturación propia no se ha podido evaluar debido al hermetismo que los productores guardan al respecto, sin embargo, se deduce que el impacto es considerable. En ambos casos se sugieren evaluaciones y procedimientos específicos para determinar con precisión la afectación que estas actividades ejercen sobre el suelo, agua y aire.

4.2.9. Cambio de uso de suelo y vegetación (CUSV) 2009 vs. 2016

La población crece y se concentra más en las ciudades, en términos generales la región de Valles Centrales, en relación a todo el Estado, es la que sufre en mayor medida sus impactos. En las zonas de estudio el crecimiento de la población ha sido acelerado, se registró en tan sólo un lapso de 30 años, de la década de los 70 a los 90, un aumento en la superficie para asentamientos humanos en mucho más del 100%.

El análisis de los usos de suelo y vegetación, así como el Cambio de Uso de Suelo en Terrenos Forestales (CUSTF) para el área y zonas de estudio se realizó con Sistemas de Información Geográfica (SIG), con el software QGIS 3.16, a partir de información digital de la carta de Uso de Suelo y Vegetación a escala 1:250,000 Serie IV (2009) y VI (2016), Continuo Nacional material cartográfico generado por el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). Con la información existente se realizó un análisis con la superposición y cortes de las capas del área y zonas de estudio delimitadas para este diagnóstico, considerando un periodo de 7 años, para evaluar los tipos de usos de suelo y vegetación que han presentado cambios, incremento o aumento, en su extensión.

De acuerdo a lo que se observó en el análisis de los tipos de uso de suelo y vegetación, es en la Zona Bajo Atoyac donde crece en mayor medida las zonas para asentamientos humanos. Por lo tanto, es necesario plantear la demanda futura de servicios, en especial, los relacionados con la demanda de agua potable, alcantarillado y saneamiento.

Se realizó un análisis con la superposición y cortes de las capas del área y zonas de estudio delimitadas para este diagnóstico, considerando un periodo de 7 años, para evaluar los tipos de usos de suelo y vegetación que han presentado cambios, incremento o aumento, en su extensión.

El análisis muestra una disminución significativa de las áreas agrícolas y pastizales, esto se relaciona tanto de forma directa como indirecta con el aumento de áreas para el desarrollo de los asentamientos humanos.

Cuadro 4.24. Comparación de uso de suelo de las cartas Serie IV y VI de INEGI.

Grupos de Uso de Suelo y Vegetación	Serie IV (km ²)	Serie VI (km ²)	Incremento/reducción (km ²)
Cuerpo de agua	0.102	0.102	0.000
Agrícola y pastizal	1,890.16	1,679.94	-210.22
Asentamientos humanos, zona urbana y desprovistas de vegetación	132.94	215.22	82.28
Vegetación forestal	1,514.84	1,642.78	127.84
Total	3,538.04	3,538.04	

La dinámica general de recuperación de la cobertura forestal en los últimos años se registra en un incremento de 133 km², aunque se observó que algunas de las clasificaciones de la vegetación se reajustaron pasando de pastizal (Serie IV) a vegetación secundaria (Serie VI) lo que incrementa esta superficie de vegetación forestal. Se observó que las áreas cubiertas de pastizal inducido son generadas por descanso de la actividad agrícola o por abandono y están presentes principalmente en las áreas aledañas a las zonas agrícolas.

La selva baja caducifolia es un tipo de vegetación con cambios significativos durante el año. En los meses lluviosos se cubre con follaje muy tupido y en la temporada seca pierde más del 95% del mismo. Puede tener una apariencia incluso inerte, lo cual puede volver las áreas con esta vegetación un blanco fácil de deforestación e incendios, por creerse que es vegetación muerta que carece de la capacidad de generar los beneficios que se obtienen de la vegetación en general. La floración de este tipo de vegetación es muy notoria por la ausencia de hoja y, tiene el rasgo distintivo de constituirse de un gran número de especies entremezcladas. La presencia de este tipo de plantas se debe a su capacidad para conservar suficiente agua durante los meses secos. Estas características la vuelven vegetación de particular interés al tener la capacidad de subsistir periodos de estiaje que debido al impacto por actividades antropogénicas es cada vez más frecuente el déficit de agua.

4.2.9.1. Cambio de uso de suelo y vegetación (CUSV) 2009 vs. 2016 en Zona de estudio Alto Atoyac

La zona urbana en el 2009 (Serie IV) se distribuía con mayor extensión en la porción sur de la Zona Alto Atoyac, con unas pequeñas áreas aisladas en la porción centro y norte, cubriendo un 3.76% del territorio del área total de esta zona. Cuatro diferentes tipos de agricultura cubrían un 28.57%. El pastizal inducido era el área de mayor cobertura cubriendo el 17.30% de la zona de estudio. La vegetación secundaria arbustiva de selva baja caducifolia era la de menor cobertura con apenas un 0.03% de extensión en el territorio.

Para el 2016 (Serie VI) las áreas cubiertas por el pastizal inducido se redujeron significativamente, a más de la mitad del área inicial, quedando con un 7.70% de cobertura. La categoría de mayor extensión fue la agricultura de temporal anual y la selva baja caducifolia fue la de menor cobertura al igual que en la descripción del 2009 (Serie IV), sin embargo, presentó un pequeño aumento del área, 0.35 a 0.46 km². Este suceso es de llamar la atención porque la selva baja caducifolia se forma una vez que la selva mediana pierde altura, cobertura y se incrementa el porcentaje de defoliación. Sin embargo, la recuperación de la selva baja caducifolia surge en áreas cedidas por el pastizal inducido y por la agricultura de temporal anual. El área de los asentamientos humanos se extendió a un 6.31%, esta extensión corresponde a la pérdida de áreas de actividad agrícola y de pastizal inducido.

Aparecen dos descripciones de vegetación que pudieron haber existido anteriormente, pero estaban integradas dentro de algunas de las categorías existentes y en la actualizada se especifica estos dos

tipos de vegetación como: vegetación secundaria arbustiva de bosque de pino-encino y vegetación secundaria herbácea de bosque de encino.

La vegetación del bosque de pino, vegetación secundaria arbórea de bosque de pino y vegetación secundaria arbustiva de bosque de pino no sufrieron cambios, inicialmente cubrían una pequeña parte del área, sin embargo, se mantuvieron constantes. Estas áreas se observan en la porción este de la zona que se encuentra orientada hacia la Sierra Norte, cerca de la zona montañosa con una orografía de más difícil acceso para iniciar una sucesión, lo cual podría explicar el estado intacto de estas coberturas, además de los esfuerzos (acciones de reforestación, combate a incendios) de comuneros y ejidatarios para resguardar las áreas con cobertura forestal.

Los tipos de uso de suelo y vegetación que muestran una pérdida en extensión sobre el territorio son la agricultura en sus diferentes modalidades, el pastizal inducido y la vegetación secundaria arbórea de bosque de pino-encino. La de mayor pérdida es el área de pastizal inducido.

Cuadro 4.25. Tipos de uso de suelo y vegetación en la Zona Alto Atoyac de acuerdo a la Serie IV y Serie VI de Uso de Suelo y Vegetación de INEGI.

Tipos de uso de suelo y vegetación	Serie IV (2009)		Serie VI (2016)	
	Área (km ²)	Superficie respecto a la zona de estudio (%)	Área (km ²)	Superficie respecto a la zona de estudio (%)
Agricultura de riego anual	10.98	1.05	7.35	0.71
Agricultura de riego anual y semipermanente	99.93	9.60	84.70	8.14
Agricultura de riego semipermanente	10.48	1.01	10.32	0.99
Agricultura de temporal anual	175.99	16.91	178.19	17.12
Bosque de pino	6.51	0.63	6.52	0.63
Bosque de pino-encino	44.57	4.28	63.87	6.14
Pastizal inducido	180.05	17.30	80.12	7.70
Vegetación secundaria arbórea de bosque de encino	79.76	7.66	101.24	9.73
Vegetación secundaria arbórea de bosque de encino-pino	28.37	2.73	28.05	2.69
Vegetación secundaria arbórea de bosque de pino	34.66	3.33	34.63	3.33
Vegetación secundaria arbórea de bosque de pino-encino	150.16	14.43	134.52	12.93
Vegetación secundaria arbustiva de bosque de encino	77.15	7.41	128.59	12.36
Vegetación secundaria arbustiva de bosque de encino-pino	95.53	9.18	99.23	9.53
Vegetación secundaria arbustiva de bosque de pino	7.07	0.68	7.08	0.68
Vegetación secundaria arbustiva de selva baja caducifolia	0.35	0.03	0.46	0.04
Vegetación secundaria arbustiva de bosque de pino-encino			2.95	0.28
Vegetación secundaria herbácea de bosque de encino			7.26	0.70
Asentamientos humanos	39.15	3.76	65.64	6.31
Total general	1,040.72	100	1,040.72	100

Figura 4.38. Uso de suelo y vegetación en Zona Alto Atoyac Serie IV de INEGI (2009).

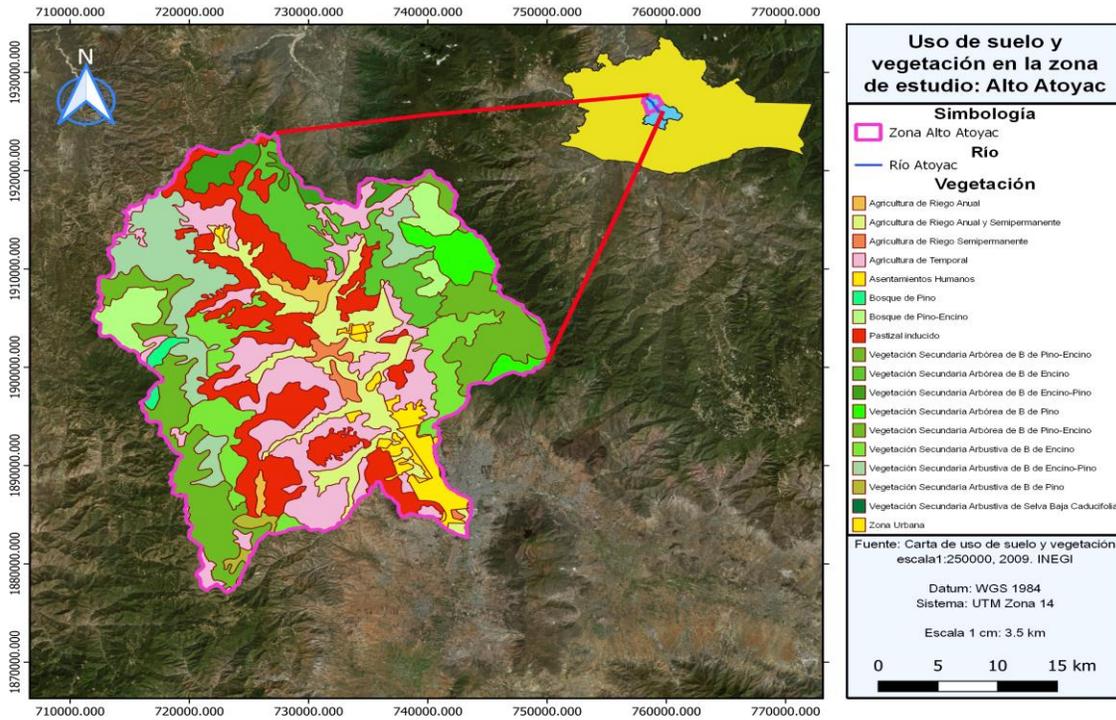
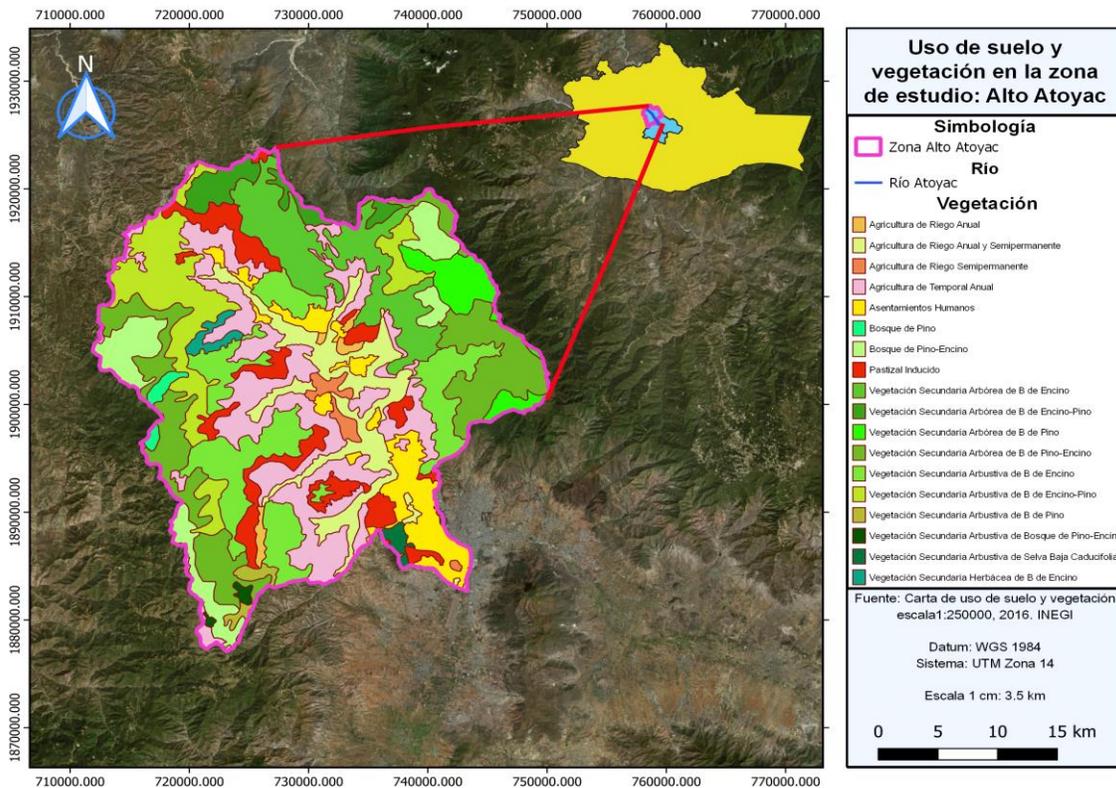


Figura 4.39. Uso de Suelo y Vegetación en la Zona Alto Atoyac Serie VI de INEGI (2016).



4.2.9.2. Cambio de uso de suelo y vegetación (CUSV) 2009 vs. 2016 en Zona de estudio Bajo Atoyac

De 18 categorías de uso de suelo y vegetación se observa que en 11 se incrementó el área de cobertura y en siete disminuyó. Dentro de las áreas que experimentaron un aumento se encuentra la ocupada para asentamientos humanos, la que tuvo un incremento significativo del 90%, es decir prácticamente se duplicó esta área en un lapso de tan sólo siete años, este fue de 42.04 km² a 79.78 km². Le sigue en cuanto a incremento en extensión la vegetación secundaria arbórea de bosque de encino de 2.23 km² a 2.89 km². La agricultura de temporal anual experimentó un aumento del 26.13% a 28.89%, esto podría explicarse por la demanda poblacional de la producción agrícola ante el aumento del número de habitantes en la zona. Se puede observar que la vegetación secundaria arbórea de bosque de pino gana extensión, con un incremento del 4.17% a 4.50%. Si bien los incrementos son mínimos en relación al área total de la zona, estos cambios representan una respuesta positiva considerando la excesiva presión que el crecimiento poblacional ejerce en esa parte de la subcuenca.

Cuadro 4.26. Tipos de uso de suelo y vegetación en la Zona Bajo Atoyac de acuerdo a la Serie IV y Serie VI de uso de suelo y vegetación de INEGI.

Tipos de uso de suelo y vegetación	Serie IV (2009)		Serie VI (2016)	
	Área (km ²)	Superficie respecto a la zona de estudio (%)	Área (km ²)	Superficie respecto a la zona de estudio (%)
Agricultura de riego anual			15.33	1.18
Agricultura de riego anual y semipermanente	210.04	16.23	200.48	15.49
Agricultura de temporal anual	338.15	26.13	373.92	28.89
Agricultura de temporal anual y permanente	2.56	0.20	2.55	0.20
Asentamientos humanos	42.04	3.25	79.78	6.16
Bosque de pino	6.63	0.51	5.74	0.44
Bosque de pino-encino	13.26	1.02	14.09	1.09
Desprovisto de vegetación		0.00	0.92	0.07
Pastizal inducido	266.95	20.63	188.35	14.55
Vegetación secundaria arbórea de bosque de encino	2.23	0.17	2.89	0.22
Vegetación secundaria arbórea de bosque de encino-pino	19.27	1.49	17.60	1.36
Vegetación secundaria arbórea de bosque de pino	53.95	4.17	58.27	4.50
Vegetación secundaria arbórea de bosque de pino-encino	5.58	0.43	4.61	0.36
Vegetación secundaria arbustiva de Bosque de encino	226.15	17.47	229.37	17.72
Vegetación secundaria arbustiva de bosque de encino-pino		0.00	1.66	0.13
Vegetación secundaria arbustiva de bosque de pino	86.46	6.68	74.78	5.78
Vegetación secundaria arbustiva de bosque de pino-encino	21.02	1.62	20.51	1.58
Vegetación secundaria arbustiva de selva baja caducifolia		0.00	3.46	0.27
Total general	1,294.29	100	1,294.29	100

Figura 4.40. Uso de suelo y vegetación en la Zona de estudio Bajo Atoyac Serie IV de INEGI (2009).

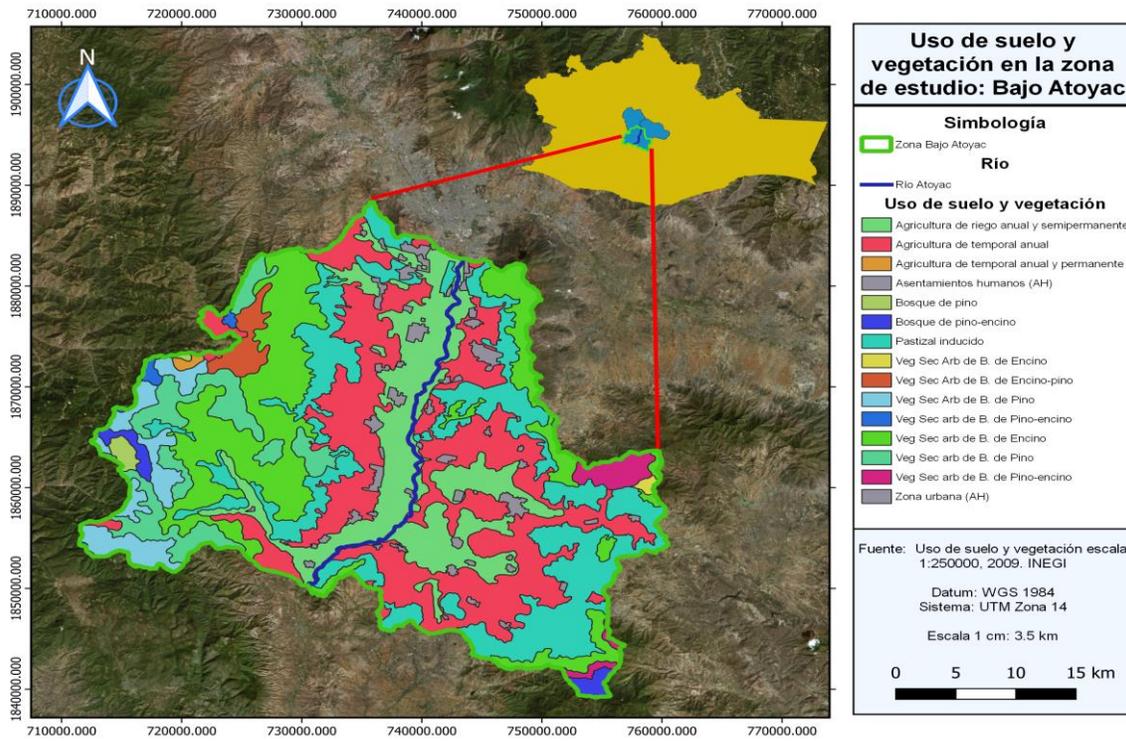
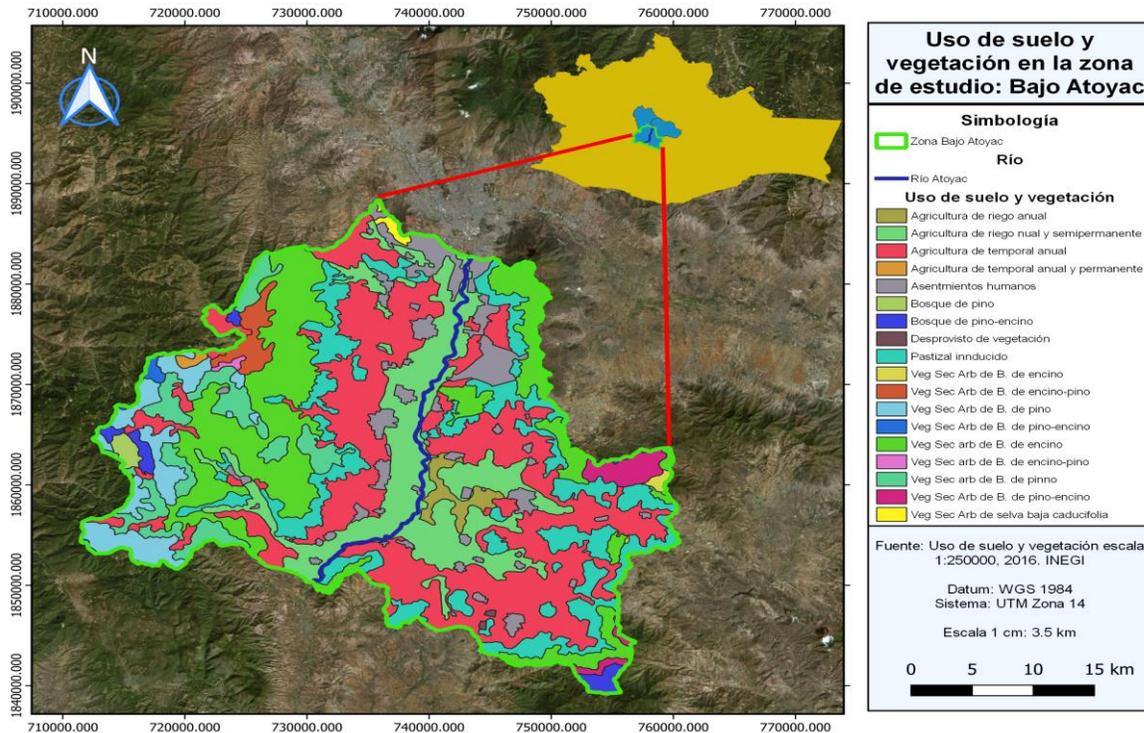


Figura 4.41. Uso de suelo y vegetación en la Zona de estudio Bajo Atoyac Serie VI de INEGI (2016).



4.2.9.3. Cambio de uso de suelo y vegetación (CUSV) 2009 vs. 2016 en Zona de estudio Río Salado

En la Zona Río Salado se identificaron 21 categorías de uso de suelo y vegetación en el 2009, de las cuales las de mayor extensión fueron: agricultura de temporal anual (254.30 km²) y pastizal inducido (151.69 km²), además se puede observar que presentan una reducción de 63.90 km² y 47.32 km² para el año 2016 (Serie VI), quedando una superficie de 190.40 km² y 104.37 km² respectivamente, que son los usos de suelo con mayor modificación tanto en extensión como en el tipo de uso. Esta cobertura cambió de bosque de encino y encino-pino, a vegetación secundaria arbórea y arbustiva.

Las categorías que presentan un mayor incremento durante el periodo de 2009 al 2016 son agricultura de temporal anual y permanente y vegetación secundaria arbustiva de bosque de encino, pasando de 114.6 km² a 152.77km² y 238.55 km² a 262.78 km² respectivamente.

La zona de asentamientos humanos pasó de 51.76 km² a 68.88 km², dando lugar a un incremento del 33%. Las áreas de desarrollo de asentamientos humanos se observaban concentradas hacia la porción oeste formando parte de la zona centro y con áreas en comparación pequeñas, aisladas y esparcidas en el resto de la zona alineadas al curso del Río Salado. Para el 2016 la zona de mayor concentración se incrementó significativamente y las otras áreas se observan con crecimientos no significativos.

Cabe mencionar que en esta zona de estudio existe la presencia de un cuerpo de agua correspondiente a la Presa Piedra Azul, localizada en el Municipio de Teotitlán del Valle, el cual presenta una superficie de 0.10 km², como se refiere en el siguiente cuadro.

Cuadro 4.27. Tipos de uso de suelo y vegetación en la Zona Río Salado de acuerdo a la Serie IV y Serie VI de uso de suelo y vegetación de INEGI.

Tipos de uso de suelo y vegetación	Serie IV (2009)		Serie VI (2016)	
	Área (km ²)	Superficie respecto a la zona de estudio (%)	Área (km ²)	Superficie respecto a la zona de estudio (%)
Agricultura de humedad semipermanente	3.58	0.30	3.58	0.30
Agricultura de riego anual	5.58	0.46	6.45	0.54
Agricultura de riego anual y semipermanente	69.44	5.77	81.06	6.74
Agricultura de temporal anual	254.30	21.14	190.40	15.83
Agricultura de temporal anual y permanente	114.60	9.53	152.77	12.70
Asentamientos humanos	51.76	4.30	68.88	5.73
Bosque de encino-pino	6.28	0.52	6.28	0.52
Bosque de pino	1.69	0.14	1.63	0.14
Bosque de pino-encino	23.76	1.98	23.68	1.97
Cuerpo de agua	0.101740	0.008457	0.101738	0.008457
Pastizal inducido	151.69	12.61	104.37	8.68
Vegetación secundaria arbórea de bosque de encino	88.45	7.35	90.63	7.53
Vegetación secundaria arbórea de bosque de encino-pino	16.82	1.40	16.75	1.39
Vegetación secundaria arbórea de bosque de pino	9.34	0.78	9.28	0.77
Vegetación secundaria arbórea de bosque de pino-encino	61.96	5.15	67.92	5.65
Vegetación secundaria arbustiva de bosque de encino	238.55	19.83	262.78	21.84
Vegetación secundaria arbustiva de bosque de encino-pino	16.01	1.33	16.01	1.33
Vegetación secundaria arbustiva de bosque de mezquite	7.29	0.61	7.58	0.63
Vegetación secundaria arbustiva de bosque de pino-encino (o vegetación secundaria arbustiva de bosque de pino-encino)	18.11	1.51	20.41	1.70
Vegetación secundaria arbustiva de selva baja caducifolia	67.89	5.64	72.02	5.99
Vegetación secundaria arbórea de bosque de mezquite			0.44	0.04
Total general	1203.04	100.00	1203.04	100.00

Figura 4.42. Uso de suelo y vegetación en Zona Río Salado Serie IV de INEGI (2009).

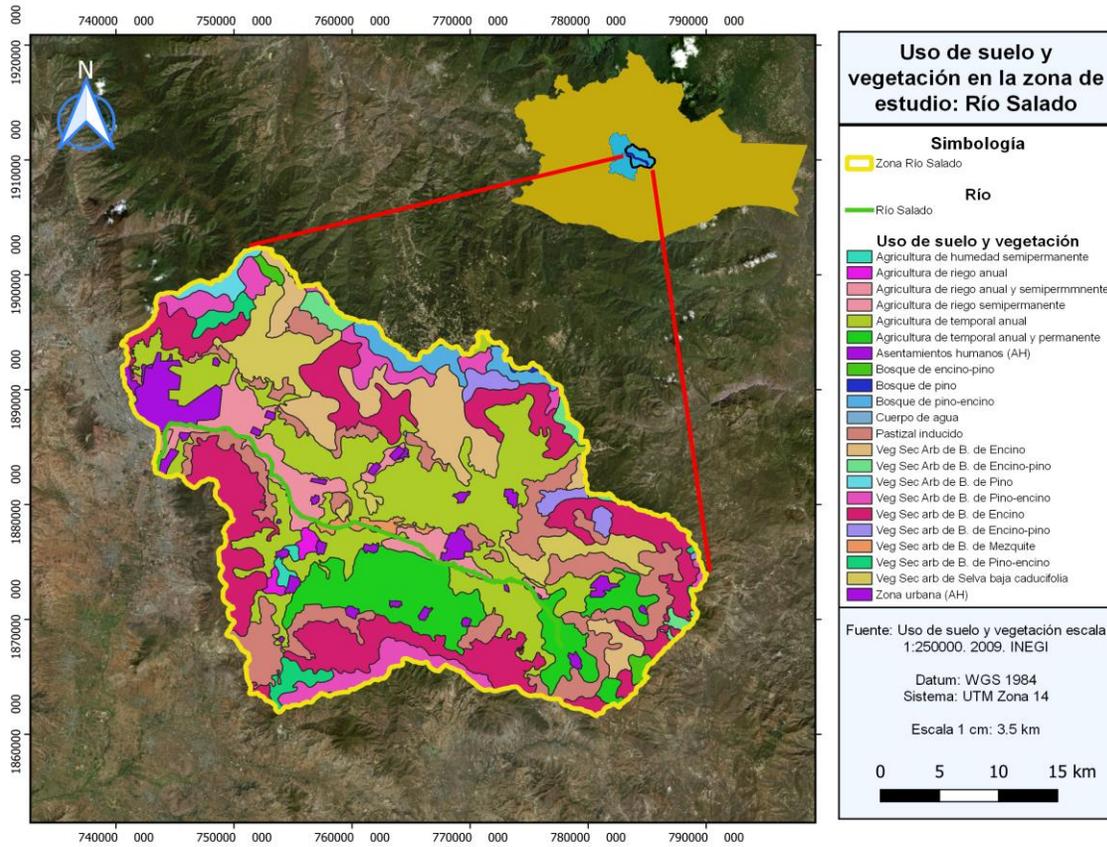
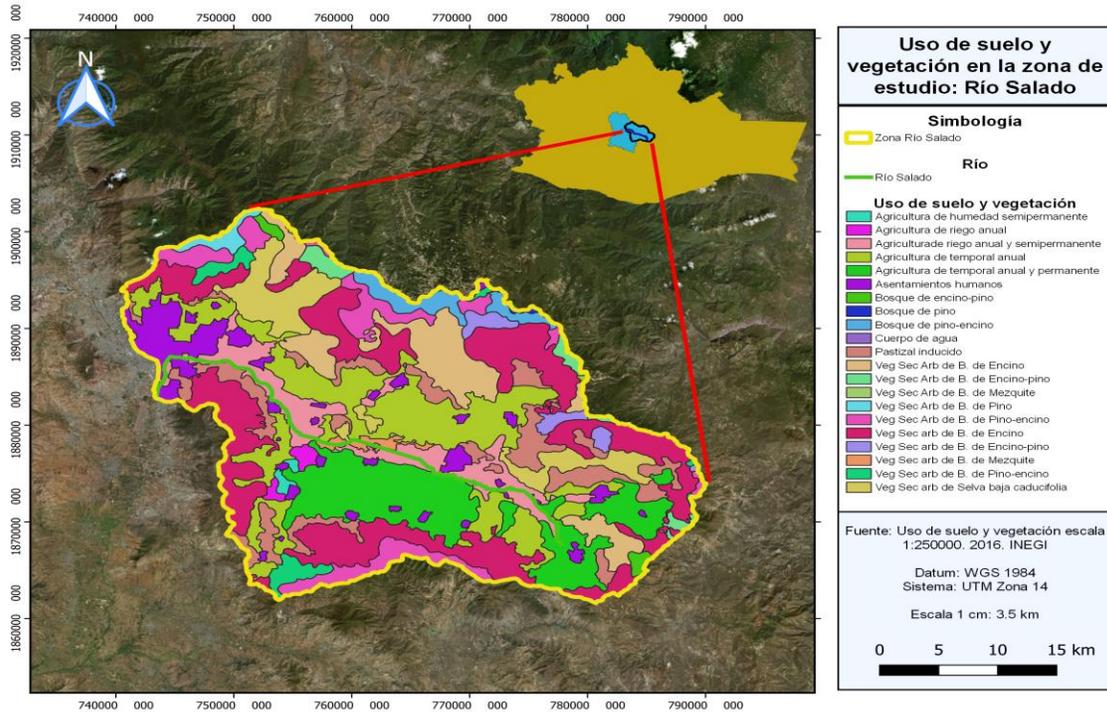


Figura 4.43. Uso de suelo y vegetación en Zona Río Salado Serie VI de INEGI (2016).



4.2.10. Cambios del Uso del Suelo en Terrenos Forestales (CUSTF)

Históricamente el Cambio del Uso del Suelo en Terrenos Forestales (CUSTF) se ha derivado principalmente de actividades antropogénicas ocasionadas por la reducción de los recursos forestales, la urbanización o la actividad agrícola y ganadera, entre otros factores. Esta dinámica ha generado la modificación de los estados originales del entorno natural en función de las necesidades generadas por el crecimiento poblacional tanto en zonas urbanas como rurales; además que, de acuerdo a Galicia (2014), los cambios en la cobertura vegetal asociado con la expansión de la agricultura, la urbanización y la contaminación tienen una profunda influencia en los procesos hidrológicos.

Las áreas con cobertura vegetal de tipo forestal en las Zonas Alto y Bajo Atoyac disminuyeron 3,068 ha mientras que el incremento de áreas para agricultura y asentamientos humanos fue de 8,855.50 ha, estos cambios en la distribución de los usos de suelo se dieron de la década de los 70 a la década de los 90; cabe mencionar que el cambio más significativo fue en la pérdida de pastizal de 6,119.80 ha durante esta última década. El cambio en la distribución de los usos de suelo de la década de los 80 a los 90 es menos pronunciado, sólo en la categoría de bosque se pierden 2,804.70 ha y hay un incremento de 2363.40 ha en las categorías de agricultura y pastizal, como se aprecia en el siguiente cuadro.

Cuadro 4.28. Cambio del uso de suelo en hectáreas en las Zonas de estudio Alto y Bajo Atoyac en un periodo de 30 años.

Uso de suelo	Década de los 70 (ha)	Década de los 80 (ha)	Década de los 90 (ha)
Asentamientos humanos	423.40	5,613.80	6,517.40
Agricultura	82,501.00	86,166.10	86,626.50
Pastizal	54,545.70	48,425.90	50,328.90
Bosque	97,321.20	95,020.10	92,215.40
Selva	984.90	218.00	96.50
Otros			
Cuerpo de agua			
Total	235776.20	235443.90	235784.70

Como se puede observar en la zona del Alto y Bajo Atoyac, durante el periodo de los 70 a los 90 la vegetación forestal de bosque y selva, son los tipos de uso de suelo que perdieron mayor cobertura (5,994.20 ha), seguida de pastizal (4,216.80 ha), por otro lado, la categoría que incrementó fue el área de asentamientos humanos (6,094.00 ha) y agricultura (4,125.50 ha).

En el caso de la Zona del Río Salado, durante la década de los 70 a los 80, los tipos de vegetación que tuvieron mayor cambio fue pastizal y selva, con una pérdida de 6,194.80 ha, y 2,031.00 ha. Respectivamente; mientras las categorías que incrementaron son asentamientos humanos y bosque, la primera con 4,129.30 ha y la segunda 3,426.10 ha. En la siguiente década (80-90), la vegetación forestal perdió 1600 ha. y las categorías de agricultura y pastizal incrementaron 2,137.10 ha, como se observa en el siguiente cuadro.

Cuadro 4.29. Cambio del uso de suelo en hectáreas en las Zona de estudio Río Salado en un periodo de 30 años.

Uso de suelo	Década de los 70 (ha)	Década de los 80 (ha)	Década de los 90 (ha)
Asentamientos humanos	496.20	4,625.50	4,743.70
Agricultura	46,204.40	45,088.50	46,547.70
Pastizal	19,538.20	13,343.40	14,021.30
Bosque	43,639.10	47,065.20	46,572.90
Selva	9,378.10	7,347.10	6,239.40

Uso de suelo	Década de los 70 (ha)	Década de los 80 (ha)	Década de los 90 (ha)
Otros		1,115.30	1,125.10
Cuerpo de agua			10.90
Total	119,256.00	118,585.00	119,250.10

Los cambios adversos de cobertura forestal, que conllevan a procesos de degradación forestal, generan impactos en estas zonas a diferentes escalas. A nivel local provoca la pérdida y degradación de suelo, cambios significativos en el microclima y pérdida en la diversidad de especies. Por otro lado, los cambios en las coberturas vegetales han provocado variación del escurrimiento superficial, lo cual a su vez afecta la recarga del acuífero de Valles Centrales (Villarreal, 2011).

Figura 4.44. Década de los 70

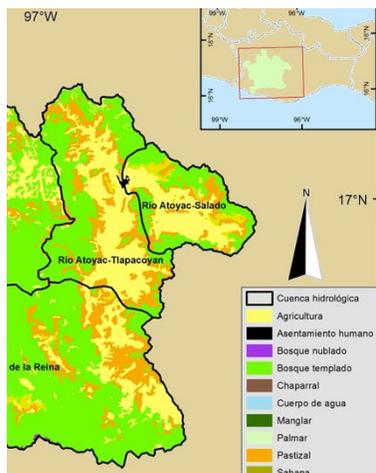


Figura 4.45. Década de los 80

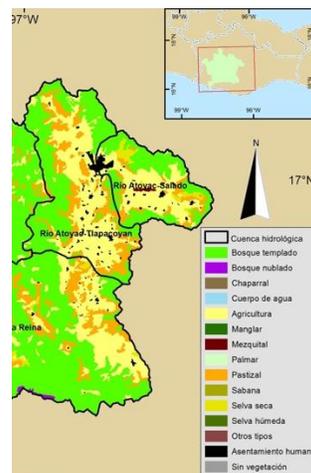
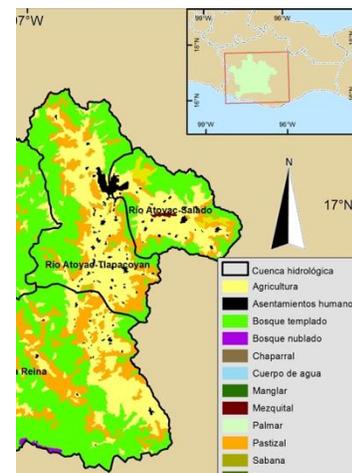


Figura 4.46. Década de los 90



A nivel regional los cambios en el uso del suelo afectan el funcionamiento de toda la subcuenca donde se ubica el área y las zonas de estudio, con consecuencias para los asentamientos humanos. La alteración del ciclo del agua se ha observado en las lluvias torrenciales que provocan inundaciones en varias áreas de la Zona Metropolitana de Oaxaca (ZMO) y áreas aledañas a los ríos Atoyac y Salado y con los periodos contrastantes de estiaje con escasez de agua. Ambos fenómenos con repercusiones en el sector salud y de índole económica y social (Bocco *et al.*, 2001).

Para hacer el análisis de los cambios de uso de suelo en terrenos forestales, en las tres zonas de estudio, se analizaron las cartas de Uso de Suelo y Vegetación Serie IV y VI, utilizando el software QGIS 3.16, haciendo una agrupación considerando las áreas urbanas, el conjunto de áreas agrícolas y áreas con vegetación forestal (donde se incluye todos los tipos de vegetación que son susceptibles de CUSTF).

Cabe mencionar que la Ley de Desarrollo Forestal Sustentable, en el Art. 7 párrafo 6º, define al cambio de uso del suelo en terreno forestal como la remoción total o parcial de la vegetación de los terrenos forestales para destinarlos a actividades no forestales.

Considerando la definición anterior, en la zona donde se ha presentado una reducción de vegetación forestal de 1,57 km² es el Bajo Atoyac, esto durante el periodo de 2009 al 2016, como se describe en el siguiente cuadro.

Cuadro 4.30. Análisis de cambio de uso de suelo en terrenos forestales en las zonas de estudio.

Zonas de estudio	Uso de suelo	Superficie Serie IV (km ²)	Superficie Serie VI (km ²)	Incremento/ Reducción
Alto Atoyac	Agrícola	477.43	360.68	-116.75
	Vegetación forestal	524.13	614.40	90.27
	Urbano	39.15	65.64	26.49
Bajo Atoyac	Agrícola	550.75	593.2	42.45
	Vegetación forestal	434.55	432.98	-1.57
	Urbano	42.04	79.78	37.74
Río Salado	Agrícola	599.19	538.63	-60.56
	Vegetación forestal	556.15	595.41	39.26
	Urbano	51.76	68.88	17.12

Es prioritario realizar análisis actualizados en relación a los cambios en el uso del suelo a partir de cartografía actualizada al año 2020 para la implementación de medidas de planeación y mitigación, además de la regulación de uso del suelo en los municipios para propiciar la protección de zonas con cobertura forestal.

Las Zonas Alto Atoyac y Río Salado muestran un incremento de superficies con cobertura forestal, y se debe propiciar la protección de estas áreas a través de los ordenamientos territoriales, Áreas Destinadas Voluntariamente a la Conservación (ADV) y de ordenamiento comunitarios, además de generar estrategias para el combate de incendios forestales y el control de plagas y enfermedades.

4.2.11. Pérdida de suelo

El crecimiento poblacional ha generado un proceso de urbanización desordenado especialmente en la Región de los Valles Centrales. Este crecimiento sin regulación genera procesos de deforestación y erosión ocasionados por la tala de vegetación, así como por el cambio de vocación de terrenos de usos agrícola y pastoreo. Estas actividades generan arrastres de los materiales finos de la superficie por erosión hídrica y eólica provocando la pérdida del suelo y de su fertilidad.

De acuerdo con datos del INEGI y la SEMARNAT (2000), el 64.2% de los suelos del territorio de México (1.3 millones de km²) se encuentra afectado por erosión hídrica, eólica o por algún tipo de degradación. La erosión hídrica afecta el 37% de la superficie nacional, la erosión eólica el 14.9% y la degradación química casi el 7%. Por otra parte, de acuerdo con la FAO (FAO-TERRASTAT, 2003), el 26% del territorio nacional (512 mil km²) presenta riesgos de erosión. Oaxaca es el Estado del país con la mayor cantidad de hectáreas erosionadas, el 84% de su superficie total presenta algún tipo de erosión.

Para este apartado se evaluaron las pérdidas de suelo en el área de estudio, utilizando la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (EUPS). Este modelo permite estimar la erosión en campo y es utilizada como un instrumento de planeación para establecer las prácticas y obras de conservación de suelos (CONAFOR Y SEMARNAT, 2010), involucra variables tanto físicas como de manejo y es el más empleado a nivel mundial (CONAFOR, 2018).

4.2.11.1. Resultados generados

Se presentan a continuación los resultados de los cálculos generados para evaluar la pérdida de suelo en el área de estudio considerando información existente en la Serie VI de INEGI, estos resultados

podrían ser útiles para establecer acciones que permitan retener y recuperar el suelo en toda el área y zonas de estudio. En primera instancia se tienen los resultados para toda la zona de estudio, indicando por clase de erosión la superficie correspondiente, como se muestra en el siguiente cuadro.

Cuadro 4.31. Resumen de erosión de suelo con información de la Serie VI de acuerdo al uso de suelo y vegetación en el área de estudio.

Clase de erosión	Pérdida de Suelo (ton/ha/año)	Uso de suelo y vegetación Serie VI (2016)		
		Área (km ²)	Área (ha)	Porcentaje (%)
Incipiente	0 - 5	2,379.71	237,971.41	67.26
Ligera	5 - 10	127.85	12,785.02	3.61
Moderada	10 - 50	560.17	56,017.06	15.83
Severa	50 - 200	337.54	33,754.01	9.54
Muy severa	Mayor de 200	14.43	1,443.01	0.41
Asentamientos humanos	-	118.35	11,834.49	3.34
Área Total	-	3,538.05	353,805	100

En el cuadro anterior se puede observar que en la mayor parte del área de estudio se tiene una clase de erosión incipiente en un 67.26% de toda la superficie, se entiende esto porque además de que hay áreas con pendientes pronunciadas con la presencia de la vegetación forestal, se contribuye considerablemente en la retención de suelo, además de que la cobertura forestal favorece que la lluvia no impacte directamente en suelo; la implementación de acciones de reforestación, protección de bosques y obras de retención de suelo permitirán ampliar/mantener las superficies donde se disminuye la pérdida de suelo manteniéndola en esta clasificación incipiente. Se observa que la superficie de erosión severa y muy severa representa el 9.54% y 0.41% respectivamente del área de estudio.

Realizando el cálculo de la pérdida de suelo promedio por clase de erosión, se generó el siguiente cuadro donde se indican las toneladas de suelo por clase y en base a su superficie. Con estos cálculos se puede observar la cantidad de suelo que se pierde en el área de estudio, y la necesidad de implementar acciones que contribuyan a su retención, sobre todo entendiendo que parte de este suelo llega a los ríos Atoyac y Salado y ríos tributarios azolvándolos; o bien llega a las áreas urbanas transportado por lluvias, introduciéndose en los sistemas de drenaje y alcantarillado, generando el detrimento de esta infraestructura.

Cuadro 4.32. Toneladas de suelo perdidas anualmente en el área de estudio (Serie VI).

Clase de erosión	Pérdida de Suelo (ton/ha/año)	Pérdida Media de Suelo (ton/ha/año)	Superficie de Uso de Suelo y Vegetación Serie VI (2016)	Pérdida de Suelo promedio por Clase de erosión
			Área (ha)	(ton/ año)
Incipiente	0 - 5	2.5	237,971.41	594,928.52
Ligera	5 - 10	7.5	12,785.02	95,887.65

Clase de erosión	Pérdida de Suelo (ton/ha/año)	Pérdida Media de Suelo (ton/ha/año)	Superficie de Uso de Suelo y Vegetación Serie VI (2016)	Pérdida de Suelo promedio por Clase de erosión
			Área (ha)	(ton/ año)
Moderada	10 - 50	30	56,017.06	1,680,511.80
Severa	50 - 200	125	33,754.01	4,219,251.25
Muy severa	Mayor de 200	200	1,443.01	288,602.00
Asentamientos humanos	-		11,834.49	
Área Total	-		35,3805	6,879,181.22

Se indica a continuación los rangos y descripción para las clases de erosión:

- Incipiente a Ligera: tierras sin degradación o que presentan erosión laminar. Los suelos mantienen aún sus características biológicas (materia orgánica) y físicas (estabilidad estructural), lo que permite realizar actividades agrícolas comunes de la zona con prácticas conservacionistas racionales (mínimo laboreo, rotaciones de cultivos con pasturas sembradas).
- Moderada: tierras que presentan surcos y cárcavas aisladas además de erosión laminar. Se observa un descenso importante de la materia orgánica en los suelos, así como pérdida de estructura de los mismos. Estos niveles de degradación han obligado en muchas zonas a cambiar el uso de la tierra a sistemas más conservacionistas (más años de pasturas, forestación), además de tener que implementar prácticas conservacionistas más costosas o específicas (laboreos en contorno siguiendo curvas a nivel, fajas empastadas, terrazas, etc.).
- Severa y Muy severa: tierras que presentan cárcavas y surcos en forma significativa. En estos suelos además de haber perdido sus características biológicas y físicas originales se dificulta el pasaje de la maquinaria debido a la presencia de cárcavas.

Como se observa en el cuadro anterior, para la Clase de erosión Incipiente se observa una pérdida de suelo de 594,928.52 ton/año a razón de una pérdida media de suelo de 2.5 ton/ha/año, además de la consideración que este tipo de erosión se da en el 67.26 %, de superficie total del área de estudio. Para las pérdidas de suelo moderada (30 ton/ha/año) y severa (125 ton/ha/año), se tienen los volúmenes mayores de erosión 1,680,511.8 y 4,219,251.25 ton/ha/año respectivamente; esto se entiende por la elevada tasa promedio de erosión, pues si bien las áreas que ocupan son el 15.83 % y 9.54 % con respecto al área de estudio, la erosión promedio eleva la pérdida de suelo, de aquí que se pueda considerar estas áreas como prioritarias de atención para la implementación de obras de reforestación y retención de suelo. En el caso de la clase de erosión Muy severa (200 ton/ha/año), se tienen grandes volúmenes totales de pérdida de suelo calculados en 288,602 ton/ año, pues si bien el área donde se da este resultado solo es el 0.41% de estudio, la elevada tasa promedio de erosión incrementa significativamente el resultado obtenido. Se muestran a continuación los mapas de pérdida de suelo por zona de estudio.

Figura 4.47. Mapa de erosión para la Zona Alto Atoyac.

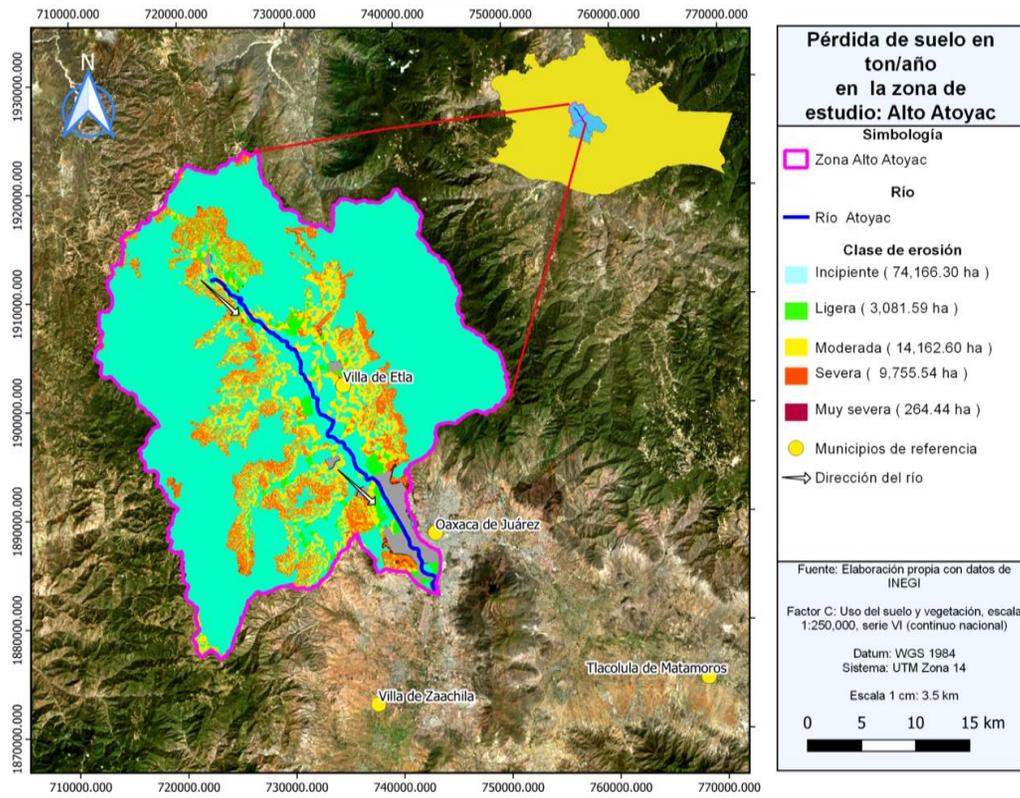


Figura 4.48. Mapa de erosión para la Zona Bajo Atoyac.

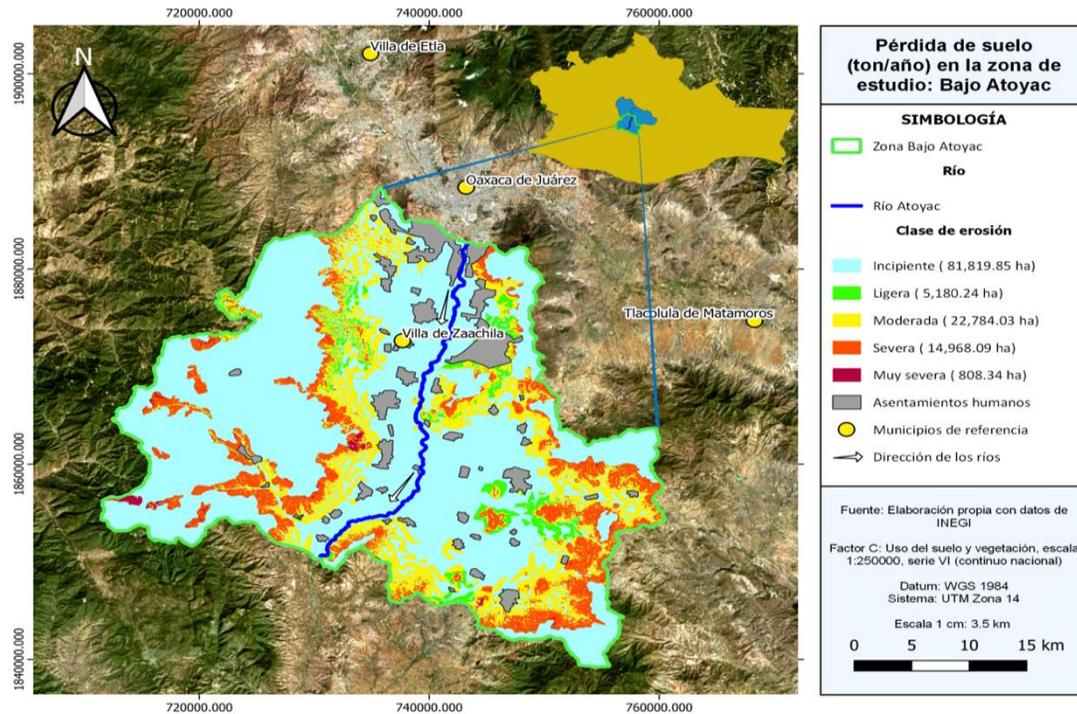
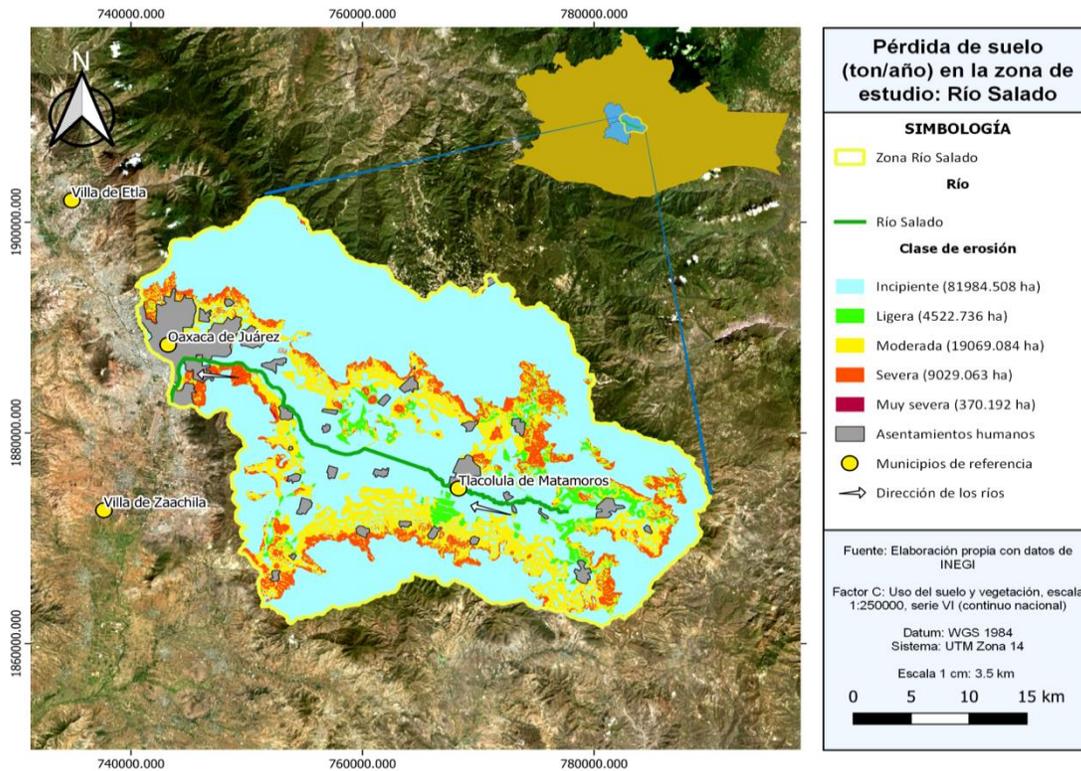


Figura 4.49. Mapa de erosión para la Zona Río Salado.



De acuerdo con los mapas de erosión generados, se puede observar en los cuadros anteriores que la zona donde se presenta mayor erosión total corresponde a la Zona Bajo Atoyac con una erosión de 2,959,602.09 ton/año, presentándose, además, las áreas con mayores pérdidas de suelo en las categorías de Severa y Muy severa, 1,871,011.25 y 161,668.60 ton/año respectivamente, presentándose esto hacia la parte suroeste y centro del territorio delimitado para esta zona. Las Zonas Alto Atoyac y Río Salado presentan las áreas con categorías de erosión Severa y Muy severa, hacia el centro de sus territorios, aunque en el caso de Río Salado se aprecia también una franja de erosión hacia la parte sur, áreas identificadas como de uso agrícola al pie de donde empieza la cadena montañosa.

Resulta relevante la información generada por la cantidad de suelo que se pierde en el área de estudio por erosión hídrica y eólica, además que parte de este va a los ríos generando su azolve, llega a las áreas urbanas por escurrimiento superficial, y al no contar con sistemas pluviales y de drenaje diferenciados se propicia que este suelo entre a esta infraestructura y llegue a la de saneamiento, disminuyendo su operación.

Es importante poder establecer obras de retención de suelo y reforestación que permita disminuir su pérdida, pues es un recurso natural que tarda años en conformarse y que permite la productividad de ecosistemas o bien de producción primaria tan necesaria para abastecer a la población.

4.2.12. Áreas con importancia biológica y ecológica

Existen áreas cuyas características biológicas las vuelven importantes a diferentes escalas y con una categoría específica de manejo por la biodiversidad de especies presentes y/o por los beneficios que proporcionan a la población a través de los denominados servicios ecosistémicos, los cuales se agrupan como se menciona a continuación.

- Servicios ecosistémicos de abastecimiento: son los beneficios obtenidos para su consumo o utilización, ya sea de manera directa o previo procesamiento como materias primas, alimentos, agua y combustibles.
- Servicios ecosistémicos de soporte: son necesarios para la producción de todos los demás servicios ecosistémicos, como la fotosíntesis, la producción primaria, el ciclo de nutrientes y el ciclo del agua.
- Servicios ecosistémicos de regulación: son los procesos ecológicos que mejoran o hacen posible la vida como la regulación del clima, depuración del aire, regulación del ciclo hidrológico, polinización, entre otros.
- Servicios ecosistémicos culturales: son valores o beneficios intangibles que proporcionan enriquecimiento personal o espiritual, desarrollo cognitivo y reflexión, a través de la belleza escénica de los paisajes, de la recreación y disfrute, de las tradiciones y valores culturales asociados al entorno natural.

De acuerdo con el diagnóstico y priorización de cuencas hidrográficas de México (Cotler *et al.*, 2010) y a la priorización de regiones (FGRA, 2015), las Zonas de estudio del Alto y Bajo Atoyac, y Salado se ubican dentro de una región catalogada como de gran importancia ecológica. Estas subcuencas presentan áreas con características biológicas de relevancia o con un impacto antropogénico bajo, esto las convierten en sitios importantes para la toma de medidas que promuevan su conservación y restauración. Por esta razón la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO) ha designado estos sitios como Regiones Prioritarias (RP) y la Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP) como Áreas Naturales Protegidas (ANP).

4.2.12.1. Regiones Terrestres Prioritarias (RTP)

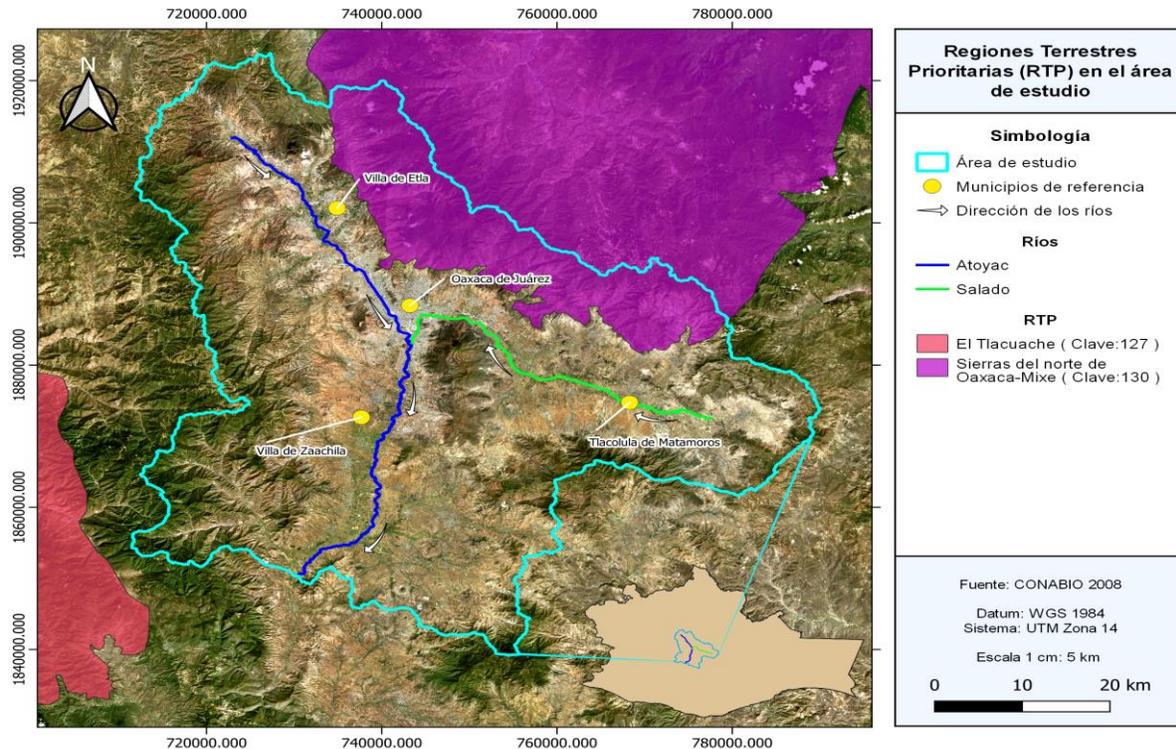
Las RTP refieren unidades físico-temporales estables desde el punto de vista ambiental. Destacan por su riqueza ecosistémica y cuentan con la presencia de especies endémicas. Poseen una integridad biológica significativa y una oportunidad real de conservación.

La RTP Sierras del norte Oaxaca-Mixe (Número 130) se distribuye al noreste de la Zonas de estudio Alto Atoyac y al norte del Río Salado. Esta región integra la Sierra del norte de Oaxaca (Sierra Juárez) y la Sierra Mixe-La Ventosa. Se trata de una región importante por la gran diversidad de ambientes interconectados debidos a la compleja fisiografía. Existe poca fragmentación y se presentan los bosques mesófilos más grandes y mejor conservados de México. La fisiografía compleja de esta zona da como resultado diversidad de ambientes. Sin embargo, destaca la gran extensión de los bosques mesófilos de montaña y la selva alta perennifolia. Hacia la parte sur se localizan selvas medianas, altas y bajas y corredores de taxa xerofíticos. Cabe mencionar las especies maderables del bosque mesófilo y la selva alta se encuentran bajo cierta presión y existen varias especies de plantas en peligro y amenazadas, en la zona húmeda y especies raras en las selvas de La Ventosa. La concentración de especies en riesgo es principalmente para plantas vasculares y vertebrados.

Recientemente se han construido caminos para apoyo al aprovechamiento forestal. En el norte (parte de la planicie) se realizan actividades para el desarrollo de la ganadería. La alta explosión demográfica

es un problema importante. Por otra parte, se tienen considerados para su desarrollo algunos proyectos hidráulicos. Entre los principales problemas están la alta presión de población en la zona Mixe, la cual es menor en la región seca. Existe ganadería extensiva y zonas cafetaleras extensas (Figura 4.50).

Figura 4.50. RTP presentes en el área de estudio.



4.2.12.2. Áreas de Importancia para la Conservación de Aves (AICA)

Las AICA incluyen características bióticas y abióticas y un listado avifaunístico que incluye las especies registradas y probables para la zona, categorías de riesgo, endemismo y su estacionalidad. Dentro de las AICA es posible encontrar especies con alguna categoría de amenaza en la NOM-059-SEMARNAT-2010 así como las especies endémicas, semiendémicas y cuasiendémicas.

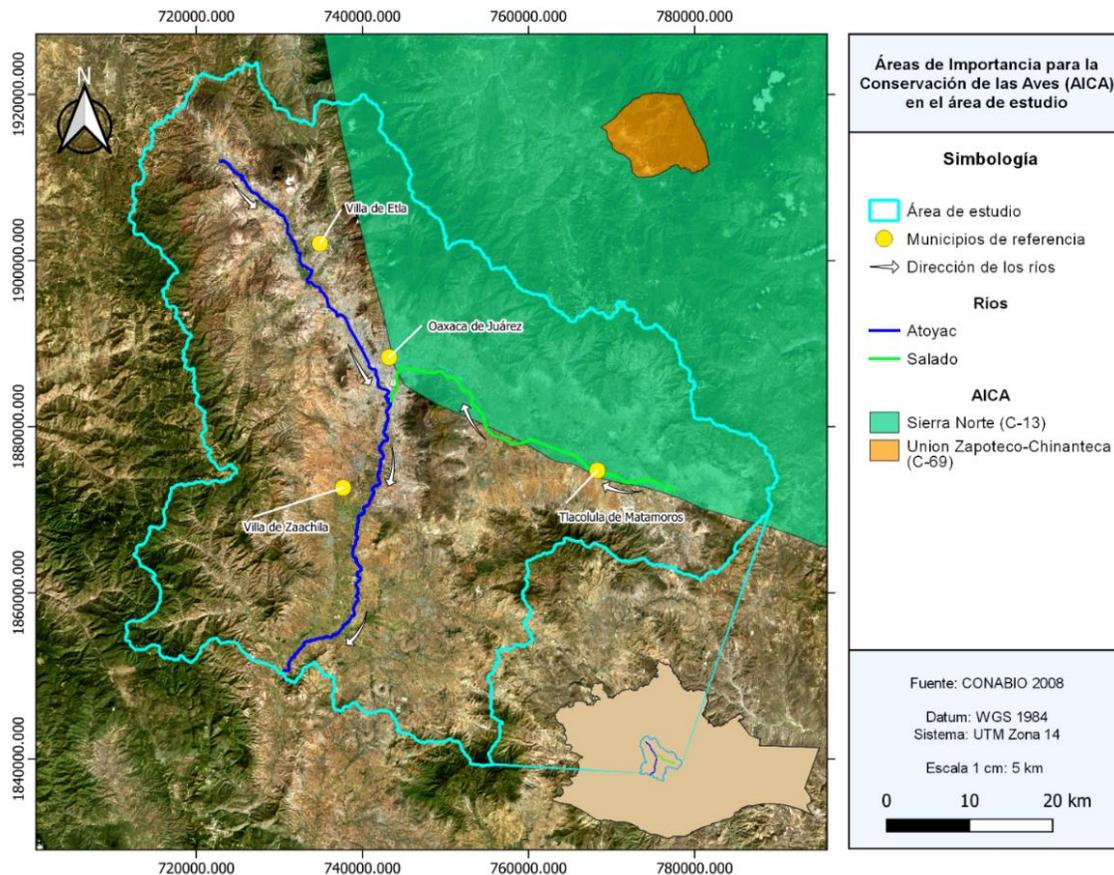
La CONABIO (2020), describe que existen 219 AICA ubicadas en todos los estados de la República Mexicana, las de extensiones más grandes geográficamente se ubican en ocho estados, entre ellos Oaxaca (Benítez *et al.*, 1999). Las Zonas de estudio Alto Atoyac y Río Salado cuentan con parte del área de la AICA Unión Zapata-Chinanteca (Número 220), en la porción este de la primera y en la mitad norte de la Zona de estudio Río Salado.

Esta AICA es un sistema montañoso alto, escarpado, con cañones profundos como los de los ríos Cajonos, Soyalapan y Santo Domingo. Su altitud varía de 50 msnm al sur del Distrito de Tuxtepec hasta 3,700 msnm en el Cerro de Cempoaltepetl, en la zona Mixe. La mayoría de las pendientes superan los 45°, inclusive forman laderas de cañones como las de los ríos Cajonos y Santo Domingo. Hacia los límites de la planicie costera del Golfo existen lomeríos con pendientes suaves a menos de 50 msnm. La temperatura media anual varía de 26°C entre los 50 y 150 msnm en la planicie costera del Golfo hasta 9°C a 3,150 msnm, siendo menores en partes más altas. La precipitación total anual va desde 545 mm aproximadamente en la Cañada, hasta casi los 6,000 mm en Vistahermosa, Comaltepec (CONABIO, 2020).

La vegetación en esta región es Bosque Tropical Perennifolio, Bosque Mesófilo de Montaña, Bosque de Coníferas y Encino, Bosque Tropical Caducifolio, Bosque Tropical Subcaducifolio, Matorral Xerófilo, Pastizal, propiciando el manejo forestal maderable y la agricultura de autoconsumo como el principal uso del suelo.

Esta AICA presenta los mejores y más extensos bosque mesófilos conservados del país, Selva Baja Caducifolia con especies endémicas de aves, grandes extensiones de pino-encino, áreas en buenas condiciones de selva húmeda y ambientes acuáticos propicios para aves migratorias. Sin embargo, el plan de ordenamiento no incluyó a la fauna silvestre, con un riesgo de afectación a las especies de vertebrados y otros muchos grupos que están amenazados y en peligro de extinción, enlistados en el libro rojo de la ICBP/IUCN (1992) citado por CONABIO (2020), así como por la Sociedad para el Estudio y Conservación de las Aves en México A.C. (CIPAMEX) y la Secretaría de Desarrollo Social (SEDESOL) como especies amenazadas para América (Figura 4.51).

Figura 4.51. AICA presente en el área de estudio.



4.2.12.3. Áreas Naturales Protegidas (ANP) y sitios prioritarios

Las ANP son porciones del territorio representativas de los diversos ecosistemas, tienen la particularidad de no estar alteradas por la influencia de las actividades antropogénicas. Esta condición les permite mantener su equilibrio ecológico y generar servicios ecosistémicos. Éstos son cada vez más reconocidos y valorados por lo que los sitios con estas características se encuentran sujetos a regímenes especiales de protección, conservación, restauración y desarrollo.

La Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente establece que en las zonas núcleo de las ANP es posible la limitación o prohibición de aprovechamientos que alteren los ecosistemas, asimismo existe la prohibición de interrumpir, rellenar, desecar o desviar flujos hidráulicos. Una de las categorías de manejo de las ANP, las áreas de protección de recursos naturales, se enfoca a la preservación y protección de cuencas hidrográficas, así como a las zonas de protección de cuerpos de aguas nacionales (SEMARNAT Y CONAGUA, 2018).

Dentro del Área de estudio se han decretado cinco ANP. El Monumento Natural Yagul y Parque Nacional Benito Juárez, de competencia federal, y el Parque Estatal El Fortín, Parque Estatal Hierve el Agua y una Zona de Reserva Ecológica y Área Natural Protegida, de competencia estatal.

4.2.12.3.1. Monumento Natural Yagul

De acuerdo con SEMARNAT y CONANP (2013) el Monumento Natural Yagul decretado en el 1999 (DOF, 2012) se localiza en la Provincia Florística de las Serranías Meridionales perteneciente a la Región Mesoamericana de Montaña. Se ubica en la porción noreste de la región de Valles Centrales, al pie de las montañas, con bajos niveles de humedad, lo cual genera que la vegetación dominante sea compuesta por cactáceas, agaváceas y leguminosas. Los tipos de vegetación identificados al interior del Monumento Natural Yagul son: Selva Baja Caducifolia, Selva Baja Caducifolia Espinosa y Popal-Tular (Figura 4.61).

A pesar de la importancia que el Monumento Natural Yagul representa, los estudios de flora y fauna al interior del mismo han sido pocos. De la misma forma que sucede con la vegetación, la investigación sobre la fauna es escasa, esta situación impide caracterizar con precisión los elementos biológicos del área. A pesar de lo anterior, de los 164 registros de especies de flora y fauna, destacan especies que se encuentran en alguna categoría de riesgo con base en la Norma Oficial Mexicana Nom-059-SEMARNAT-2010, tres especies de aves: *Accipiter striatus*, *Buteo albonotatus* en protección especial y *Oporonis tolwiei* como amenazada; y cuatro especies de reptiles en protección especial: *Kinosternon integrum*, *Sceloporus grammicus*, *Salvadora intermedia* y *Phrynosoma braconnieri*.

Es importante mencionar que en este mismo sitio coincide otro esquema de tutela jurídica de naturaleza arqueológica, con el estatus de Zona de Monumentos Arqueológicos. En el primer caso, se trata de un espacio de conservación de la vida silvestre, a cargo de la CONANP y el segundo protege el patrimonio arqueológico por el Instituto Nacional de Antropología e Historia (INAH). Cabe mencionar que, en el mes de agosto de 2010, este sitio fue reconocido como Patrimonio Cultural de la Humanidad por parte de la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO).

Aunado a que el Monumento Natural Yagul se encuentra en una zona con clima semiseco-semicálido, con una precipitación media anual de 559 mm anuales que lo sitúan con cierto grado de aridez, en los últimos años se ha presentado una reducción en la precipitación anual, aunque no se cuenta con un estudio al respecto. La sequía ha incidido en la agricultura tradicional, objeto de conservación de acuerdo al decreto de declaración del Monumento Natural Yagul (SEMARNAT y CONANP, 2013).

4.2.12.3.2. Parque Nacional Benito Juárez

El Parque Nacional Benito Juárez (DOF, 2013), se ubica en la parte media de la serranía que rodea por el norte a la ciudad de Oaxaca, conocida como Sierra de San Felipe. Es parte de la región de Valles Centrales de Oaxaca, en el entrecruzamiento de cadenas montañosas originadas en la Sierra Madre de Oaxaca y la Sierra Madre del Sur, dentro de la Provincia Fisiográfica Sierra Madre del Sur, en la Subprovincias Sierras Orientales de Oaxaca (Raisz, 1964).

Las escorrentías que descienden por las laderas del parque están conformadas por:

- Río Chiquito, se origina en terrenos cercanos a la comunidad de San Luis Beltrán.
- Río Grande, escurre por los terrenos del Ejido de Donají.
- Río Huayapam.
- Ríos Yugusiqui y Duraznales, se unen para formar el San Felipe del Agua, que abajo se convierte en el Río Jalatlaco.

Estas corrientes se alimentan de diferentes arroyos provenientes de las montañas y aunque tienen un caudal reducido son de naturaleza permanente. Aguas abajo, el agua de algunos de estos ríos es entubada y conducida a la ciudad de Oaxaca. Los ríos que escurren en el parque desembocan directamente al Río Salado, que a su vez se une al Río Atoyac al sur de la ciudad de Oaxaca.

De acuerdo a INEGI (Serie VI) los elementos arbóreos dominantes están compuestos principalmente de coníferas y encinos, tienen una afinidad predominante holártica, mientras que los arbustivos y herbáceos son casi en su totalidad de afinidades neotropicales y pantropicales (Saynes, 1989, citado por SEMARNAT y CONANP, 2014).

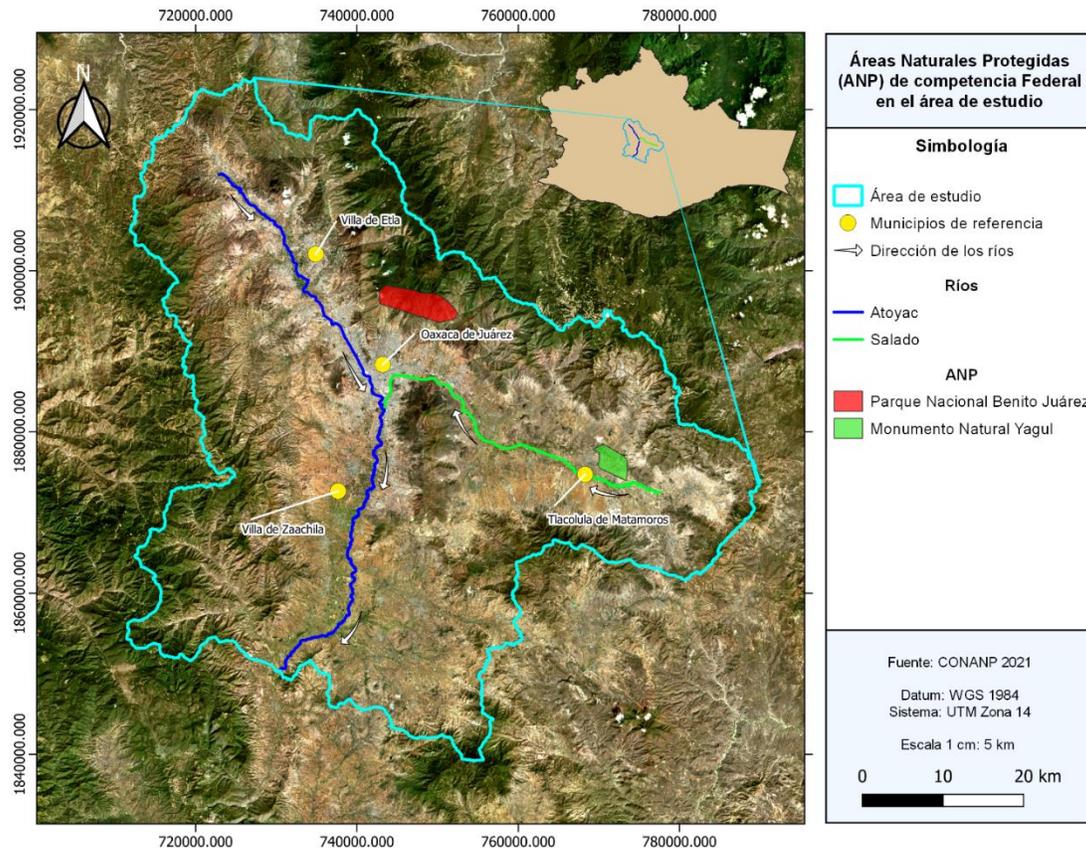
Las comunidades vegetales siguen un gradiente altitudinal, en la parte baja el bosque tropical caducifolio, seguido del bosque de Quercus, el bosque de Quercus-Pinus y el bosque de coníferas. Este patrón cambia principalmente por las actividades antropogénicas de aprovechamiento forestal y por la orientación de sus terrenos. Otros factores, como el sustrato geológico y tipo de suelo, parecen influir en el establecimiento de las comunidades vegetales en cierto grado.

La flora del Parque Nacional Benito Juárez se compone de 663 especies (SEMARNAT y CONANP, 2014), correspondientes a briófitas, pteridófitas, gimnospermas, dicotiledóneas y monocotiledóneas, distribuidas en 126 familias y 388 géneros.

De éstas, se encuentran nueve especies con alguna categoría de riesgo de acuerdo a la Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010; dos en peligro de extinción: laurel (*Litsea glaucescens*) y oyamel de Juárez, también conocida como pinabeto (*Abies hickelii*); cuatro amenazadas: azucena roja (*Zephyranthes konzatti*), magueyitos (*Tillandsia carloshankii*), tillandsia de Seler (*Tillandsia seleriana*) y odontoglossum atigrado o gallinita (*Rhynchosstele cervantesii*); y tres más en protección especial: catopsis de Bertero, también conocido en la región como gallito (*Catopsis berteroniana*), biznaga partida mocha o biznagueta de chilitos (*Coryphantha retusa var. melleospina*) y gladiola silvestre (*Tigridia orthantha*).

Los incendios forestales son el principal impacto a la cobertura vegetal, ocurren con cierta temporalidad y suelen ser ocasionados por el descuido de las personas. Otras perturbaciones menos evidentes y poco estudiadas incluyen la presencia de plagas forestales como el caso del escarabajo descortezador y los muérdagos, y enfermedades epidémicas como la quitridiomycosis, enfermedad causada por un hongo que está afectando a los anfibios (Figura 4.52).

Figura 4.52. ANP de competencia Federal en el área de estudio.



4.2.12.3.3. Zona de Reserva Ecológica y Área Natural Protegida

Decretada el 14 de noviembre del 1992 en el Periódico Oficial del Estado, se estableció como Zona de Reserva Ecológica y Área Natural Protegida al conjunto de los cerros: El Fortín, Cruz Blanca y El Crestón. Éstos forman parte de la Sierra de San Felipe del Agua y abarca una superficie total de 2 mil 353.93 ha. Su vegetación se caracteriza por la presencia de bosques de pino-encino, matorral xerófilo y selva baja caducifolia. Por otro lado, El Cerro del Fortín, además de formar parte de la Zona de reserva ecológica y Área Natural Protegida, cuenta con la categoría de Parque Estatal.

4.2.12.3.4. Parque Estatal Cerro del Fortín

El Parque Estatal Cerro del Fortín decretado el 2004 (DOF, 2010) se localiza en la provincia fisiográfica de la Sierra Madre Oriental, en la confluencia final de las subprovincias de Sierras Plegadas del Noroeste y Tierras Altas de Oaxaca, muy cerca de la confluencia entre los Ríos Atoyac y Salado, en los Valles de Etlá y Tlacolula. El Cerro del Fortín se eleva a una altura entre 1,600 y 1,800 m.s.n.m., con zonas de pendientes pronunciadas, arriba del 45% de inclinación, sobre todo en su lado poniente. El Instituto Estatal de Ecología de Oaxaca (2009) describe que colinda con el centro histórico de la Ciudad de Oaxaca al sureste y está rodeado por la Carretera Federal 190 en sus flancos poniente, sur y sureste.

La CONAGUA (1999), citado por IEEO (2009) menciona que el Cerro del Fortín presenta un clima semicálido-húmedo, con temperatura media anual entre 18 y 22 °C. Su precipitación pluvial anual es de 500 a 600 mm. En invierno y primavera hay un periodo de estiaje, la precipitación aumenta en verano y comienza a disminuir en otoño.

Este sistema de lomeríos y pie de monte ubicado en la provincia Sierra Madre y en los límites de las regiones Sierra Norte y Valles Centrales presenta un relieve montañoso. Sus rocas tienden a fragmentarse, presentan una permeabilidad baja con fallas y fracturas geológicas relacionadas con la actividad sísmica. Esta condición favorece el deslizamiento de rocas desprendidas o en precarias condiciones de equilibrio como lo describe el Servicio Geológico Mexicano (2006).

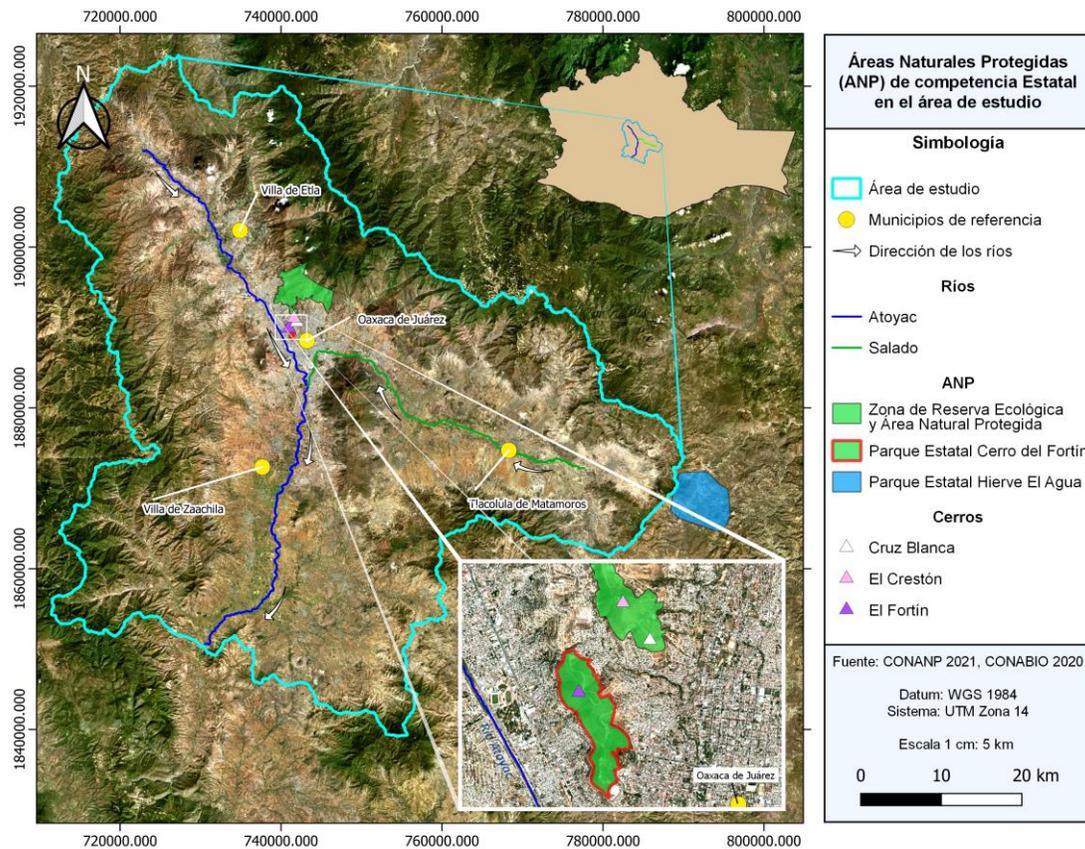
La IEEO (2009) describe que la zona está en constante modificación con un relieve variable por lo que presenta gran diversidad de suelos pedregosos y carentes de materia orgánica, cabe destacar que no existen levantamientos edafológicos actuales que proporcionen una caracterización más precisa del sitio. En época de lluvias, las escorrentías descienden por las laderas y sus aguas drenan al río Atoyac y a los causes del drenaje de la ciudad. Se menciona la existencia de un "ojo de agua", del cual se desconoce su contribución al sistema hidrológico subterráneo.

La vegetación original presumiblemente estaba compuesta de matorral espinoso y encinares, actualmente debido a la perturbación y a las diversas reforestaciones se constituye de manchones de matorral de encino, matorral espinoso, pastizal y comunidades de huaje, además se observan especies introducidas como jacarandas y eucaliptos. Entre las especies de importancia del sitio, se encuentra la *Zephyranthes konzattii*, herbácea aparentemente endémica reportada por el profesor Cassiano Konzatti quien realizó colectas botánicas en el lugar durante 1896 y 1933, no siendo encontrada desde entonces.

4.2.12.3.5. Parque Estatal Hierve el Agua

Decretado como Parque Estatal el día 6 de diciembre de 1997 es la ANP más grande de la entidad, cuenta con 4,125.10 hectáreas de selva Baja Caducifolia, uno de los ecosistemas con más alta diversidad y endemismo de especies de flora. Se encuentra en la región de los Valles Centrales en el Municipio de San Lorenzo Albarradas. Es importante mencionar que, a pesar del decreto existente, Hierve el Agua no cuenta con un plan de manejo que establezca la directriz a seguir a fin de preservar la biodiversidad de este sitio (Figura 4.53).

Figura 4.53. ANP de competencia estatal en el área de estudio.



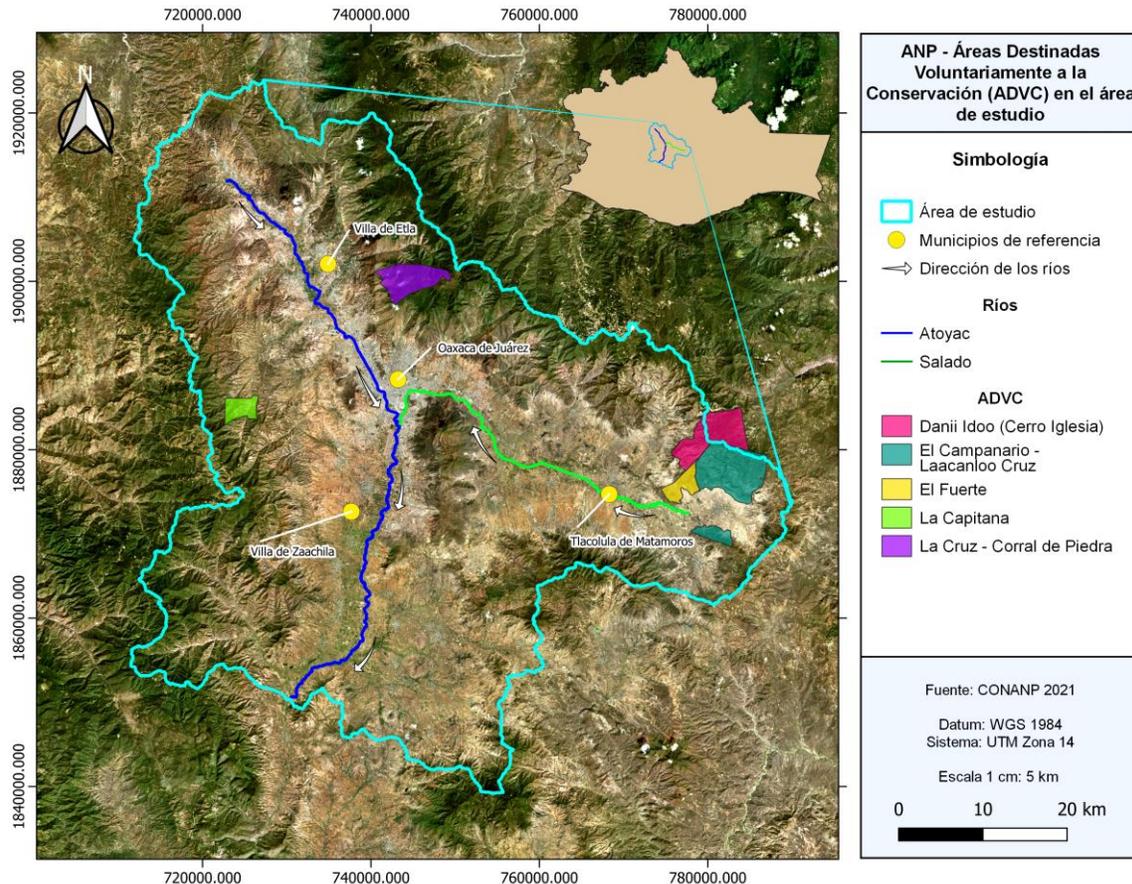
4.2.12.3.6. Áreas Destinadas Voluntariamente a la Conservación (ADVC)

La CONANP (2019) describe a las ADVC como áreas naturales protegidas con competencia federal, dedicadas a una función de interés público, y establecidas mediante un certificado emitido por la SEMARNAT por conducto de la CONANP. Responden a iniciativas de pueblos indígenas, organizaciones sociales, personas morales, públicas o privadas, de destinar sus predios a acciones de conservación y son administradas por sus legítimos propietarios, conforme a su propia Estrategia de Manejo (Figura 4.54).

- La Cruz Corral de Piedra. Ubicada en San Pablo Etla, certificada en el 2006. Predominan en la región el Bosque de Pino-Encino y Bosque Mesófilo de Montaña. Presenta especies de flora contempladas en la NOM-059-SEMARNAT-2010.
- La Capitana. Ubicada en San Andrés Ixtlahuaca, certificada en el 2010. Predominan en la región el Bosque de Pino-Encino, Bosque de Pino y Selva Baja Caducifolia. Cuenta con fauna contemplada en la NOM-059-SEMARNAT-2010.
- Danii Ido (Cerro Iglesia). Ubicada en Villa Díaz Ordaz, certificada en el 2013. Predominan en la región el Bosque de Pino, Bosque de Encino, Matorral Xerófilo y Selva Baja Caducifolia. Cuenta con flora y fauna contemplada en la NOM-059-SEMARNAT-2010.
- El Campanario-Laacanloo Cruz. Ubicada en San Pablo Villa de Mitla, certificada en el 2011. Predominan en la región el Bosque de Pino-Encino, Bosque de Encino, Selva Baja Caducifolia y Matorral Xerófilo. Cuenta con flora y fauna contemplada en la NOM-059-SEMARNAT-2010.

- El Fuerte. Ubicada en San Pablo Villa de Mitla, certificada en el 2011. Predominan en la región el Bosque de Pino-Encino, Bosque de Encino, Selva Baja Caducifolia y Matorral Xerófilo. Cuenta con flora y fauna contemplada en la NOM-059-SEMARNAT-2010.

Figura 4.54. ADVC en el área de estudio.



Si bien en la matriz de trabajo del GET no se tiene especificado un eje, líneas estratégicas o actividades vinculadas al manejo de ANP, ADVC, AICA o RTP, los ejes II. Manejo Integrado de Cuenca y el eje VI. Rehabilitación de cauces de ríos y riberas, comprenden acciones para proteger la vegetación y áreas que pudieran considerarse prioritarias por los servicios ecosistémicos que brindan en el área de estudio.

Durante los recorridos en campo se pudo observar que muchos tramos a lo largo de los afluentes del Atoyac y Salado se encuentran impactados por diferentes causas que podrían interferir con su conectividad ecológica, así como de los sitios aledaños. Ésta es clave en el contexto urbano en el que se encuentran los afluentes del Atoyac y Salado, donde la fragmentación es aguda y los espacios naturales se encuentran aislados, destruyendo el paisaje urbano, las poblaciones de especies de flora y fauna nativa y en consecuencia podrían perderse los bienes y servicios ambientales que benefician a la calidad de vida de la población.

4.2.13. Flora y fauna

Para conocer la composición y estado de la vegetación existente en los ríos Atoyac (efluente o cauce principal de la Subcuenca Río Atoyac-Oaxaca de Juárez) y Salado (afluente del río Atoyac), se realizaron recorridos a lo largo de los ríos para identificar la ubicación de los sitios en los cuales pudiera existir un flujo de agua para realizar la evaluación de flora y fauna, sobre todo fauna acuática, considerando los parámetros físicoquímicos de pH, KH (Dureza de carbonatos o temporal) y GH (Dureza total o general). Se ubicaron 10 puntos de evaluación en tramos de estos ríos para la realización del inventario florístico y faunístico durante los meses de febrero y marzo de 2021.

En el siguiente apartado se indica mediante cuadros los taxones biológicos de flora y fauna que fueron observados, dichos taxones corresponden a distintos niveles taxonómicos, según haya sido posible su identificación, por lo cual algunos están a nivel Orden, Familia, Género, Especie, subespecie, entre otros.

Se presenta la información por cada río en general se incluyen aquellos taxones que se consideran estrictamente acuáticos, palustres o que habitan en los márgenes de los citados cuerpos de agua, así como aquellos taxones de fauna que no habitan directamente en los ríos, pero se encontraron durante el momento de los recorridos (tal es el caso de algunas aves) y que encuentran en estas áreas alimento, o les sirve de protección y descanso.

Se resalta de los taxones identificados su estatus ecológico, si se consideran bioindicadores o cumplen una función relevante para los ríos.

El siguiente apartado no forma parte de los puntos requeridos en los términos de referencia, sin embargo, se desarrolló al tener en consideración la representatividad que la flora y fauna tienen dentro del área de estudio. Éste es un primer acercamiento a la descripción de la flora y fauna acuática, así como a la evaluación de la calidad del agua en términos biológicos, de realizarse de manera constante dichas evaluaciones se podrán ir reconociendo de manera integral los procesos que suceden en los afluentes. en el capítulo V. Diagnóstico se presenta la evaluación físicoquímica de calidad del agua de acuerdo a los lineamientos establecidos para ello por la conagua, en la región de valles centrales con el objetivo de implementar a futuro el desarrollo de un marco evaluaciones periódicas basadas en los estudios realizados por el ciidir, instituto politécnico nacional, sobre el monitoreo de macroinvertebrados acuáticos como indicadores de contaminación de la cuenca del río atoyac y su aplicación para el monitoreo comunitario. este ejercicio forma parte de un primer acercamiento para construir un proceso de observación y análisis de las características de la flora y fauna presentes en el área de estudio.

4.2.13.1. Justificación

Ya que no se han identificado estudios previos sobre el estado que guarda la flora y fauna asociada a los Ríos Salado y Atoyac a lo largo de su extensión, es de suma importancia realizar los listados florísticos y faunísticos correspondientes, sobre todo para comprender la importancia de algunas especies o taxones considerados bioindicadores, que sirvan para comprender el estado que guarda la calidad del agua de estos ríos, así como aquellas que ayuden a la recuperación de las condiciones propias de estos cuerpos de agua mediante proyectos de biorremediación y establecimiento de poblaciones de especies controladoras de otras que resultan perjudiciales a la población humana, una vez realizados los proyectos anteriores.

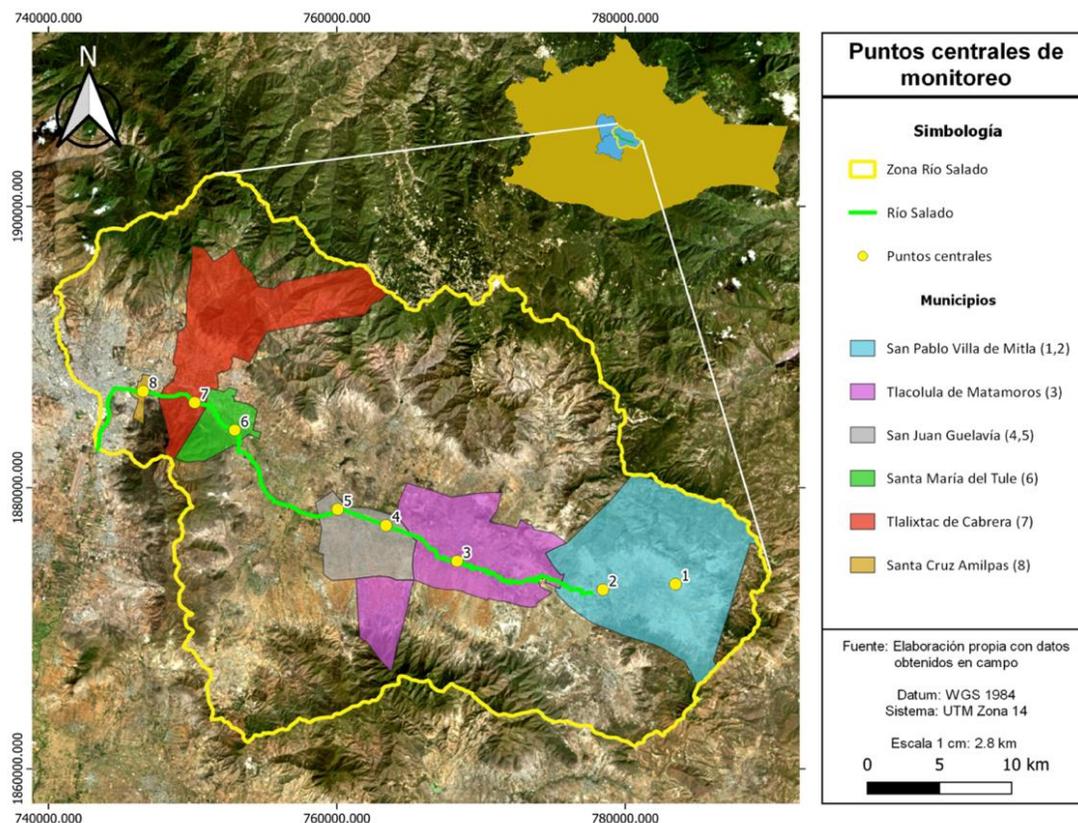
4.2.13.2. Objetivo general

Realizar los listados de flora y fauna de los ríos Atoyac y Salado, para fortalecer la caracterización ambiental de los mismos, determinando aquellos taxones que sean bioindicadores de distintos estados de calidad de agua o del entorno en general, para conocer el estado que guardan los ríos, así como aquellas que ayuden a la recuperación de los cuerpos de agua mediante fitorremediación, y aquellas que representen un problema a la salud pública.

4.2.13.3. Zonas de análisis

Se realizaron recorridos en las tres zonas de estudio. Para la Zona Río Salado, se evaluaron 8 puntos de monitoreo en 6 municipios: San Pablo Villa de Mitla (dos puntos evaluados), Tlacolula de Matamoros, San Juan Guelavía (dos puntos evaluados), Santa María del Tule, Tlaxiact de Cabrera y Santa Cruz Amilpas, como se muestra en la siguiente figura.

Figura 4.55. Zona de estudio correspondiente a 6 municipios por donde corre el río Salado, se indican los puntos centrales para los recorridos de observación de flora y fauna. Tomada de Google Earth, 2021.



En las Zonas Alto Atoyac y Bajo Atoyac, que corresponden al cauce principal de la subcuenca Río Atoyac-Oaxaca de Juárez, se evaluaron 9 sitios en 9 municipios los cuales fueron: San Pablo Huitzo (en un cauce tributario que se une al río Atoyac), Magdalena Apasco, San Lorenzo Cacaotepec, San Jacinto Amilpas, Oaxaca de Juárez, Santa Cruz Xoxocotlán, San Bartolo Coyotepec y Zimatlán de Álvarez, adicionalmente se monitoreó 1 punto en el municipio de Santa Cruz Mixtepec en un río tributario, para tener un comparativo del estado de los ríos tributarios en la Zona Bajo Atoyac.

Figura 4.56. Zona de estudio Alto Atoyac donde se evaluaron 5 municipios en la Región de Valles Centrales de Oaxaca por donde corre el río Atoyac.

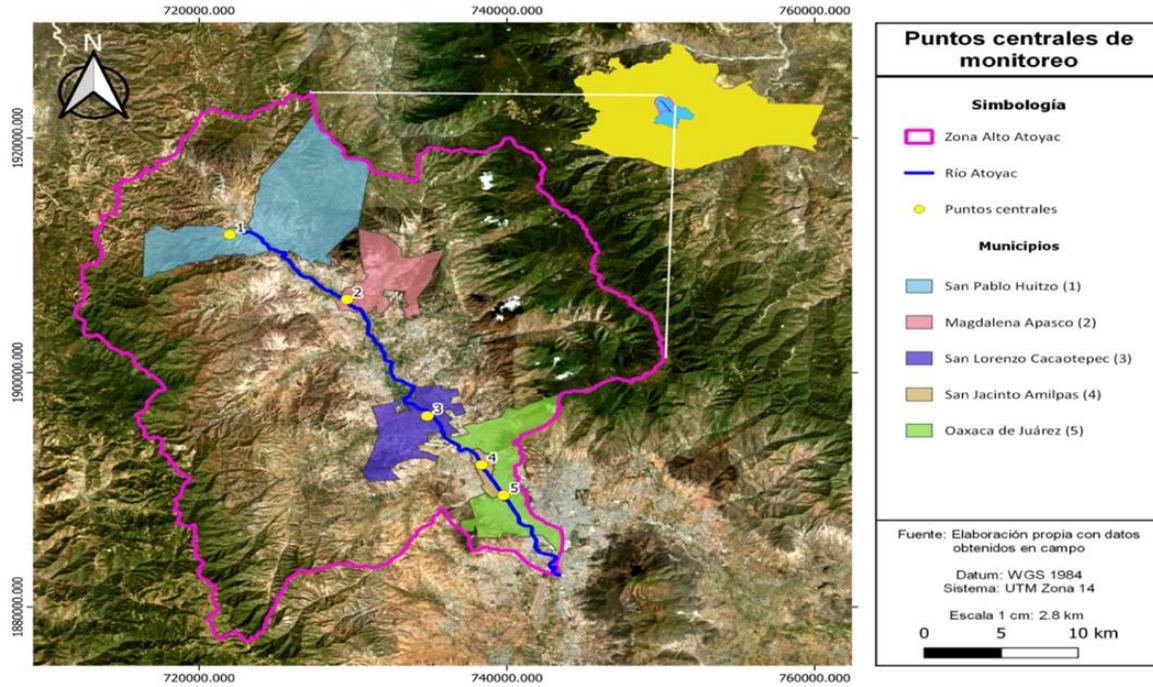
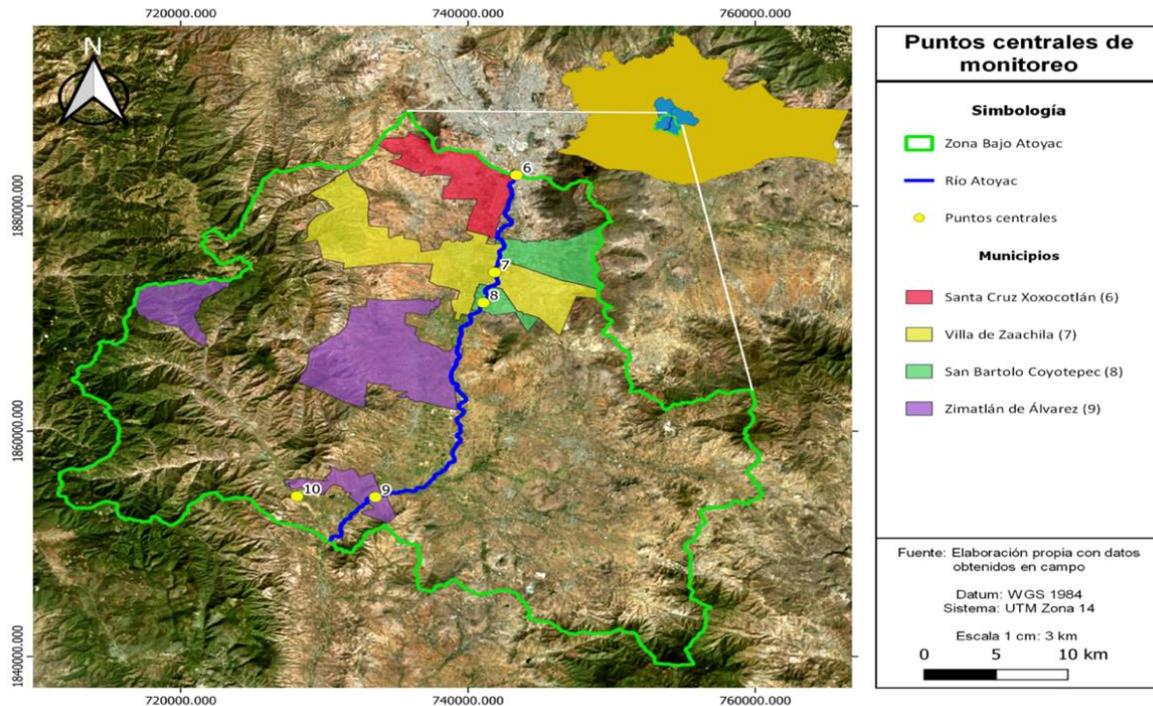


Figura 4.57. Zona de estudio Bajo Atoyac donde se evaluaron 4 municipios en la región de Valles Centrales de Oaxaca por donde corre el río Atoyac, y 1 sitio evaluado en río tributario en Santa Cruz Mixtepec (punto 10).



4.2.13.4. Metodología de levantamiento de información

Para la determinación de las metodologías a utilizar para la identificación de flora y fauna, se realizaron recorridos preliminares por los ríos Salado y Atoyac, durante el comienzo del mes de febrero del 2021, correspondiente a la temporada de secas.

Para el caso del río Salado se observaron 3 condiciones diferentes: dos corresponden a tramos con presencia de agua, aunque una de ellas con descarga de aguas residuales y otra sin descarga de aguas residuales; así como de una tercera correspondiente a tramos del río sin agua.

En lo referente al cauce principal de la subcuenca río Atoyac-Oaxaca de Juárez se encontraron 3 escenarios distintos: con agua sin descarga comprobable de residuales, con agua y presencia de residuales observables, y con agua sin presencia observable de residuales (aunque se sabe que si corren en ciertas temporadas del año o no fueron observables al momento del recorrido).

En base a lo anterior, se eligieron puntos representativos para la observación de flora y fauna asociadas a los ríos Atoyac y Salado, de acuerdo a cada uno de los escenarios identificados.

En el caso del río Salado se establecieron puntos de muestreo desde sus orígenes en San Pablo Villa de Mitla hasta Santa Cruz Amilpas; para el caso del Atoyac los muestreos comprendieron desde de San Pablo Huitzo (en un río tributario) hasta el municipio de Zimatlán de Álvarez y uno adicional correspondiente a un río tributario en Santa Cruz Mixtepec para tener una idea de la flora y fauna que se podría encontrar desde el origen o parte alta hasta su parte baja si no existiera descarga de aguas residuales.

Debido a la mayor extensión del río Atoyac este se ha dividido en dos zonas de estudio:

- **Alto Atoyac:** donde se incluyen los municipios de San Pablo Huitzo, Magdalena Apasco, San Lorenzo Cacaotepec, San Jacinto Amilpas y Oaxaca de Juárez.
- **Bajo Atoyac:** se incluyen Santa Cruz Xoxocotlán, San Bartolo Coyotepec, Zimatlán de Álvarez y el tributario de Santa Cruz Mixtepec.

Para el levantamiento de información se determinó utilizar como base el “Protocolo de muestreo de fauna ictiológica en Ríos” diseñado en España (Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente, 2015) con modificaciones; para ello se eligió un punto central a partir del cual se muestreó, con ayuda de redes de cuchara, 200 m río arriba a partir del punto central elegido y 200 m río abajo, permitiendo así la captura de fauna acuática, realizándose su liberación una vez reunida la evidencia para su identificación.

A su vez estas mismas distancias se tomaron como los transectos para la evaluación de vegetación acuática, la de ribera y de los márgenes; en el caso de los tramos del río en condiciones sin agua únicamente se identificó la flora que se encontró sobre el cauce del río seco, riberas y márgenes, y para el caso de la fauna terrestre o voladora se aplicó el “método de búsqueda intensiva” que suele emplearse en el caso de aves, registrando en este caso toda la fauna vista u oída (Ralph *et al.*, 1996).

Para poder realizar las identificaciones correspondientes de flora y fauna se utilizaron como base los libros: Plantas acuáticas mexicanas una contribución a la Flora de México (Lot *et al.*, 2013), Flora fanerogámica del Valle de México (Rzedowski y Rzedowski, 2001), Peces dulceacuícolas de México (Miller *et al.*, 2009), así como la guía de campo Birds of North America (Kaufman, 2005), la Guía de campo Aves de México Tomo 2 Monte Albán y Yagul (Grosselet y Ruiz, 2010), entre otras guías.

La ubicación de los puntos de muestreo y las condiciones en que se encontraban los tramos evaluados se indica en el siguiente Cuadro 4.33, para los tramos del río Salado, y Cuadro 4.34, para el río Atoyac.

Cuadro 4.33. Ubicación de los 8 puntos centrales para los recorridos de identificación de flora y fauna en el río Salado en 6 municipios partiendo del origen hacia la unión con el río Atoyac, se indican las coordenadas del punto central de cada sitio, la fecha en que se realizaron los recorridos especificando el tiempo destinado a cada uno de ellos. RAB= río abajo del punto central (transecto de 200 m), RA= río arriba (transecto de 200 m), CA= con agua, SAR= sin presencia de aguas residuales, AR= con presencia de aguas residuales, S= seco.

No	Municipio	Latitud (N)	Longitud (O)	Condición	Fecha	Hora inicio	Hora término
1	San Pablo Villa de Mitla	16.924649°	-96.338658°	RAB y RA: CA/SAR y S.	23/02/21	09:20	10:45
2	San Pablo Villa de Mitla	16.921692°	-96.385931°	RAB: CA/AR, RA: CA/SAR y S.	23/02/21	11:00	12:10
3	Tlacolula de Matamoros	16.941216°	-96.480551°	RAB y RA: CA/AR	23/02/21	12:30	14:03
4	San Juan Guelavía	16.964711°	-96.526452°	RAB y RA: S	23/02/21	14:17	15:25
5	San Juan Guelavía	16.975449°	-96.557793°	RAB y RA: S	23/02/21	15:40	16:30
6	Santa María del Tule	17.027111°	-96.624165°	RAB y RA: S	24/02/21	09:30	11:15
7	Tlaxiaco de Cabrera	17.045168°	-96.650048°	RAB Y RA: CA/AR	24/02/21	11:50	13:04
8	Santa Cruz Amilpas	17.052770°	-96.683469°	RAB Y RA: CA/AR	24/02/21	13:51	15:41

Cuadro 4.34. Ubicación de 10 puntos centrales para la identificación de flora y fauna en el río Atoyac, en 9 municipios, se incluyen 2 tributarios (T). Las abreviaturas son las mismas que el Cuadro anterior, en cuanto a SAR*: Sin aguas residuales observables, aunque se sabe que existen descargas de aguas residuales río arriba en el punto no se observó a simple vista presencia de las mismas.

No	Municipio	Latitud (N)	Longitud (O)	Condición	Fecha	Hora inicio	Hora término
1	San Pablo Huitzo (T)- Alto Atoyac	17.28030°	-96.911738°	RAB y RA: CA/SAR	25/02/21	09:40	10:40
2	Magdalena Apasco- Alto Atoyac	17.229529°	-96.840638°	RAB: CA/SAR*, RA: S	25/02/21	10:55	12:25
3	San Lorenzo Cacaotepec- Alto Atoyac	17.139249°	-96.792684°	RAB y RA: CA/SAR*	25/02/21	13:12	15:25
4	San Jacinto Amilpas- Alto Atoyac	17.101218°	-96.759991°	RAB y RA: CA/SAR*	26/02/21	09:30	11:35
5	Oaxaca de Juárez- Alto Atoyac	17.077710°	-96.746747°	RAB y RA: CA/AR	26/02/21	12:00	13:15
6	Santa Cruz Xoxocotlán- Bajo Atoyac	17.015967°	-96.713723°	RAB y RA: CA/AR	26/02/21	13:48	14:50
7	San Bartolo Coyotepec- Bajo Atoyac	16.93805°	-96.729054°	RAB y RA: CA/AR	01/03/21	09:28	10:20
8	San Bartolo Coyotepec- Bajo Atoyac	16.913828°	-96.736730°	RAB y RA: CA/AR	01/03/21	10:35	11:32
9	Zimatlán de Álvarez- Bajo Atoyac	16.758686°	-96.80905°	RAB y RA: CA/SAR*	01/03/21	12:25	13:45
10	Santa Cruz Mixtepec (T)- Bajo Atoyac	16.759874°	-96.86020°	RAB y RA: CA/SAR	01/03/21	14:10	16:05

Para los sitios donde había presencia de agua, indistintamente si presentaba aguas residuales o no, se realizó *in situ* la determinación de pH, KH, y GH tanto para el río Salado como el Atoyac, para ello se empleó un Kit de parámetros fisicoquímicos por método colorimétrico de la marca rusa NILPA ©.

4.2.13.5. Resultados

A continuación, se muestran los resultados obtenidos en cuanto a parámetros fisicoquímicos del agua determinados en campo, así como los listados florísticos y faunísticos para los ríos Atoyac y Salado.

4.2.13.5.1. Parámetros fisicoquímicos del agua

Los resultados obtenidos en campo de los valores de pH, KH y GH se indican en los Cuadros 4.35 y 4.36, correspondientes a los ríos Salado y Atoyac. Los valores de KH y GH están expresados en grados alemanes, ya que así los determina el Kit utilizado, por lo que se realizó la conversión del GH a mg/l o ppm de CaCO₃ considerando que 1 dGH=17.8 mg/l de CaCO₃ (Henry y Heinke, 1996).

Es importante tener en cuenta que GH corresponde a la “Dureza total o general” que indican la concentración de iones metálicos divalentes, como el calcio (Ca²⁺), el magnesio (Mg²⁺) por volumen de agua ya se procedentes de carbonatos, bicarbonatos, cloruros, sulfatos y ocasionalmente de nitratos de calcio y magnesio, mientras que el KH corresponde a la “Dureza de carbonatos o temporal” que indica la concentración de carbonatos, como el carbonato de calcio (CaCO₃) y el carbonato de magnesio (MgCO₃), por volumen de agua (Henry y Heinke, 1996).

La interpretación de la dureza se tomó de acuerdo a la Organización Mundial de la Salud (OMS) y del pH la escala propuesta por Glasstone y Lewis (1969).

Cuadro 4.35. Parámetros fisicoquímicos determinados en los puntos con agua del río Salado.

Punto	Municipio	Toma de muestra	pH	KH (dKH)	GH (dGH)	GH (mg/l o ppm de CaCO ₃)	Interpretación
1	San Pablo Villa de Mitla	Punto central	8	7	8	142.4	pH ligeramente alcalino, agua dura.
2	San Pablo Villa de Mitla	Punto central	8,5	12	10	178	pH ligeramente alcalino, agua dura.
3	Tlaxiaco de Matamoros	Punto central	9	17	28	498.4	pH ligeramente alcalino, agua muy dura.
4	San Juan Guelavía	Sin agua	-	-	-	-	-
5	San Juan Guelavía	Sin agua	-	-	-	-	-
6	Santa María del Tule	Sin agua	-	-	-	-	-
7	Tlaxiaco de Cabrera	Punto central	8,5	27	36	640.8	pH ligeramente alcalino, agua muy dura.
8	Santa Cruz Amilpas	Punto central	8,5	28	38	676.4	pH ligeramente alcalino, agua muy dura.

Como se puede apreciar en el cuadro anterior, en los orígenes del río Salado el pH obtenido es ligeramente alcalino, lo que a su vez se corresponde con el KH y GH, que de acuerdo a los valores obtenidos se identifica el agua para este punto como moderadamente dura de acuerdo a la OMS.

Para los demás puntos el pH se mantiene como ligeramente alcalino aunque con incrementos entre 0,5 a 1 unidad, lo cual tiene una correspondencia directa con el KH ya que este realiza un efecto tampón o buffer al pH, por lo que a mayor valor de KH mayor el pH, por lo tanto, la dureza del agua también se

elevó tanto parcial como total, lo cual se puede relacionar con la descarga de aguas residuales, ya que desde el punto donde estos valores comienzan a incrementarse es donde también comienza la descarga de aguas residuales de manera constante, lo cual también incide en la diversidad de flora y fauna acuática.

Aunque no se midió durante los recorridos el Nitrógeno (N) y Fosforo (P), se sabe que aunque se encuentren a bajas concentraciones en las aguas naturales, su presencia es relevante puesto que constituyen nutrientes esenciales para los organismos vivos y que la presencia de ambos elementos en excesiva cantidad en el agua provoca un crecimiento rápido de algas y otras plantas verdes, que recubren la superficie de las aguas e impiden el paso de luz solar a las capas inferiores, además, la descomposición de la biomasa generada consume oxígeno, empobreciendo el medio acuático en este elemento, generando el fenómeno denominado eutrofización y posteriormente la pérdida de biodiversidad acuática (Doménech, 2000; Jiménez *et al.*, 2010).

Cuadro 4.36. Parámetros fisicoquímicos determinados en los puntos del Río Atoyac.
*Se mezclaba con aguas de un río tributario.

Punto	Municipio	Toma de muestra	pH	KH (dKH)	GH (dGH)	GH (mg/l o ppm de CaCO ₃)	Interpretación	
1	San Pablo Huitzo	Punto central	7,5	11	12	213.6	pH ligeramente alcalino, agua muy dura	
		Río abajo	7,5	8	13	231.4	pH ligeramente alcalino, agua muy dura	
2	Magdalena Apasco	Río abajo	8,5	15	23	409.4	pH ligeramente alcalino, agua muy dura	
3	San Cacaotepec	Lorenzo Río arriba	7,5	15	30	534	pH ligeramente alcalino, agua muy dura	
		Punto central*	7,5	13	26	462.8	pH ligeramente alcalino, agua muy dura	
		Río abajo	7,5	17	30	534	pH ligeramente alcalino, agua muy dura	
4	San Jacinto Amilpas	Punto río arriba	8	13	33	587.4	pH ligeramente alcalino, agua muy dura	
		Punto central	8	15	30	534	pH ligeramente alcalino, agua muy dura	
		Punto río abajo	8,5	15	33	587.4	pH ligeramente alcalino, agua muy dura	
5	Oaxaca de Juárez	Punto central	8,5	25	35	623	pH ligeramente alcalino, agua muy dura.	
6	Santa Xoxocotlán	Cruz Punto central	8,5	41	-	-	pH ligeramente alcalino, se terminó el reactivo GH, aunque el KH casi se duplicó.	
7	San Coyotepec	Bartolo	Punto central	8,5	24	-	-	pH ligeramente alcalino, se terminó el reactivo GH, el KH se redujo pero es superior a los puntos anteriores a Oaxaca de Juárez.
Punto central			8,5	30	-	-	pH ligeramente alcalino, se terminó el reactivo GH, el KH es superior a los puntos anteriores a Oaxaca de Juárez.	
9	Zimatlán de Álvarez	Punto central	8,5	34	-	-	pH ligeramente alcalino, se terminó el reactivo GH, el KH es superior a los puntos anteriores a Oaxaca de Juárez.	
10	Santa Cruz Mixtepec	Punto central	8,0	-	-	-	pH ligeramente alcalino, se terminó el reactivo GH y KH	

En base a las determinaciones en campo se encontró que en la parte alta del río Atoyac, en concreto en uno de los ríos tributarios que está cercano a los orígenes de este cuerpo de agua (punto 1), tanto en el punto central como en la parte baja del río, el pH es ligeramente alcalino, pero más próximo a neutro además de tener una diferencia de 0,5 unidades respecto al punto de origen del río Salado; si bien presenta dureza total de 12 y 13 en grados alemanes, el agua es considerada como muy dura; algo que se observó de diferencia es que hay mayor presencia de terrenos de cultivo trabajados y asentamientos humanos cerca, por lo tanto la evaluación del agua en este punto es ligeramente superior respecto al primer punto del río Salado, donde había pocos asentamientos humanos cercanos y menor cantidad de terrenos agrícolas trabajados.

Continuando con el recorrido se encontró que en el punto 2 (Magdalena Apasco) a donde el río ya cruza con aguas residuales el pH se elevó 1 unidad, al igual que la dureza, sin embargo, en el apartado de flora y fauna se indica la presencia de algunas especies acuáticas.

Para el punto 3 correspondiente a San Lorenzo Cacaotepec, se tomaron 3 muestras en donde se observa se redujo el valor de pH, aunque la dureza es alta, en este punto pudo observarse gran actividad de extracción de materiales pétreos que se realiza en la zona, además de la descarga de un río tributario que no tiene indicios de descarga de aguas residuales aparente, así mismo en el apartado de flora y fauna se encontraron diversas especies acuáticas.

En el punto 4 (San Jacinto Amilpas) se incrementa nuevamente el valor de pH y el de las durezas poco respecto al punto anterior, observándose vida acuática como se indica en el apartado correspondiente. Sin embargo, a partir del punto 5 hasta el 9, la dureza parcial se incrementa a más del doble lo que debe tener una relación directa con la cantidad de aguas residuales observadas en estos sitios, ya que en el punto 6 se une el río Salado al Atoyac, afectando inclusive a la vida acuática observable que desaparece.

Finalmente, en un río tributario en la parte baja del río Atoyac, se encontró que el pH disminuye ligeramente, y en él se identificaron diversas especies de flora y fauna.

4.2.13.5.2. Listados florísticos y faunísticos.

A continuación, se presentan los resultados obtenidos de la identificación realizada de flora y fauna. Con fines prácticos que ayuden a comprender mejor la información se presenta primero lo correspondiente al río Salado y posteriormente al río Atoyac, recordando su división en Zona Alto Atoyac (de San Pablo Huitzo a Oaxaca de Juárez) y Zona Bajo Atoyac (de Santa Cruz Xoxocotlán a Santa Cruz Mixtepec), y Río Salado.

En los siguientes cuadros se indican las observaciones registradas respecto a flora, para ello se presentan las siguientes consideraciones:

- Los niveles taxonómicos o taxones identificados.
- Nombre común, de acuerdo a las fichas disponibles en el sitio web de la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO) o del sitio web Naturalista (<http://www.naturalista.mx>) avalado por la misma CONABIO, en el caso de algunas especies que no se encontró nombre común en estas dos opciones, se tomó el de alguna otra fuente o se le asignó el más conocido localmente entre comillas.
- Tipo de organismo según su hábitat.
- Estatus ecológico a nivel estatal y/o nacional.
- Bioindicador, si el taxón lo es de algún factor ambiental en base a la literatura consultada por cada una de ellas (especialmente si lo es de contaminación o alteraciones).
- Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010, Protección ambiental-Especies nativas de México de flora y fauna silvestres- Categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio-Lista de especies en riesgo, para corroborar si se encuentra en alguna categoría de riesgo o no.
- Puntos de recorrido donde se observaron.

Para el caso de fauna se indican:

- Niveles taxonómicos identificados.
- Nombre común
- Tipo de "animal", tomando como referencia un nivel taxonómico superior que sea fácilmente identificable por la mayoría de personas, escrito de manera coloquial.
- Tipo de organismo por el hábitat donde se desarrolla, por ejemplo, aeroterrestre para los que son voladores, acuático (aun cuando pasen una etapa de su vida en el agua), semiacuático para los que viven entre el agua y la zona terrestre, pero sin alejarse del agua, así como los arborícolas que pasan mayor tiempo sobre la vegetación).
- Estatus ecológico.
- Clasificación de acuerdo a la NOM-059-SEMARNAT-2010.
- Sitios o puntos de recorrido donde fue observado.

4.2.13.5.2.1. Río Salado

En el siguiente cuadro se indican los taxones observados e identificados para la Zona Río Salado, siguiendo lo explicado anteriormente.

Cuadro 4.37. Flora identificada para el río Salado. En el caso de sitios, 1= Primer punto en San Pablo Villa de Mitla, 2= Segundo punto en San Pablo Villa de Mitla, 3= Tlacolula de Matamoros, 4=Primer punto en San Juan Guelavía, 5= Segundo punto en San Juan Guelavía, 6=Santa María del Tule, 7= Tlaxiact de Cabrera y 8= Santa Cruz Amilpas. Tipo de hábitat: A= Acuático, AF= Acuático Flotante, E= Epífita, P= Palustre, T= Terrestre. Estatus: EM= Endémico de México, C= Cosmopolita, I= Introducido, N= Nativo, SD=Sin poder definir.

No.	Taxón	Nombre común	Hábitat	Estatus	Biondicador	NOM-059-SEMARNAT-2010	Sitios
1	<i>Acmella repens</i>	Tripa de pollo	T	N	-	No	3
2	<i>Agave karwinskii</i>	Madre Cuish	T	EM	-	No	1
3	<i>Ageratina adenophora</i>	Flor de espuma	T	EM	-	No	3
4	<i>Ageratum conyzoides</i>	Santa Lucía	T	I	Sitio perturbado (Petetín, 1984)	No	7,8
5	<i>Aldama dentata</i>	Achual	T	N	Asociada a perturbaciones por cultivos o caminos (Rzedowski y Rzedowski, 2004)	No	6
6	<i>Aloe vera</i>	Sábila	T	I	-	No	2,3
7	<i>Anisacanthus quadrifidus</i>	Mohuitl	T	N	-	No	2
8	<i>Argemone mexicana</i>	Amapolilla	T	N	-	No	8
9	<i>Argemone ochroleuca</i>	Cardo Santo	T	N	Asociada a perturbaciones por cultivos (Espinosa y Sarukhán, 1997)	No	1,5,6
10	<i>Artemisia dracuncululus</i>	Estragón	T	I	-	No	7
11	<i>Arundo donax</i>	Carrizo asiático gigante	T	I	Asociado a zonas con un alto nivel de nitrógeno (CONABIO, 2009)	No	2,3,4,5,6,7,8
12	<i>Asclepias curassavica</i>	Algodoncillo tropical	T	N	-	No	3,8
13	<i>Baccharis conferta</i>	Escoba	T	N	-	No	3
14	<i>Baccharis salicifolia</i>	"Chamizo"	T	N	-	No	1,2,3,4,5,6,7,8
15	<i>Bacopa monnieri</i>	Verdolaga de puerco	T/A/P	N	-	No	2,3,4
16	<i>Beta vulgaris</i>	Acelga silvestre	T	I	Planta ruderal en suelos salinos (Rzedowski y Rzedowski, 2001)	No	6
17	<i>Bidens bipinnata</i>	-	T	I	-	No	3
18	<i>Buddleja sessiliflora</i>	Hierba de Tepozán	T	N	-	No	2,5,7
19	<i>Calibrachoa parviflora</i>	Petunia silvestre	T	N	Suelos húmedos y/o salinos (Villaseñor y Espinosa, 1998).	No	4,6
20	<i>Canna × generalis</i>	Platanillo	T	I	-	No	3
21	<i>Capsicum annum</i>	Chile	T	N	-	No	7
22	<i>Celtis pallida</i>	Acebuché	T	N	-	No	5
23	<i>Cenchrus ciliaris</i>	Zacate africano buffel	T	I	Tolerancia a la salinidad media (CONABIO, 2012a)	No	4
24	<i>Cestrum nocturnum</i>	Dama de noche	T	I	-	No	7
25	<i>Chenopodium murale</i>	Hediondilla	T	I	Espacios perturbados (Giusti, 1987)	No	6

No.	Taxón	Nombre común	Hábitat	Estatus	Biondicador	NOM-059-SEMARNAT-2010	Sitios
26	<i>Chromolaena odorata</i>	Crucita	T	N	-	No	7
27	<i>Commelina diffusa</i>	Hierba del pollo	T/P	N	-	No	3
28	<i>Cortaderia selloana</i>	Pasto pampa	T	I	-	No	4
29	<i>Cyclosporum leptophyllum</i>	Apio silvestre	T	N	-	No	3
30	<i>Datura stramonium</i>	Toloache	T	N	-	No	1
31	<i>Dodonaea viscosa</i>	Jarilla	T	N	-	No	1,2
32	<i>Eclipta prostrata</i>	Zarzapilla	T/ P	N	-	No	3
33	<i>Eleocharis acicularis</i>	"Pasto ribereño"	T/	N	-	No	3
34	<i>Eleocharis palustris</i>	Junco Palustre	T/ P	N	-	No	3
35	<i>Eleusine indica</i>	Escobilla de la India	T	I	Ligada a cultivos o asentamientos humanos (CONABIO, 2012d)	No	4,6
36	<i>Erigeron canadensis</i>	Hierba carnicera	T	I	-	No	7
37	<i>Fraxinus uhdei</i>	Fresno	T	N	-	No	7
38	Género <i>Casuarina</i>	Casuarinas	T	I	-	No	3
39	Género <i>Cirsium</i>	Cardo	T	SD	-	No	8
40	Género <i>Cyperus</i>	Cyperus	T/ P	SD	-	No	1
41	Género <i>Eucalyptus</i>	Eucalipto	T	I	-	No	3
42	Género <i>Ipomoea</i>	"Cazahuate"	T	SD	-	-	8
43	Género <i>Juncus</i>	Junco	A/P	N	-	No	1
44	Género <i>Persicaria</i>	Chilillos	T	C	-	No	3
45	Género <i>Rumex</i>	-	T/P	I	-	No	3
46	Género <i>Scoparia</i>	-	T	N	-	No	1
47	Género <i>Sonchus</i>	Cerrajas y Achicorias	T	I	-	No	8
48	Género <i>Trixis</i>	Cosmopolita	T	SD	-	No	3
49	Género <i>Verbena</i>	Verbana	Terrestre	SD	-	No	3
50	Género <i>Yucca</i>	Yuca	T	N	-	No	1
51	<i>Gliricidia sepium</i>	Cacahuananche	T	N	Frecuente en suelos ácidos y zonas perturbadas (Fonte <i>et. al.</i> , 2013)	No	8
52	<i>Hydrocotyle umbellata</i>	Ombliigo de Venus	A/P	N	-	No	3
53	<i>Ipomoea corymbosa</i>	Coaxoxouque	T	N	-	No	7
54	<i>Ipomoea pauciflora</i>	Cazahuate	T	N	-	No	2
55	<i>Jacaranda mimosifolia</i>	Jacaranda	T	I	Resiste bien la contaminación urbana, pero no la industrial (Prado, 1998)	No	2,3,6,7
56	<i>Lactuca serriola</i>	Escariola Mediterránea	T	I	-	No	6
57	<i>Leonotis nepetifolia</i>	Bola Africana del Rey	T	I	-	No	3,6

No.	Taxón	Nombre común	Hábitat	Estatus	Biondicador	NOM-059-SEMARNAT-2010	Sitios
58	<i>Lepidium virginicum</i>	Lentejilla de campo	T	N	-	No	8
59	<i>Leucaena leucocephala</i>	Huaje/ Guaje	T	N	No tolera suelos ácidos y demasiado compactos, tolera algo de salinidad (Parrotta, 1992).	No	6
60	<i>Ludwigia peploides</i>	Duraznillo de agua	AF	N	-	No	1,6
61	<i>Medicago sativa</i>	Alfalfa Berdiana	T	I	-	No	6,7
62	<i>Melinis repens</i>	Pasto rosa africano	T	I	Asociado a alteraciones por cultivos (CONABIO, 2012e)	No	4
63	<i>Mimosa aculeaticarpa</i>	Espino	T	N	-	No	1
64	<i>Nasturtium officinale</i>	Berro blanco euroasiático	A/P	I	-	No	3
65	<i>Nicotiana glauca</i>	Tabaquillo sudamericano	T	I	Suelos arenosos o rocosos, así como perturbados (de Viana & Abarramcín-Franco, 2008)	No	1,2,4,5,7,8
66	<i>Oenothera albicaulis</i>	Onagra de pradera	T	N	-	No	5
67	<i>Oenothera rosea</i>	Hierba del golpe	T	N	-	No	1
68	<i>Opuntia pubescens</i>	Tetencholete	T	N	-	No	1,2
69	<i>Opuntia streptacantha</i>	Nopal cardón	T	EM	-	No	1
70	<i>Opuntia tomentosa</i>	Nopal	T	N	-	No	1
71	<i>Persicaria hydropiperoides</i>	Camarón	T/P	N	-	No	1,2
72	<i>Persicaria lapathifolia</i>	Chilillo blanco	T	I	Tolerante a contaminación orgánica (Lansdown, 2013).	No	6,7
73	<i>Phalaris arundinacea</i>	Alpiste cinta	T	I	-	No	7
74	<i>Phyla nodiflora</i>	Bella Alfombra	T	N	Asociada a terrenos salobres y pastizales halófilos (Rzedowski y Rzedowski, 2001)	No	6
75	<i>Phytolacca icosandra</i>	Mazorquilla	T	N	Áreas perturbadas por el hombre (Rzedowski y Rzedowski, 2001)	No	7
76	<i>Phytolacca octandra</i>	Mazorquilla	T	C	Áreas perturbadas por el hombre (Espinosa <i>et. al.</i> , 2008)	No	1
77	<i>Pithecellobium dulce</i>	Guamúchil	T	N	-	No	3,7
78	<i>Plantago major</i>	Cancerina	T	I	-	No	2,3,4,5,7
79	<i>Pluchea carolinensis</i>	Canela	T	N	-	No	1,2,3
80	<i>Prosopis laevigata</i>	Mezquite blanco	T	N	Suelos profundos aptos para agricultura (PRONARE, 1999)	No	1,4,5
81	<i>Pseudognaphalium luteoalbum</i>	Gordolobo algodonoso	T	I	-	No	1
82	<i>Ricinus communis</i>	Higuerilla del Mediterráneo	T	I	-	No	2,3,5,6,7
83	<i>Ruellia blechum</i>	Camarón	T	N	Lugares perturbados (Rzedowski y Rzedowski, 2001)	No	7
84	<i>Rumex crispus</i>	Lengua de Vaca euroasiática	T	I	-	No	1,3
85	<i>Salix humboldtiana</i>	Sauce colorado	T	N	Presencia de agua o elevada humedad en el suelo (Batis <i>et. al.</i> 1999).	No	1,2,3,4,5,7,8
86	<i>Salvia elegans</i>	Hierba del burro	T	N	Lugares perturbados (Rzedowski y Rzedowski, 2001)	No	7

No.	Taxón	Nombre común	Hábitat	Estatus	Biondicador	NOM-059-SEMARNAT-2010	Sitios
87	<i>Salvia mexicana</i>	Tlacote	T	EM	Lugares perturbados (Rzedowski y Rzedowski, 2001)	No	7
88	<i>Sanvitalia procumbens</i>	Ojo de gallo	T	N	-	No	7
89	<i>Sapindus drummondii</i>	Jaboncillo	T	N	-	No	8
90	<i>Sapindus saponaria</i>	Chambimbe	T	N	-	No	7
91	<i>Schinus molle</i>	Pirúl	T	I	-	No	3
92	<i>Senna pallida</i>	Abejón	T	N	-	No	1
93	<i>Solanum erianthum</i>	Salvadora	T	N	Asociada a áreas perturbadas (Nee, 1993)	No	7
94	<i>Solanum mauritianum</i>	Tabaquillo	T	I	Asociada a perturbaciones por cultivos (CONABIO, 2009)	No	1,2
95	<i>Sonchus asper</i>	Cerraja	T	I	-	No	3
96	<i>Sonchus oleraceus</i>	Achicoria Europea	T	I	-	No	1,3
97	<i>Stachytarpheta jamaicensis</i>	Hoja de corrimiento	T	N	-	No	3
98	<i>Struthanthus interruptus</i>	Muérdago	E	N	-	No	8
99	Subfamilia	Margaritas, Manzanillas, Girasoles Y Parientes	T	SD	-	No	6
	Asteroideae						
100	<i>Taraxacum officinale</i>	Diente de León	T	I	-	No	6
101	<i>Tithonia tubaeformis</i>	Gigantón	T	N	-	No	3
102	Tribu	Pasto	T	I	-	No	5
	Cynodonteae						
103	Tribu Heliantheae	Girasoles y parientes	T	N	-	No	7
104	<i>Tridax procumbens</i>	Hierba del toro	T	N	-	No	5
105	<i>Typha domingensis</i>	Tule	T/P	N	Tolerante a contaminación en el agua por carga orgánica y a algunos metales pesados (Aguilar, <i>et al.</i> , 2009; Lominchar-Izquierdo, 2017)	No	3
106	<i>Vachellia farnesiana</i>	Huizache	T	N	Tolerante a suelos salinos y sódicos (Clarke <i>et al.</i> , 1989)	No	1,5
107	<i>Vachellia pennatula</i>	Algarrobo	T	N	-	No	5
108	<i>Wigandia urens</i>	Chicastle manso	T	N	-	No	1,7
109	<i>Xanthium strumarium</i>	Abrojo	T	N	Zonas degradadas pero húmedas (Capdevila-Argüelles <i>et al.</i> , 2011)	No	3,6,8
110	<i>Xanthosoma robustum</i>	Hoja elegante	T	N	-	No	7

Para obtener la información del cuadro anterior se realizó el registro de 175 observaciones de flora diferentes en total por los 8 puntos del río Salado que fueron recorridos, sin embargo, algunos se repitieron como se aprecia en el cuadro en la sección de sitios, por lo que únicamente se muestra el concentrado de todos aquellos taxones distintos, de los cuales se logró la identificación de 2 a nivel Tribu, 13 a nivel de Género y 95 a nivel especie, que juntos dan los 110 registros mostrados.

En la Figura 4.58 se desglosa lo referente al tipo de organismo según su hábitat, para ello se agruparon de la siguiente manera:

- Terrestre: los que viven en zonas de tierra libres de agua.
- Terrestre/Acuática: corresponde a los que se desarrollan tanto en tierra como en ambientes acuáticos, ya sea de forma palustre (raíces y base de los tallos en el agua y el resto fuera) y hasta sumergidas totalmente en el agua.
- Acuática: reúne a los taxones que son acuáticos obligados (palustres pero que no se encuentran de manera natural en áreas terrestres salvo que el cauce se seque, flotantes o que crecen flotando sobre el espejo de agua, o bien completamente sumergidas).
- Epífita: este tipo de organismos se llegan a considerar dentro del hábitat terrestre, pero se hace la separación para fines prácticos ya que este tipo de plantas crecen sobre otro taxón de flora y no directamente están en contacto con el suelo.

Figura 4.58. Taxones identificados por hábitat para la zona del río Salado.



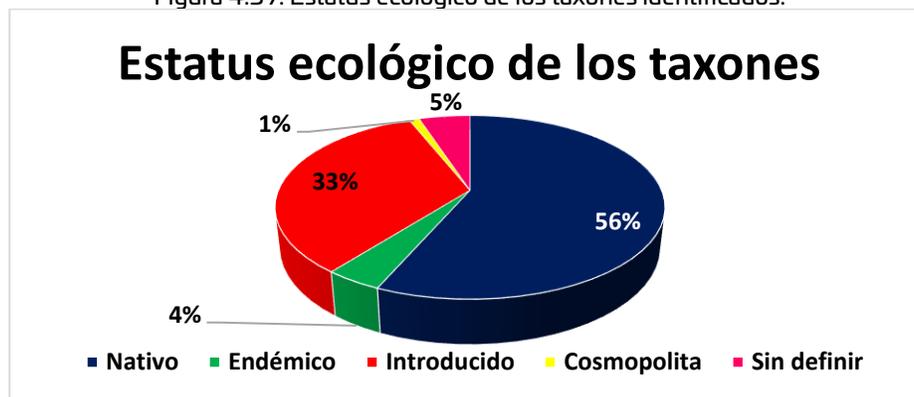
Como se puede apreciar en la figura anterior, la mayoría de taxones corresponden a un hábitat totalmente terrestre (87%), ya que fueron observados en las márgenes del río, algunas en el cauce, algunas en tramos del río totalmente seco, seguidas de aquellos taxones que pueden vivir tanto de forma terrestre como palustre (8%), inclusive se observó que la especie *Bacopa monnieri* puede vivir como planta terrestre pero cercana al agua, como palustre y acuática sumergida; en menor cantidad se observaron especies acuáticas (4%) y finalmente solo se observó una especie considerada epífita (1%), y se trata de *Struthanthus interruptus* (muérdago) parasitando ejemplares de *Salix humboldtiana* en el

tramo correspondiente a Santa Cruz Amilpas, por lo que es necesario prestar atención a esta problemática de saneamiento del arbolado.

Para comprender lo referente al estatus ecológico de los taxones, en la Figura 4.59 se plasma lo obtenido al respecto, considerando la siguiente clasificación:

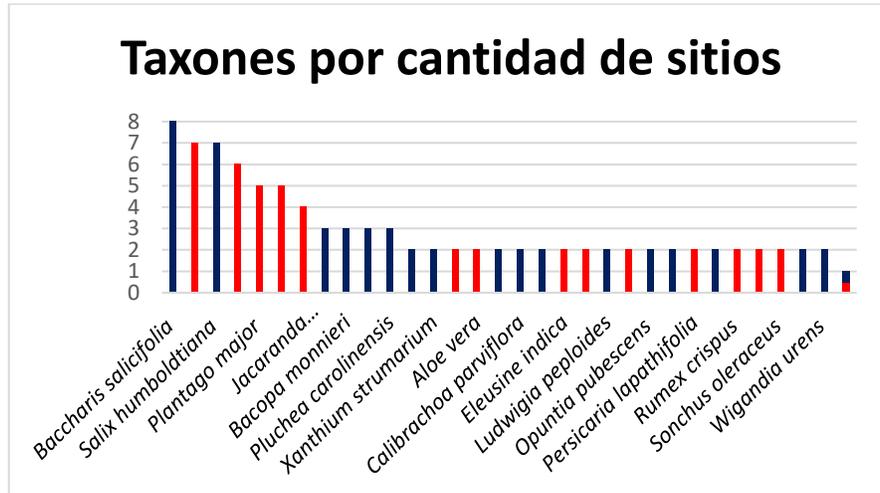
- **Cosmopolita:** corresponde a los taxones biológicos que tienen una distribución natural muy amplia, es decir, que pueden encontrarse de manera natural en todos los continentes con excepción del Ártico y la Antártida, es lo opuesto a endémica.
- **Endémica:** se refiere a las especies que tienen distribución natural e histórica en México únicamente, es decir, que de manera natural no pueden ser encontradas en otros países.
- **Introducida:** hace alusión a aquellos taxones que tienen su origen y distribución histórica en otros países o continentes, y que se encuentran en México por introducción accidental o planificada, ya sean solo organismos exóticos por no ser propios del país y que no presentan poblaciones establecidas, es decir, son organismos aislados que no se dispersan por si solos (dependen del hombre principalmente) y no representan competencia a las especies nativas, o por el otro lado pueden ser organismos exóticos invasores, los cuales ya se han establecido en territorio nacional, se dispersan de manera natural por medio de diversos mecanismos y compiten con las especies nativas y/o endémicas.
- **Nativa:** correspondiente a los taxones que tienen distribución natural histórica en México pero que también se distribuyen en otros países de manera natural sin ser cosmopolitas.
- **Sin definir:** aquí se encuentran aquellos organismos de los cuales no fue posible determinar el nivel taxonómico que permita conocer a cuál de las categorías anteriores corresponde, esto debido a que durante el periodo de recolección de información no tenían flor o fruto, lo que permitiría identificar su especie.

Figura 4.59. Estatus ecológico de los taxones identificados.



Referente a los resultados obtenidos en la figura anterior, vemos que la mayor cantidad de taxones identificados corresponden al estatus “nativo” (62 taxones), seguidos de los “introducidos” (36), posteriormente están aquellos “sin definir” (6), luego los taxones “endémicos” (4) y finalmente los “cosmopolita” (1). En teoría estos resultados representan algo positivo para la composición florística, sin embargo, se debe contrastar con la presencia de los taxones por sitio para conocer cuál fue la abundancia y dominancia de los mismos en la Zona Río Salado, para ello se puede consultar esta información en la siguiente figura.

Figura 4.60. Cantidad de apariciones por sitio de los taxones identificados para el Río Salado. En azul se indica el estatus “nativo”, en rojo “introducido”, en resto se ponen ambos colores y ahí también se incluyen los estatus “cosmopolita” y “sin definir”.



Si bien en la Figura anterior vemos que *Baccharis salicifolia* (chamizo) fue la especie que apareció en todos los puntos de recorrido, no se observó en cantidades abundantes en algunos sitios, sin embargo, fue el carrizo (*Arundo donax*) el que se observó con mayor abundancia en general en todo el río, solo no fue observado en el tramo recorrido en Santa Cruz Amilpas dado que en ese punto realizan limpieza de las márgenes del río. Comparado con la otra especie que tuvo la misma cantidad de apariciones por sitio, que fue *Salix humboldtiana* (Sauce colorado), esta se encontró en menor abundancia a lo largo del río, siendo su presencia constante en el trayecto de Santa Cruz Amilpas, al no competir con el carrizo por la actividad humana ya mencionada. De las otras especies que se encontraron, entre los puntos 4 y 6 de recorrido vemos que son especies introducidas, que, si bien en la Figura 4.59 sabemos que la mayor composición de taxones son nativos, en cuanto a presencia por sitios, fueron los introducidos los más frecuentes de observar. Como datos adicionales, ninguna especie de flora se encuentra en la NOM-059-SEMARNAT-2010.

En cuanto a taxones considerados bioindicadores, se identificaron 28 (25.5% del total), los cuales están asociados a sitios perturbados, degradados o contaminados, observados en todos los puntos de recorrido, aunque su presencia fue mayor de Tlacolula de Matamoros a Santa Cruz Amilpas.

Continuando con el análisis de los datos obtenidos de los recorridos, en el siguiente cuadro se indica lo referente a la fauna que se observó e identificó para la Zona Río Salado.

Cuadro 4.38. Taxones correspondientes a fauna, observados e identificados en los 8 puntos determinados en el río Salado. 1= Primer punto en San Pablo Villa de Mitla, 2= Segundo punto en San Pablo Villa de Mitla, 3= Tlacolula de Matamoros, 4=Primer punto en San Juan Guelavía, 5= Segundo punto en San Juan Guelavía, 6=Santa María del Tule, 7= Tlaxiact de Cabrera y 8= Santa Cruz Amilpas; Tipo de Organismo: AN=Anfibio, AR= Arácnido, A=Ave, I= Insecto, M= Molusco, MI= Miriápodo, P=Pez y R=Reptil; para la sección de hábitat: AE= Aeroterrestre, AC= Acuático, T= Terrestre, SA= Semiacuático y AB=Arborícola; para Estatus ecológico: EM=Endémico de México, N= Nativo, I= Introducido, C= Cosmopolita, SD= Sin poder definir.

No.	Taxón	Nombre común	Tipo	Háb.	Estatus	Biondicador	NOM-059-SEMARNAT-2010	Sitios
1	<i>Actitis macularius</i>	Playero alzacolita	A	AT	N	-	No	2
2	<i>Ancyloxypha arene</i>	Saltarina Mínima Tropical	I	AT	N	-	No	2
3	<i>Anthanassa texana ssp. texana</i>	Mariposa lunita tejana	I	AT	N	-	No	7

No.	Taxón	Nombre común	Tipo	Háb.	Estatus	Biondicador	NOM-059-SEMARNAT-2010	Sitios
4	<i>Apis mellifera</i>	Abeja melífera europea	I	AT	I	-	No	2,4
5	<i>Ardea alba</i>	Garza blanca	A	AT	C	-	No	3
6	<i>Bubulcus ibis</i>	Garza ganadera	A	AT	I	-	No	8
7	<i>Buteo jamaicensis</i>	Aguililla Cola Roja	A	AT	N	-	No	6
8	<i>Caracara cheriway</i>	Caracara Quebrantahuesos	A	AT	N	-	No	6
9	<i>Chlosyne lacinia</i>	Mariposa de parche bandeado	I	AT	N	-	No	2
10	<i>Chondestes grammacus</i>	Corrión Arlequín	A	AT	N	-	No	1
11	<i>Claravis pretiosa</i>	Tórtola azul	A	AT	N	-	No	4
12	<i>Columbina passerina</i>	Tortolita Pico Rojo	A	AT	N	-	No	4,6
13	<i>Dryobates scalaris</i>	Carpintero mexicano	A	AT	N	-	No	6
14	<i>Enallagma praevarum</i>	Azulilla de estanque variable	I	AC y AT	N	Buena a regular calidad de agua (Clavijo y Cázares, 2016)	No	8
15	<i>Falco sparverius</i>	Cernícalo Americano	A	AT	N	-	No	6
16	Familia Physidae	Caracoles vejiga de agua dulce	M	AC	C	De las familias de caracoles de agua dulce más tolerantes a contaminantes (Contreras, 1916)	No	1
17	Familia Dolichopodidae	Moscas de patas largas	I	AC y AT	N	-	No	1
18	Familia Aeshnidae	Libélulas Zurcidoras	I	AC y AT	N	Buena a regular calidad del agua (Clavijo y Cázares, 2016)	No	1
19	Familia Culicidae	Zancudos	I	AC y AT	N	Mala a muy mala calidad de agua (Roldán, 2003); indicadores de aguas mesoeutróficas (Roldán-Pérez, 1999)	No	3,7,8
20	Familia Lestidae	Caballitos del diablo	I	AC y AT	N	Calidad de agua regular a mala (Clavijo y Cázares, 2016)	No	3
21	Familia Acrididae	Chapulines de antenas cortas	I	T	C	-	No	6
22	Familia Libellulidae	Libélulas rayadoras	I	AC y AT	N	Tolerantes a contaminación por materia orgánica (Clavijo y Cázares, 2016)	No	3
23	Género <i>Abedus</i>	Chinche de agua	I	AC	N	Familia Belostomatidae indica regular calidad del agua (Roldán, 2003).	No	1
24	Género <i>Berosus</i>	Coleóptero acuático	I	AC	N	Asociado a aguas duras, facultativo (Arredondo, 1986), su familia (Hydrophilidae) asociada a mala calidad del agua (Roldán, 2003).	No	1

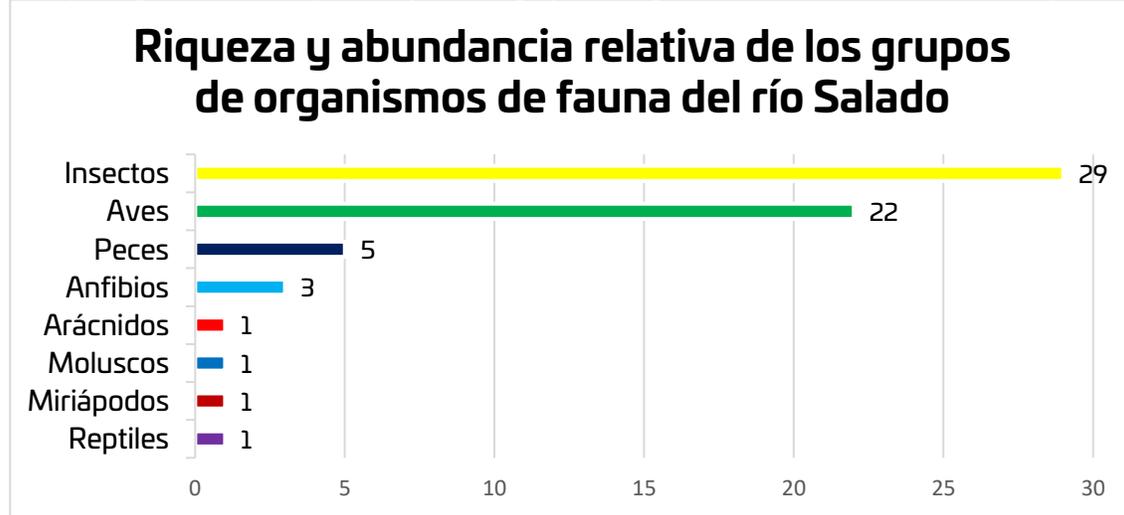
No.	Taxón	Nombre común	Tipo	Háb.	Estatus	Biondicador	NOM-059-SEMARNAT-2010	Sitios
25	Género <i>Buena</i>	Insecto nadador	I	AC	N	Familia Notonectidae: calidad regular a dudosa (Roldán, 2003)	No	1,3
26	Género <i>Camponotus</i>	Hormigas carpinteras	I	AT	C	-	No	2
27	Género <i>Laccobius</i>	Escarabajo acuático	I	AC	N	Familia (Hydrophilidae) asociada a mala calidad del agua (Roldán, 2003).	No	1
28	Género <i>Laccophilus</i>	Escarabajo de agua	I	AC	C	Tolerante a altas concentraciones de sales y a bajos niveles de oxígeno (Wilhm, 1975)	No	3
29	Género <i>Lithobates</i>	Ranas de agua americanas	AN	AC y SA	N	-	No	3
30	Género <i>Oreochromis</i>	Mojarra tilapia	P	AC	I	Mala calidad del agua (Cavas y Ergene, 2003)	No	3
31	Género <i>Pardosa</i>	Arañas Lobo de patas delgadas	AR	T	C	-	No	1,2
32	<i>Hyla euphorbiacea</i>	Ranita de alta montaña	AN	T y AB	EM	-	No	4
33	<i>Kinosternon integrum</i>	Tortuga pecho quebrado mexicana	R	SA	EM	-	*SPE	3
34	<i>Mimus gilvus</i>	Cenzontle Tropical	A	AT	N	-	No	1
35	<i>Myiozetetes similis</i>	Luisito común	A	AT	N	-	No	7
36	<i>Nymphalis antiopa</i>	Mariposa velo de duelo	I	AT	N	-	No	7
37	<i>Oncopeltus fasciatus</i>	Gran chinche del algodóncillo	I	T	N	-	No	3
38	Orden Ephemeroptera (posiblemente familia Baetidae)	Efímeras	I	AC y AT	SD	Buena calidad del agua (McCafferty, 1983 y Roldán, 2003)	No	1,2,3
39	Orden Orthoptera	Chapulines	I	T	SD	-	-	3
40	Orden Anura	Ranas y Sapos	AN	AC	SD	-	-	1,3
41	<i>Papilio polyxenes</i>	Mariposa cometa negra	I	AT	N	-	No	3
42	<i>Passer domesticus</i>	Gorrión doméstico	A	AT	I	-	No	6
43	<i>Perithemis intensa</i>	Ambarina Intensa	I	AC y AT	N	La familia es reconocida como tolerante a contaminación por materia orgánica (Clavijo y Cázares, 2016)	No	8
44	<i>Pitangus sulphuratus</i>	Luis Bienteveo	A	AT	N	-	No	3,7,8
45	<i>Poecilia sphenops</i>	Topote mexicano	P	AC	N	-	No	1,2
46	<i>Poeciliopsis fasciata</i>	Guatopote de San Jerónimo	P	AC	N	Buena calidad del agua (Rodríguez, 2008)	No	1,2
47	<i>Poeciliopsis gracilis</i>	Guatopote jarocho	P	AC	N	Buena y regular calidad del agua (De la Lanza et al., 2011).	No	1,2,3

No.	Taxón	Nombre común	Tipo	Háb.	Estatus	Biondicador	NOM-059-SEMARNAT-2010	Sitios
48	<i>Psaltriparus minimus</i>	Sastrecillo	A	AT	N	-	No	8
49	<i>Pseudoxiphophorus bimaculatus</i>	Guatopote manchado	P	AC	N	Regular a mala calidad del agua (Navarrete, 2016)	No	3
50	<i>Pyrocephalus rubinus</i>	Papamoscas Cardenalito	A	AT	N	-	No	6,8
51	<i>Salpinctes obsoletus</i>	Saltapared de rocas	A	AT	N	-	No	1
52	<i>Sayornis nigricans</i>	Papamoscas negro	A	AT	N	-	No	1,2,3,7
53	<i>Setophaga coronata</i>	Reinita coronada	A	AT	N	-	No	1,2
54	<i>Stelgidopteryx serripennis</i>	Golondrina Alas A serradas	A	AT	N	-	No	2
55	Subclase Eugnatha	Milpiés	MI	T	SD	-	No	2
56	Subfamilia Belostomatinae	Chinches acuáticas gigantes	I	AC	C	Regular calidad del agua (Roldán, 2003).	No	3
57	Subfamilia Corixinae	Barqueros de agua	I	AC	N	Familia Corixidae considerada bioindicadora de buena calidad del agua (Roldán, 2003).	No	2,3
58	Suborden Zygoptera	Caballitos del diablo	I	AC y AT	N	Calidad de agua regular a mala (Clavijo y Cázares, 2016)	No	1
59	Suborden Heteroptera	Chinches y parientes	I	T	SD	-	No	7
60	<i>Thermonectus marmoratus</i>	Escarabajo buzo	I	AC	N	Familia Dytiscidae considerada bioindicadora de muy buena a excelente calidad de agua (Roldán, 2003).	No	1
61	Tribu Corixini	Insecto barquero	I	AC	N	Familia Corixidae considerada bioindicadora de buena calidad del agua (Roldán, 2003).	No	1
62	<i>Tyrannus vociferans</i>	Tirano Chibiú	A	AT	N	-	No	6
63	<i>Zenaida asiatica</i>	Paloma alas blancas	A	AT	N	-	No	3,4,6,7,8

Sobre la fauna se tuvo un registro de 87 observaciones en los 8 puntos de la Zona Río Salado, de los cuales se determinaron 63 taxones distintos: 1 a nivel Subclase (1.6%), 3 a nivel de Orden (4.7%), 2 a Suborden (3.2%), 7 a nivel familia (11.1%), 2 a Subfamilia (3.2%), 1a Tribu (1.6%), 9 a nivel Género (14.3%) y 38 a nivel Especie (60.3%).

En la siguiente figura se plasma de manera visual la riqueza de grupos de organismos de fauna identificados para el río Salado, así como su abundancia relativa.

Figura 4.61. Riqueza y abundancia en porcentajes de los grupos de organismos observados e identificados para el río Salado.

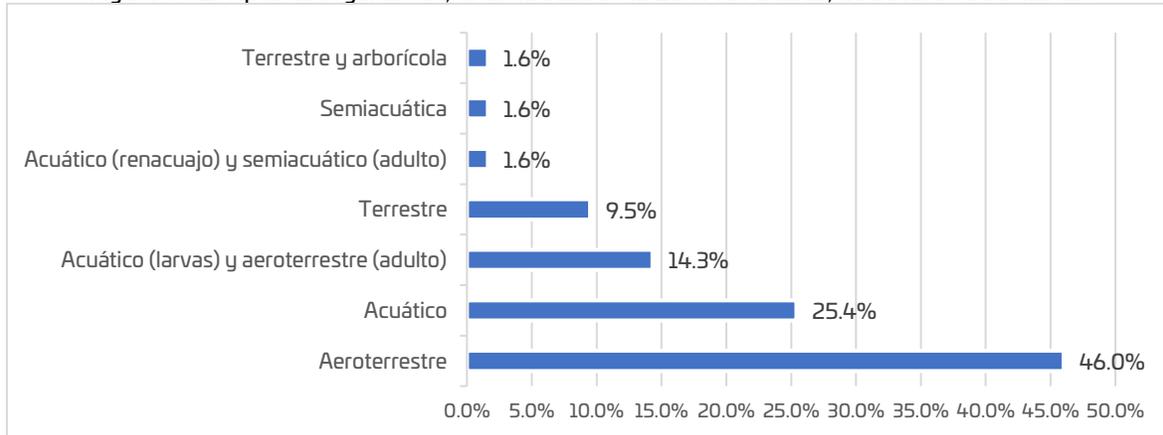


Como se puede apreciar en la Figura anterior, se encontró una riqueza de 8 grandes grupos de organismos, de los cuales los insectos fueron los más abundante (46%), seguidos de las aves (35%), posteriormente los peces (8%), luego los anfibios (5%), y con la misma proporción los arácnidos, moluscos, miriápodos y reptiles (2% para cada uno).

En la Figura 4.62 se indican las proporciones de los taxones según su tipo de hábitat, y que para el caso de fauna se agruparon de la siguiente manera:

- **Aeroterrestre:** engloba organismos que pueden volar, pero también posarse en el suelo y sobre flora, por ejemplo, aves y diversos insectos.
- **Acuático:** se incluyen aquellos organismos que desarrollan su ciclo de vida completo en el agua, por ejemplo, peces y algunos insectos acuáticos.
- **Acuático y aeroterrestre:** corresponde a organismos que desarrollan una parte de su ciclo de vida de manera acuática obligada, y otra fuera del agua siendo además voladores, por ejemplo, insectos que tienen larvas acuáticas pero los adultos son voladores.
- **Acuático y semiacuático:** incluye organismos que desarrollan una etapa de su ciclo de vida en el agua de manera estricta y otra donde pueden salir a la tierra, pero sin alejarse del cuerpo de agua, por ejemplo, ranas.
- **Arborícola:** se refiere al hábitat que brindan los árboles y arbustos para algunas especies, pero que no son voladoras, por ejemplo, algunas ranas.
- **Semiacuático:** engloba a los organismos que dependen del agua para su vida pero que también pueden salir a la tierra, pero no se alejan del cuerpo de agua donde viven, por ejemplo, algunas tortugas.
- **Terrestres:** corresponde a aquellos organismos que desarrollan su ciclo de vida completamente en la tierra.

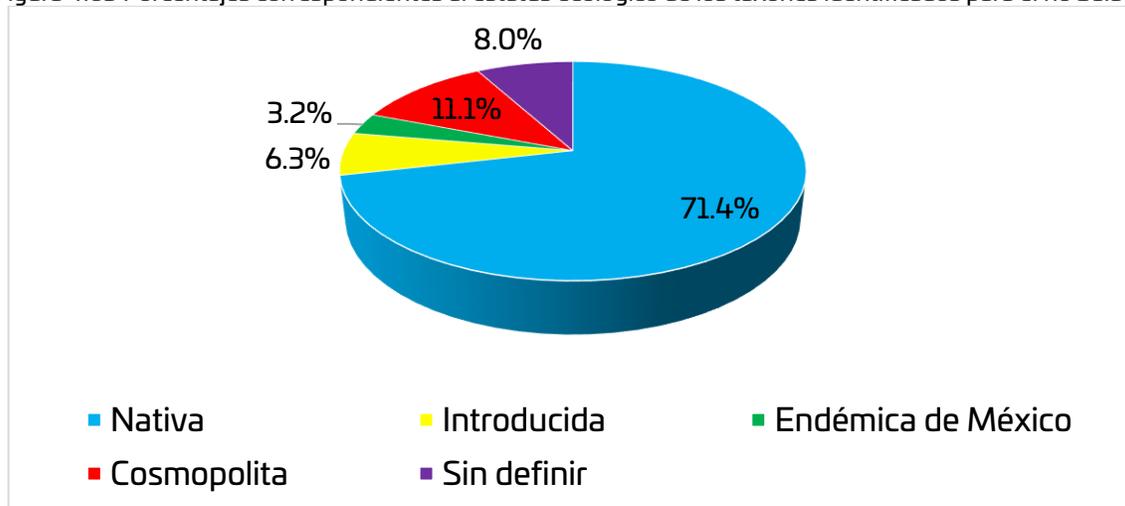
Figura 4.62. Tipos de organismos, encontrados en la Zona Río Salado, de acuerdo a su hábitat.



Como se aprecia en la Figura anterior, el 46% de los taxones identificados tienen un hábitat aeroterrestre (29), que incluye sobre todo a las aves y algunos insectos, posteriormente el hábitat acuático representó el 25.4% (16 taxones) que corresponde con peces y algunos insectos netamente acuáticos, continua el acuático combinado con aeroterrestre (9 taxones) que incluye insectos que presentan estado larval acuático y adultos voladores, después se ubica el hábitat terrestre (6 taxones) que incluye algunos insectos, y finalmente tres hábitats presentaron 1 solo taxón cada uno de ellos (acuático con semiacuático que incluye un anfibio, semiacuático que incluye 1 tortuga, y terrestre con arborícola que corresponde a una rana del género *Hyla*).

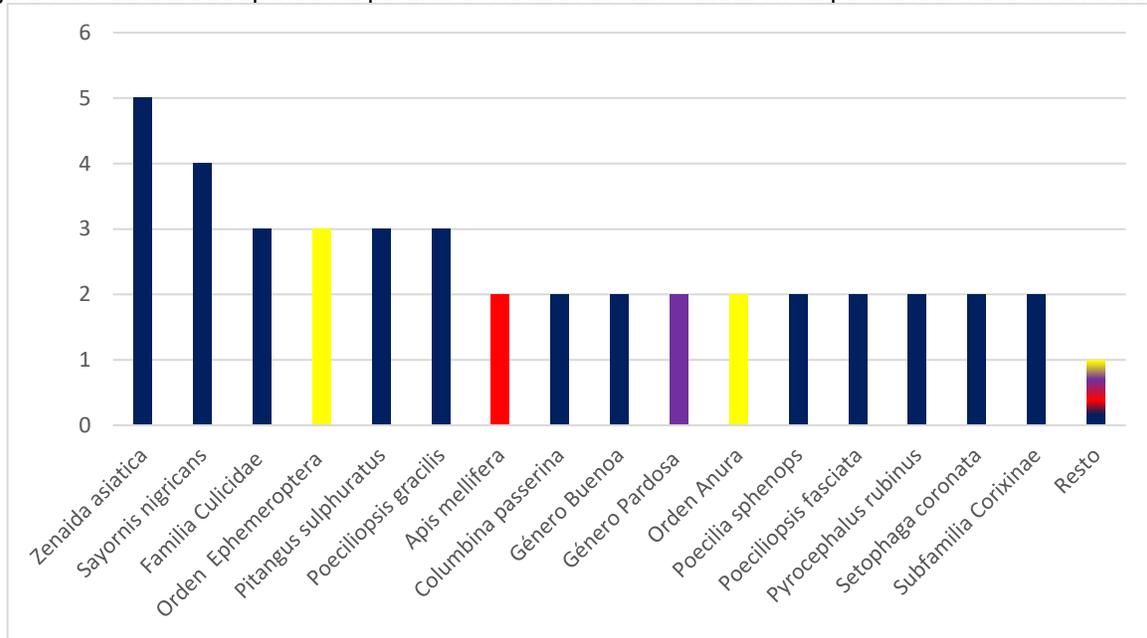
Respecto al estatus ecológico, en la siguiente figura se muestran los porcentajes encontrados para cada uno de ellos.

Figura 4.63 Porcentajes correspondientes al estatus ecológico de los taxones identificados para el río Salado.



Como se puede observar en la Figura anterior, el 74% de los taxones son "nativos" de México (45), posteriormente se encuentran los taxones considerados "cosmopolitas" con el 11.1% (7), seguidos de los "sin definir" con el 8% (5), los "introducidos" representan el 6.3% (4) y finalmente los "endémicos" con el 3.2% (2). En teoría es positivo que la mayor parte de los taxones sean nativos, pero se debe contrastar con la frecuencia de aparición por sitio para tener una idea de la abundancia que presentan, como se observa en la figura siguiente.

Figura 4.64. Cantidad de apariciones por sitio de los taxones identificados en los puntos recorridos en el río Salado.

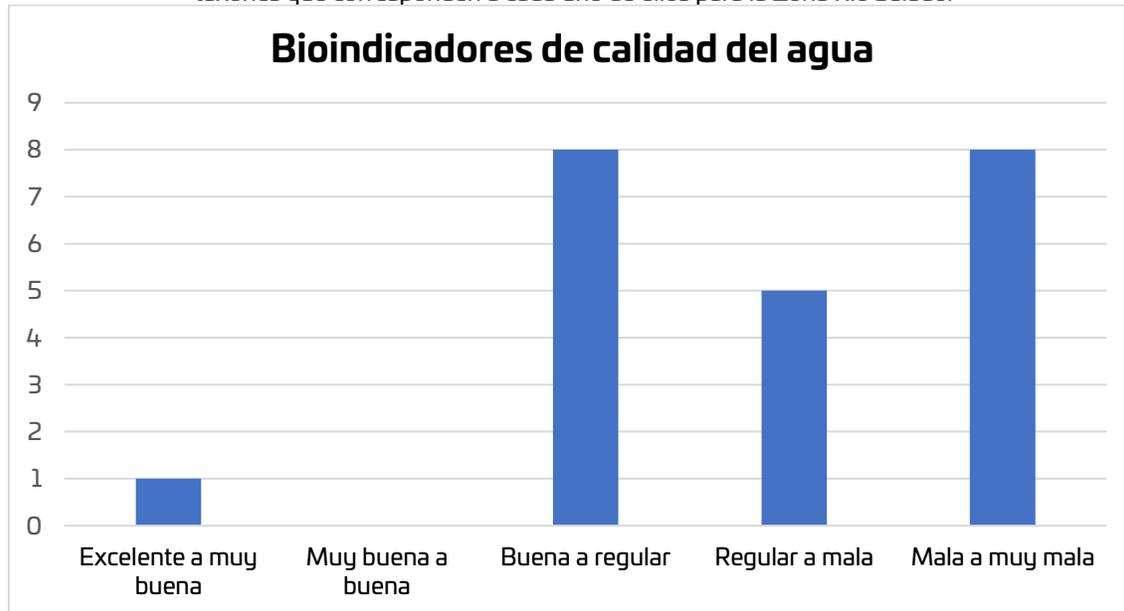


De acuerdo a la información obtenida en la Figura anterior, podemos ver que la especie que se observó en 5 de los 8 puntos recorridos del Río Salado fue *Zenaida asiatica* (ave nativa), seguida de otra ave nativa con 4 apariciones, luego los mosquitos de la Familia *Culicidae* que incluye a la subfamilia *Culicinae* con 3 apariciones (nativa). Como se aprecia a simple vista, para fauna la dominancia a lo largo del río fue de especies nativas.

Sobre la Familia *Culicidae* se debe prestar atención, ya que es de interés a la salud pública, pues en ella se encuentran numerosas especies que actúan como vectores de muchos organismos causantes de enfermedades como la malaria, la fiebre amarilla y el dengue, entre otros (Elizondo, 2002), por lo cual se recomienda un estudio dirigido a estos organismos para evaluar su potencial como vectores de alguna de las enfermedades mencionadas.

Referente a Bioindicadores, se identificaron 5 rangos para calidad del agua, de acuerdo a la literatura consultada para los taxones que están reconocidos para este fin como son los macroinvertebrados y peces, dichos rangos son: excelente a muy buena calidad de agua, muy buena a buena, buena a regular, regular a mala, y mala a muy mala, como se muestra en la siguiente figura.

Figura 4.65. Rangos de calidad de agua determinados por Bioindicadores y la cantidad de taxones que corresponden a cada uno de ellos para la Zona Río Salado.



Como se aprecia en la Figura anterior, solo 1 taxón es considerado como bioindicador de excelente a muy buena calidad de agua (*Thermonectus marmoratus* observado solo en el primer punto de recorrido en San Pablo Villa de Mitla), de muy buena a buena no se identificó alguno, mientras que para buena a regular se identificaron 8 taxones los cuales se observaron también en el origen del río Salado, mientras que los de calidad regular a mala se observaron sobre todo en el municipio de Tlacolula de Matamoros donde ya hay presencia de descarga de aguas residuales, y los de mala a muy mala se observaron desde Tlacolula hasta Santa Cruz Amilpas en los sitios donde había agua.

Referente a especies listadas en la NOM-059-SEMARNAT 2010, se identificó una sola especie, la cual corresponde a la tortuga semiacuática *Kinosternon integrum*, que aparece en la categoría “Sujeta a Protección Ambiental”, llegándose a observar en los recorridos únicamente en el punto 3 correspondiente a Tlacolula de Matamoros, y que, de acuerdo a lo comentado por algunos pobladores de la zona, eventualmente son consumidos por la población.

4.2.13.5.2.2. Zona Alto y Bajo Atoyac

En el siguiente cuadro se presenta lo encontrado a la flora observada e identificada para el río Atoyac, en sus dos Zonas, desglosando de cada una de ellas lo referente a los taxones identificados, su estatus ecológico, hábitat, etc., tal y como se hizo para el río Salado.

Cuadro 4.39. Flora identificada para el Río Atoyac. 1= San Pablo Huitzo, 2= Magdalena Apasco, 3=San Lorenzo Cacaotepec, 4= San Jacinto Amilpas, 5= Oaxaca de Juárez, 6= Santa Cruz Xoxocotlán, 7= San Bartolo Coyotepec (río arriba), 8= San Bartolo Coyotepec (río abajo), 9= Zimatlán de Álvarez, y 10= Santa Cruz Mixtepec. Tipo de hábitat: A=Acuático. Tipo de hábitat: A= Acuático, AF= Acuático Flotante, E= Epifita, P= Palustre, T= Terrestre, TR= Trepadora. Estatus: EM= Endémico de México, C= Cosmopolita, I= Introducido, IN= Incierto, N= Nativo, SD=Sin poder definir.

No	Taxón	Nombre común	Hábitat	Estatus	Bioindicador	NOM-059-SEMARNAT-2010	Sitios
1	<i>Acmella repens</i>	Tripa de pollo	T	N	-	No	1,8,10
2	<i>Amaranthus hybridus</i>	Quintonil verde	T	N	-	No	3

No	Taxón	Nombre común	Hábitat	Estatus	Bioindicador	NOM-059-SEMARNAT-2010	Sitios
3	<i>Amaranthus palmeri</i>	Quintonil tropical	T	N	Tolerante a suelos excesivamente fertilizados (Villaseñor y Espinosa, 1998)	No	8,9
4	<i>Anredera cordifolia</i>	Enredadera del Mosquito	T/TR	I	-	No	9
5	<i>Argemone ochroleuca</i>	Cardo santo	T	N	Asociada a perturbaciones por cultivos (Espinosa y Sarukhán, 1997)	No	2,3,4
6	<i>Arundo donax</i>	Carrizo asiático gigante	T	I	Asociado a zonas con un alto nivel de nitrógeno (CONABIO, 2009)	No	1,2,3,4,5,6,7,8,9,10
7	<i>Asclepias curassavica</i>	Algodoncillo tropical	T	N	-	No	1,5
8	<i>Azolla caroliniana</i>	Helecho mosquito	AF	N	-	No	3
9	<i>Baccharis salicifolia</i>	"Chamizo"	T	N	-	No	1,2,3,4,6,7,8,9,10
10	<i>Bacopa monnieri</i>	Verdolaga de puerco	T/A/P	N	-	No	3
11	<i>Bambusa vulgaris</i>	Bambú asiático	T	I	-	No	1
12	<i>Brickellia glandulosa</i>	-	T	N	-	No	1
13	<i>Buddleja sessiliflora</i>	Hierba de Tepozán	T	N	-	No	1
14	<i>Calibrachoa parviflora</i>	Petunia silvestre	T	N	Suelos húmedos y/o salinos (Villaseñor y Espinosa, 1998).	No	2,3
15	<i>Centrosema pubescens</i>	Gallitos	T	N	-	No	1
16	<i>Ceratophyllum demersum</i>	Mil hojas	A	I	-	No	3
17	<i>Commelina diffusa</i>	Hierba del pollo	T/P	N	-	No	1,2,10
18	<i>Cynodon dactylon</i>	Gallitos asiáticos	T	I	-	No	2,3
19	<i>Cyperus entrerianus</i>	Cyperus	T/P	N	-	No	1
20	<i>Cyperus odoratus</i>	Hierba del zopilote	T	I	Asociada a áreas alteradas (CONABIO, 2009)	No	3
21	<i>Digitaria sanguinalis</i>	Pata de gallo	T	I	-	No	2
22	<i>Dysphania ambrosioides</i>	Epazote	T	N	-	No	9
23	<i>Eclipta prostrata</i>	Zarzapilla	T/P	N	-	No	2,10
24	<i>Eleocharis acicularis</i>	"Pasto ribereño"	T/P	N	-	No	10
25	<i>Eleocharis minima</i>	"Pasto ribereño enano"	T/P	N	-	No	10
26	<i>Euploca procumbens</i>	Cola de Alacrán	T	N	-	No	2
27	<i>Eustoma exaltatum</i>	-	T	N	Tolerante a salinidad del suelo (Kearney & Peebles, 1942)	No	3
28	<i>Evolvulus alsinoides</i>	Pico de pájaro	T	N	-	No	3
29	Familia Asteraceae	Margaritas, Achicorias, Cardos y Parientes	T	SD	-	No	2

No	Taxón	Nombre común	Hábitat	Estatus	Bioindicador	NOM-059-SEMARNAT-2010	Sitios
30	Familia Poaceae	Pastos y cereales	T	SD	-	-	2,4,5,6,8
31	<i>Galinsoga parviflora</i>	Estrellita	T	N	-	No	1
32	Género <i>Chara</i>	"Macroalga"	A	N	Suelos fangosos, agua no tan oxigenada y dura (Caballero, 1922).	No	2
33	Género <i>Juncus</i>	Junco	P	N	-	No	2
34	<i>Glandularia bipinnatifida</i>	Alfombrilla de campo	T	N	Asociada a zonas perturbadas (Rzedowski y Rzedowski, 2001)	No	2
35	<i>Heteranthera reniformis</i>	Oreja de agua	A	N	-	No	2,3,4
36	<i>Ipomoea alba</i>	Amole	T/TR	N	-	No	7,8,9
37	<i>Ipomoea purpurea</i>	Campanilla morada	T	N	-	No	3
38	<i>Ipomoea triloba</i>	Amole	T/TR	I	-	No	9
39	<i>Lemna minor</i>	Lenteja de agua	A	C	-	No	1
40	<i>Lepidium virginicum</i>	Lentejilla de campo	T	N	-	No	4,8
41	<i>Leptochloa fusca</i>	Pasto gigante anual	T	N	-	No	3,8
42	<i>Leucaena leucocephala</i>	Huaje/ Guaje	T	N	No tolera suelos ácidos y demasiado compactos, tolera algo de salinidad (Parrotta, 1992).	No	10
43	<i>Ludwigia peploides</i>	Duraznillo de agua	AF	N	-	No	1,2,3,4
44	<i>Malvastrum coromandelianum</i>	Escobillo	T	N	Lugares perturbados (Espinoza <i>et al.</i> , 2008)	No	9
45	<i>Matricaria chamomilla</i>	Manzanilla de castilla	T	I	-	No	4
46	<i>Medicago sativa</i>	Alfalfa Berdiana	T	I	-	No	4
47	<i>Melinis repens</i>	Pasto rosa africano	T	I	Asociado a alteraciones por cultivos (CONABIO, 2012e)	No	2
48	<i>Momordica charantia</i>	Pepino cimarrón	T	I	-	No	9
49	<i>Nasturtium officinale</i>	Berro blanco euroasiático	A/P	I	-	No	2,3,4
50	<i>Nicotiana glauca</i>	Tabaquillo sudamericano	T	I	Suelos arenosos o rocosos, así como perturbados (de Viana & Abarramcín, 2008)	No	2,3,4,5,8
51	<i>Oenothera rosea</i>	Hierba del golpe	T	N	-	No	1
52	<i>Parthenium hysterophorus</i>	Hierba del golpe	T	N	-	No	4
53	<i>Persicaria hydropiperoides</i>	Camarón	T/P	N	-	No	1,2
54	<i>Persicaria lapathifolia</i>	Chilillo blanco	T	I	Tolerante a contaminación orgánica (Lansdown, 2013).	No	3,4,5,7,8,9
55	<i>Pistia stratiotes</i>	Lechuguilla africana de agua	AF	I	-	No	3
56	<i>Pithecellobium dulce</i>	Guamúchil	T	N	-	No	4,5,6
57	<i>Plantago major</i>	Cancerina	T	I	-	No	1,2,4,9,10
58	<i>Pluchea carolinensis</i>	Canela	T	N	-	No	2,4

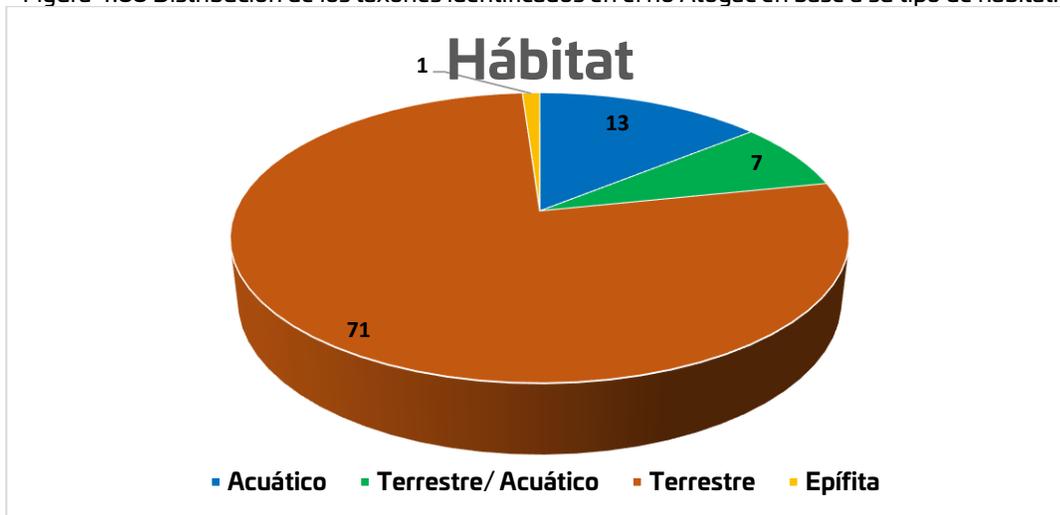
No	Taxón	Nombre común	Hábitat	Estatus	Bioindicador	NOM-059-SEMARNAT-2010	Sitios
59	<i>Polypogon monspeliensis</i>	Cola de zorra	T	N	No tolera salinidad (Carretero, 2004),	No	1,3,4
60	<i>Polypogon viridis</i>	Cola de Ardilla Eurasiática	T	I	Asociada a suelos húmedos (Rzedowski y Rzedowski, 2001)	No	1
61	<i>Pontederia crassipes</i>	Lirio acuático sudamericano	AF	I	Presente en aguas con alta carga orgánica (Novotny & Olem, 1994)	No	2,3,4
62	<i>Portulaca oleracea</i>	Verdolaga	T	I	-	No	2
63	<i>Prosopis laevigata</i>	Mezquite blanco	T	N	-	No	6
64	<i>Pseudognaphalium luteoalbum</i>	Gordolobo algodonoso	T	I	-	No	3
65	<i>Psidium guajava</i>	Guayaba	T	N	-	No	1
66	<i>Psittacanthus calyculatus</i>	Injerto de Huizache	E	EM	-	No	2,7
67	<i>Riccia fluitans</i>	Riccia	A	C	-	No	1
68	<i>Ricinus communis</i>	Higuerilla del Mediterráneo	T	I	-	No	4,5,6,7,8,9
69	<i>Rumex crispus</i>	Lengua de Vaca euroasiática	T	I	-	No	1,4
70	<i>Rumex pulcher</i>	Hierba colorada	T	I	-	No	4,5,8
71	<i>Salix alba</i>	Sauce blanco	T	I	-	No	5
72	<i>Salix humboldtiana</i>	Sauce colorado	T	N	Presencia de agua o elevada humedad en el suelo (Batis et. al., 1999).	No	1,2,3,4,5,6,7,8,9
73	<i>Schinus terebinthifolia</i>	Pimentero brasileño	T	I	-	No	1
74	<i>Sida rhombifolia</i>	Tlalamate	T	IN	Sitios perturbados y asoleados (Fryxell, 1992)	No	9
75	<i>Solanum americanum</i>	Hierba mora	T	N	-	No	1,8
76	<i>Solanum lycopersicum</i>	Jitomate	T	N	-	No	4,5
77	<i>Solanum mauritianum</i>	Tabaquillo	T	I	Asociada a perturbaciones por cultivos (CONABIO, 2009)	No	1
78	<i>Solanum rostratum</i>	Ayohuiztle	T	N	-	No	4
79	<i>Sonchus asper</i>	Cerraja	T	I	-	No	4
80	<i>Sonchus oleraceus</i>	Achicoria Europea	T	I	-	No	4,9
81	Subfamilia Mimosoideae	Huizaches, sensitivas, plumerillos y parientes.	T	N	-	No	2
82	Subfilo Angiospermae	Enredadera	T	SD	-	-	8
83	Subgénero Thamnoxys (Género Oxalis)	Tréboles Agrios o Vinagreras	T	N	-	No	1
84	<i>Taxodium mucronatum</i>	Ahuehuate o sabino	T	N	-	No	1
85	<i>Typha domingensis</i>	Tule	P	N	Tolerante a contaminación en el agua por carga orgánica y a algunos metales pesados (Aguilar, et. al., 2009; Lominchar, 2017)	No	2,3,4

No	Taxón	Nombre común	Hábitat	Estatus	Bioindicador	NOM-059-SEMARNAT-2010	Sitios
86	<i>Vachellia constricta</i>	Chaparro prieto	T	N	-	No	2
87	<i>Vachellia farnesiana</i>	Huizache	T	N	Tolerante a suelos salinos y sódicos (Clarke, <i>et al.</i> , 1989)	No	3,6
88	<i>Verbena urticifolia</i>	Verbena	T	N	-	No	1
89	<i>Vigna luteola</i>	Porotillo	T	IN	-	No	8
90	<i>Wigandia urens</i>	Chicastle manso	T	N	-	No	1,6,9
91	<i>Xanthium strumarium</i>	Abrojo	T	N	Zonas degradadas pero húmedas (Capdevila-Argüelles, <i>et al.</i> 2011)	No	4,9
92	<i>Zizaniopsis miliacea</i>	"Pasto de agua"	P	N	Tolerante a aguas salobres (Fox & Haller, 2000).	No	2

De los 10 puntos de recorrido en las Zonas del Atoyac, se realizaron 184 observaciones de flora, de las cuales se identificaron 92 taxones distintos: 1 corresponde a Subfilo (1.1%), 2 a nivel Familia (2.2%), 1 a Subfamilia (1.1%), 2 a Género (2.2%), 1 a nivel Subgénero (1.1%) y 85 a nivel Especie (92.3%). Contrastando estos datos con la Zona Río Salado, tenemos que hubo 9 observaciones más, pero en cuanto a taxones diferentes el río Atoyac presentó 8 menos, sin embargo, algunos de estos estuvieron presentes en más puntos de recorrido como se muestra en el Cuadro anterior.

En cuanto al hábitat en el que se encuentran los taxones identificados, se agruparon de acuerdo a la descripción dada en la parte del río Salado: Terrestre, Terrestre/ Acuático, Acuático y Epífita, indicando los resultados obtenidos en la siguiente Figura:

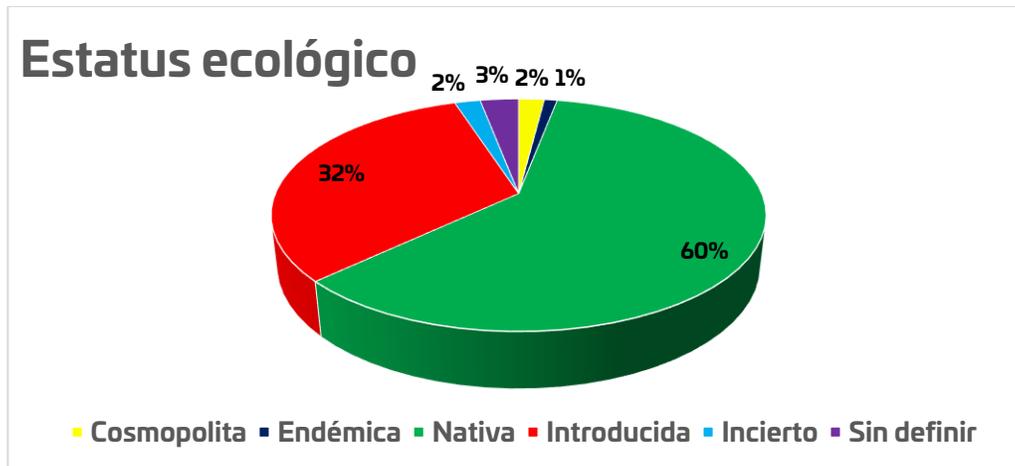
Figura 4.66 Distribución de los taxones identificados en el río Atoyac en base a su tipo de hábitat.



Como se puede observar en la Figura anterior, el 77% de los taxones tiene un hábitat terrestre estricto, mientras que el 14% son acuáticos, un 8% pueden estar en ambos hábitats, y finalmente solo 1% corresponde a plantas de tipo epífita. Comparando estos resultados con los encontrados para el río Salado, vemos que en el Atoyac el hábitat acuático está en segundo lugar a diferencia del río Salado donde está en la tercera posición, por lo que el río Atoyac presenta mayor diversidad de taxones acuáticos en lo que respecta a flora, en cuanto al hábitat terrestre estricto hubo 10% menos en el Atoyac, y el mismo porcentaje para la combinación terrestre/acuático, así como en plantas epífitas.

Referente al estatus ecológico de los taxones de flora del río Atoyac, se muestra de manera visual los porcentajes correspondientes a cada uno de ellos, los cuales fueron ya definidos (cosmopolita, endémica, nativa, introducida y sin definir), sin embargo, en el río Atoyac se identificaron 2 especies (*Sida rhombifolia* y *Vigna luteola*) de las cuales la literatura consultada indica que el estatus es incierto debido a que no existen estudios o evidencias sobre el origen biogeográfico de las mismas, como se muestra en la siguiente figura.

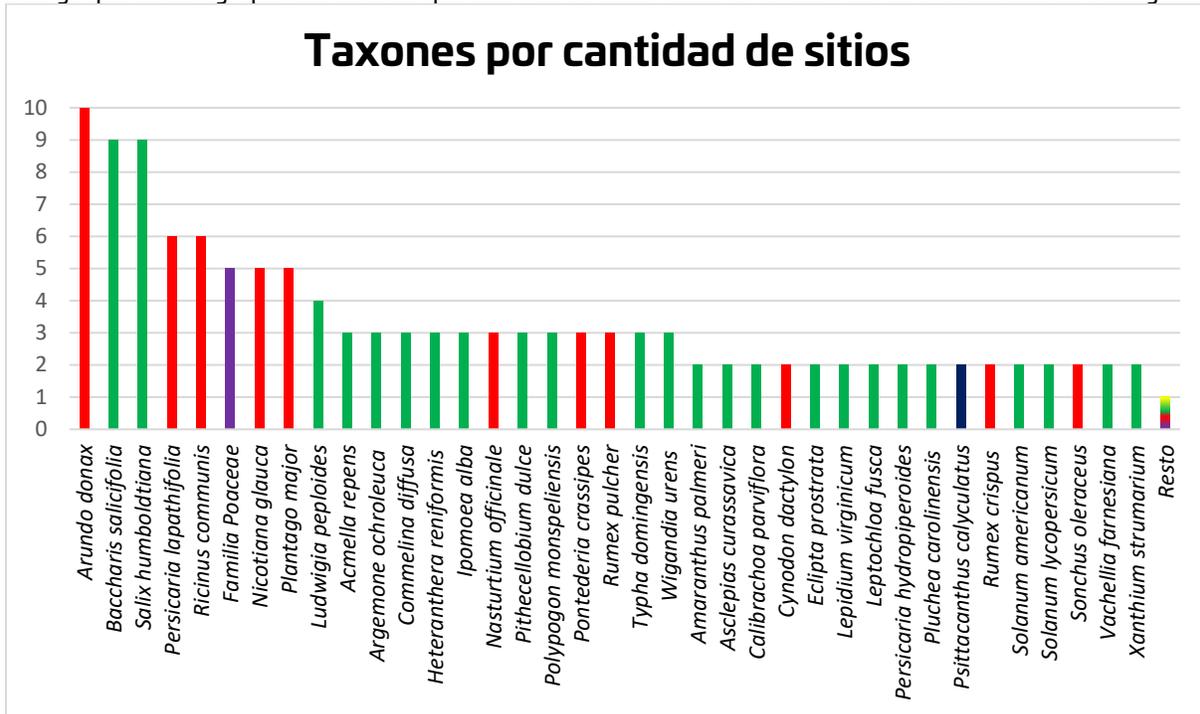
Figura 4.67. Estatus ecológico de los taxones identificados para el río Atoyac.



Con la información de la Figura anterior podemos ver que la mayoría de los taxones identificados para el Atoyac son "nativos" (60%), 32% son "introducidos", 3% "sin definir" ya que por el nivel taxonómico al que fueron identificados no es posible determinar el estatus ecológico, con 2% encontramos a los taxones "endémicos" de México y los "cosmopolitas" respectivamente. Comparando esta información con la obtenida para el río Salado, tenemos que hay 5% más de taxones nativos, 1% menos de "introducidos", 3% menos de endémicos, 2% menos sin definir, 1% más de cosmopolitas y que en el río Atoyac como ya se mencionó, hay un 2% correspondiente a las especies inciertas sobre su origen.

Sobre la aparición de los taxones por sitios, en la siguiente figura se observa cuáles fueron los taxones que aparecieron en los 10 puntos evaluados.

Figura 4.68. Cantidad de observaciones por sitio de los taxones identificados de flora para el río Atoyac. En verde se indica el estatus “nativo”, en rojo “introducido”, en morado “sin definir”, en azul “endémico”, y para el resto se coloca una combinación de colores ya que ahí se agrupan los taxones que solo fueron observados en un sitio con diferentes estatus ecológicos.



Como se puede observar en la Figura anterior, el carrizo (*Arundo donax*) se presentó en todos los puntos de recorrido, siendo la especie más abundante en términos generales a lo largo del río Atoyac, a diferencia del río Salado donde en un punto no estuvo presente (por actividades de limpieza de márgenes), sin embargo, se puede decir que es la especie que más se encuentra distribuida a lo largo de ambos ríos, ya que su dominancia en la mayoría de puntos fue notoria (ver Anexos), posteriormente para el río Atoyac, las dos especies más vistas fueron el “chamizo” y el sauce colorado, las cuales son nativas y forman parte de la vegetación propia de los ríos Atoyac y Salado y (vegetación y bosque de galería), aunque su abundancia fue diferente entre cada punto de recorrido, después continuaron 2 especies introducidas, 1 taxón sin definir su estatus ecológico correspondiente a la Familia *Poaceae* que incluye pastos, los cuales fueron muy abundantes en algunos puntos del recorrido, de ahí siguieron 2 taxones introducidos en presencia por sitios y el resto en términos generales correspondió a taxones nativos.

En cuanto a taxones bioindicadores, se identificaron 23 (1 a nivel de género y 22 especies) de los cuales 19 son terrestres y de ellos 15 indican sitios perturbados y contaminados o con presencia alta de salinidad, mientras que 4 son acuáticos que indican tolerancia a aguas duras, con alta salinidad y contaminación orgánica. Sobre especies listadas en la NOM-059-SEMARNAT 2010 no se identificó ninguna en categorías de esta NOM.

Continuando con el análisis de la información para las Zonas del Alto y Bajo Atoyac, en el siguiente cuadro se indican los taxones observados e identificados para fauna, así como la información asociada a los mismos de acuerdo a lo descrito al inicio del apartado (nombre común, estatus, etc.).

Cuadro 4.40. Fauna observada e identificada para el río Atoyac. 1= San Pablo Huitzo, 2= Magdalena Apasco, 3=San Lorenzo Cacaotepec, 4= San Jacinto Amilpas, 5= Oaxaca de Juárez, 6= Santa Cruz Xoxocotlán, 7= San Bartolo Coyotepec (río arriba), 8= San Bartolo Coyotepec (río abajo), 9= Zimatlán de Álvarez, y 10= Santa Cruz Mixtepec. Para Tipo de Organismo: AN=Anfibio, AR= Arácnido, A=Ave, C= crustáceo, I= Insecto, M= Molusco, P=Pez y R=Reptil; para la sección de hábitat: AA= Aeroarbóreo, AT= Aeroterrestre, AC= Acuático, T= Terrestre, SA= Semiacuático y AB=Arborícola; para Estatus ecológico: EM=Endémico de México, EA= Endémico de la Subcuenca Río Atoyac-Oaxaca de Juárez, N= Nativo, I= Introducido, C= Cosmopolita, SD= Sin poder definir; (IM)= Invierna en México, (MI)= Migratoria *SPE= Sujeta a Protección Especial en la NOM-059-SEMARNAT 2010 **Especie nativa pero que no corresponde su área de distribución natural el río Atoyac.

No	Taxón	Nombre común	Tipo	Hábitat	Estatus	Biondicador	NOM-059-SEMARNAT-2010	Sitios
1	<i>Agelaius phoeniceus</i>	Tordo sargento	A	AT	N	-	No	3
2	<i>Aphelocoma woodhouseii</i>	Chara de collar	A	AT	N	-	No	1
3	<i>Apis mellifera</i>	Abeja melífera europea	I	AT	I	-	No	1,2,7
4	<i>Aspidoscelis sackii</i> ssp. <i>sackii</i>	Huico manchado	R	T	EM	-	No	2
5	<i>Astyanax aeneus</i>	Pepesca o "sardinita panza de lumbré"	P	AC	N	-	No	3
6	<i>Brachygastera mellifica</i>	Avispa melífera mexicana	I	AT	N	-	No	4
7	<i>Chloroceryle americana</i>	Martín pescados verde	A	AT	N	-	No	3
8	<i>Columbina inca</i>	Tortolita cola larga	A	AT	N	Asociada a sitios degradados o cercanos a asentamientos humanos (Bernis <i>et al.</i> , 1998)	No	4,5,8,9,10
9	<i>Contopus pertinax</i>	Papamoscas José María	A	AT	N	-	No	1
10	<i>Crotophaga sulcirostris</i>	Garrapatero Pijuy	A	AT	N	-	No	1
11	<i>Cyprinus carpio</i>	Carpa común	P	AC	I	Tolera bajas concentraciones de oxígeno y altas concentraciones de salinidad (Martínez 2017)	No	4
12	<i>Dolomedes triton</i>	Araña pescadora	AR	SA	N	-	No	1
13	<i>Egretta caerulea</i>	Garza azul	A	AT y SA	N (IM)	-	No	3
14	<i>Egretta thula</i>	Garza dedos dorados	A	AT y SA	N (IM)	-	No	3
15	<i>Egretta tricolor</i>	Garza tricolor	A	AT y SA	N	-	No	3
16	Familia Glossosomatidae	Glossosomatido	I	AC y AT	N	Asociados a buena calidad del agua (Roldán, 2003)	No	10
17	Familia Physidae	Caracoles vejiga de agua dulce	M	AC	C	De las familias de caracoles de agua dulce más tolerantes a contaminantes (Contreras, 1916)	No	1,3
18	Familia Libellulidae	Libélulas rayadoras	I	AC y AT	N	Tolerantes a contaminación por	No	1,2,3

No	Taxón	Nombre común	Tipo	Hábitat	Estatus	Biondicador	NOM-059-SEMARNAT-2010	Sitios
						materia orgánica (Clavijo y Cázares, 2016)		
19	Familia Mimidae	Cenzontles, cuicacoques y mulatos	A	AT	N	-	No	1
20	Familia Planorbidae	Caracoles cuerno de carnero	M	AC	N	Es de las familias de caracoles dulceacuícolas menos tolerantes a contaminantes en el agua (Contreras, 1916)	No	1
21	Familia Trochilidae	Colibríes	A	AA	N	-	-	4
22	Género <i>Ambrysus</i>	Chinche de agua	I	AC	N	La familia Naucoridae está asociada a buena calidad del agua (Roldán, 2003).	No	1
23	Género <i>Arctosa</i>	"Araña"	AR	T	C	-	No	2
24	Género <i>Belostoma</i>	Chinches acuáticas gigantes	I	AC	C	Regular calidad del agua (Roldán, 2003).	No	1,3
25	Genero <i>Berosus</i>	Coleóptero acuático	I	AC	N	Asociado a aguas duras, facultativo (Arredondo, 1986), su familia (Hydrophilidae) asociada a mala calidad del agua (Roldán, 2003).	No	1,2
26	Género <i>Moina</i>	Pulga de agua	CR	AC	N	Bajos niveles de oxígeno, alta salinidad y otras impurezas, incluidas las salinas, y comúnmente eutrofización por contaminación orgánica (Espinosa-Chávez, 1988)	No	9
27	Género <i>Pardosa</i>	Arañas Lobo de patas delgadas	AR	T	C	-	No	9
28	Género <i>Trypoxylon</i>	Avispas de cabeza cuadrada	I	AT	C	-	No	2
29	<i>Geothlypis trichas</i>	Mascarita común	A	AT	N	-	No	7,8
30	<i>Icterus pustulatus</i>	Calandria Dorso Rayado	A	AT	N	-	No	9
31	<i>Iguana iguana</i>	Iguana verde	R	T	N**	-	*SPE	4
32	<i>Kinosternon integrum</i>	Tortuga pecho quebrado mexicana	R	SA	EM	-	*SPE	3,10
33	<i>Largus maculatus</i>	"Chinche café"	I	T	N	-	-	3

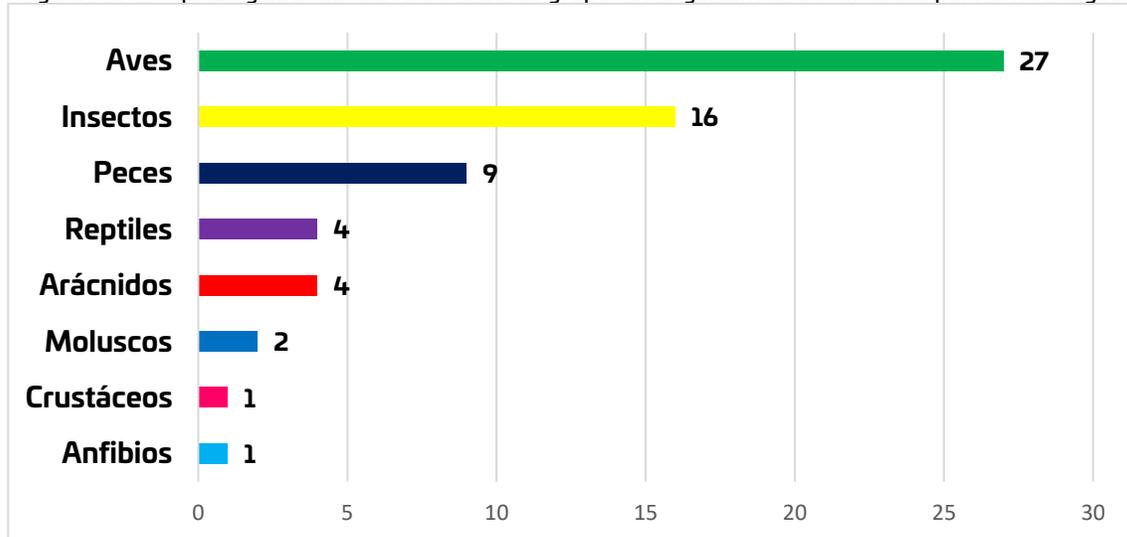
No	Taxón	Nombre común	Tipo	Hábitat	Estatus	Biondicador	NOM-059- SEMARNAT- 2010	Sitios
34	<i>Lithobates spectabilis</i>	Rana roca manchada	AN	AC y SA	EM	-	No	1,3
35	<i>Melozone albicollis</i>	Rascador Oaxaqueño	A	AT	EM	-	No	1
36	<i>Misumena vatia</i>	Araña camuflada de las flores	AR	T	N	-	No	4
37	<i>Myiozetetes similis</i>	Luisito común	A	AT	N	-	No	4,5
38	<i>Notonecta lobata</i>	Notonecta	I	AC	N	Familia Notonectidae: calidad regular a dudosa (Roldán, 2003)	No	1
39	<i>Oreochromis niloticus</i>	Mojarra Tilapia	P	AC	I	Mala calidad del agua (Cavas y Ergene, 2003)	No	4
40	Orden Coleoptera	Escarabajo	I	AC y AT	SD	-	-	10
41	<i>Papilio rogeri</i>	Cometa negra de manchas rosas	I	AE	N	-	No	2
42	<i>Piranga ludoviciana</i>	Piranga capucha roja	A	AT	N (IM)	-	No	3
43	<i>Pitangus sulphuratus</i>	Luis Bienteveo	A	AT	N	-	No	1,2,4,8,10
44	<i>Pituophis lineaticollis</i>	Culebra sorda o cincuate sureño	R	T	N	-	No	4
45	<i>Poecilia sphenos</i>	Topote mexicano	P	AC	N	-	No	1,2,3,4,10
46	<i>Poeciliopsis fasciata</i>	Guatopote de San Jerónimo	P	AC	N	Buena calidad del agua (Rodríguez, 2008)	No	1,10
47	<i>Poeciliopsis gracilis</i>	Guatopote jarocho	P	AC	N	Buena y regular calidad del agua (De la Lanza <i>et al.</i> , 2011).	No	1,2,3,4,10
48	<i>Polioptila albiloris</i>	Perlita Pispirria	A	AT	N	-	No	1
49	<i>Profundulus oaxacae</i>	Escamudo o Killi oaxaqueño	P	AC	EA	Género asociado a excelente calidad del agua (González, 2013), altamente sensibles a la perturbación de su entorno (Calixto, 2017)	No	1
50	<i>Pseudoleon superbus</i>	Rayadora de Filigrana	I	AC y AE	N	Familia tolerante a contaminación por materia orgánica (Clavijo y Cázares, 2016)	No	2
51	<i>Pseudoxiphophorus bimaculatus</i>	Guatopote manchado	P	AC	N	Regular a mala calidad del agua (Navarrete, 2016)	No	2,3,4,10
52	<i>Ptiliogonys cinereus</i>	Capulinero gris	A	AT	N	-	No	1
53	<i>Pyrocephalus rubinus</i>	Papamoscas Cardenalito	A	AT	N	-	No	2,5

No	Taxón	Nombre común	Tipo	Hábitat	Estatus	Biondicador	NOM-059- SEMARNAT- 2010	Sitios
54	<i>Quiscalus mexicanus</i>	Zanate mexicano	A	AT	N	-	No	6
55	<i>Sayornis nigricans</i>	Papamoscas negro	A	AT	N	-	No	2,3
56	<i>Spatula discors</i>	Cerceta alas azules	A	A	N (Mi)	-	No	3
57	<i>Sporophila torqueola</i>	Semillero rabadilla canela	A	AT	EM	-	No	2
58	Subfamilia Oedipodinae	Chapulines de antenas cortas	I	T	C	-	No	2
59	<i>Tachybaptus dominicus</i>	Zambullidor menor	A	AT y SA	N	-	*SPE	2
60	Tribu Dexiini	Moscas ostreoideas	I	AT	C	-	No	2
61	Tribu Gerrini	Patinador de agua	I	AC	SD	La Familia Gerridae está asociada a muy buena calidad del agua (Roldan, 2003).	No	1
62	<i>Tyrannus verticalis</i>	Tirano Pálido	A	AT	N	-	No	1
63	<i>Xiphophorus hellerii</i>	Cola de espada	P	AC	N**	-	No	1
64	<i>Zenaida asiatica</i>	Paloma alas blancas	A	AT	N	-	No	1,9,10

Como se aprecia en el Cuadro anterior, se identificaron 64 taxones distintos de 97 observaciones, de los cuales en 1 se llegó a identificar a nivel de Orden (1.6%), 6 a nivel Familia (9.4%), 1 a nivel subfamilia (1.6%), 2 a nivel Tribu (3.1%), 7 a nivel Género (10.9%), 46 a nivel Especie (71.8%) y 1 a nivel subespecie (1.6%).

En la siguiente figura se muestra la riqueza de grupos de organismos de fauna identificados para las Zonas Alto y Bajo Atoyac durante los recorridos realizados, así como su abundancia relativa.

Figura 4.69. Riqueza y abundancia relativa de los grupos de organismos identificados para el río Atoyac.



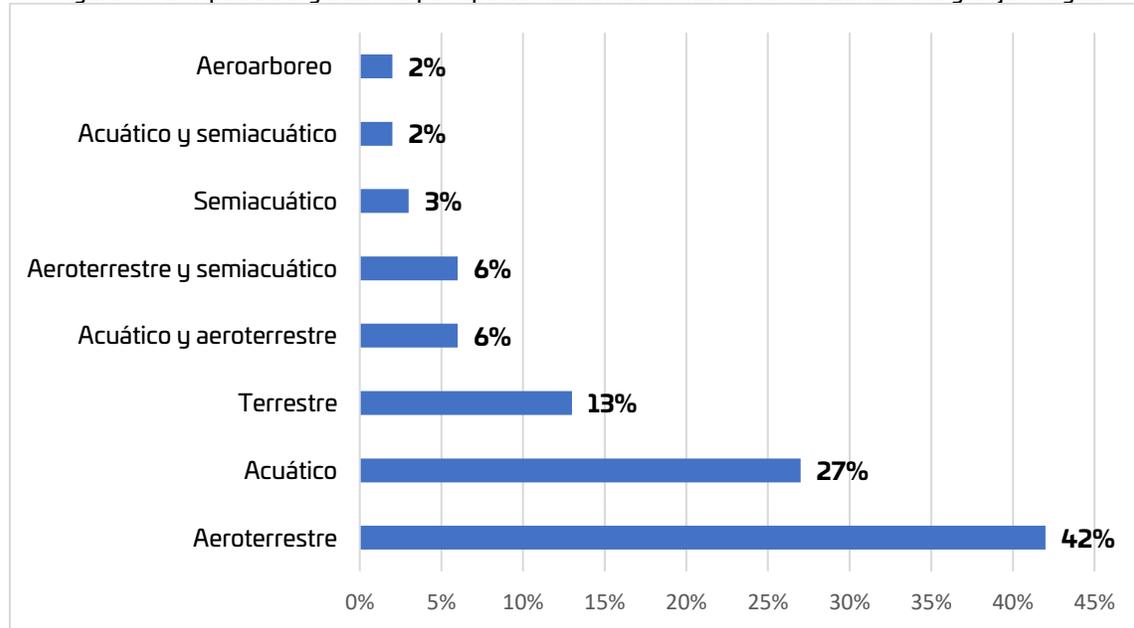
Como se puede observar en la Figura superior, se identificaron 8 grupos de organismos en el caso del río Atoyac, siendo en este caso para los recorridos realizados las aves el grupo con más abundancia (42%), seguido de los insectos (25%), posteriormente los peces (14%), continuando con los reptiles y arácnidos (6% cada uno), moluscos (3%) y finalmente los crustáceos y arácnidos (ambos con 2%).

De acuerdo a esta información, tenemos que para los recorridos realizados en el río Atoyac el grupo con más presencia fue el de las aves y no el de los insectos, que pasaron a segundo lugar a diferencia de los resultados para el río Salado; en el caso de los peces nuevamente ocuparon el tercer puesto, y el único grupo que no se observó fue el de los Miriápodos, pero apareció el de los crustáceos.

Referente al tipo organismo por hábitat donde se desarrolla (Figura 4.70) se encontraron 8, siendo aeroterrestres, acuáticos, acuáticos y semiacuáticos, acuáticos y aeroterrestres, terrestres y se adicionaron los siguientes:

- **Aeroarbóreo:** corresponde a los organismos que desarrollan su ciclo de vida en los árboles y pueden volar, pero no pueden posarse en el suelo, como los colibríes.
- **Aeroterrestre y semiacuático:** hace referencia a los organismos que pueden volar, posarse en tierra firme pero que además pueden estar en ambientes acuáticos nadando o tener sumergido parte de su cuerpo, por ejemplo, patos y garzas.

Figura 4.70. Tipos de organismos por tipo de hábitat identificados en las Zonas Alto y Bajo Atoyac.



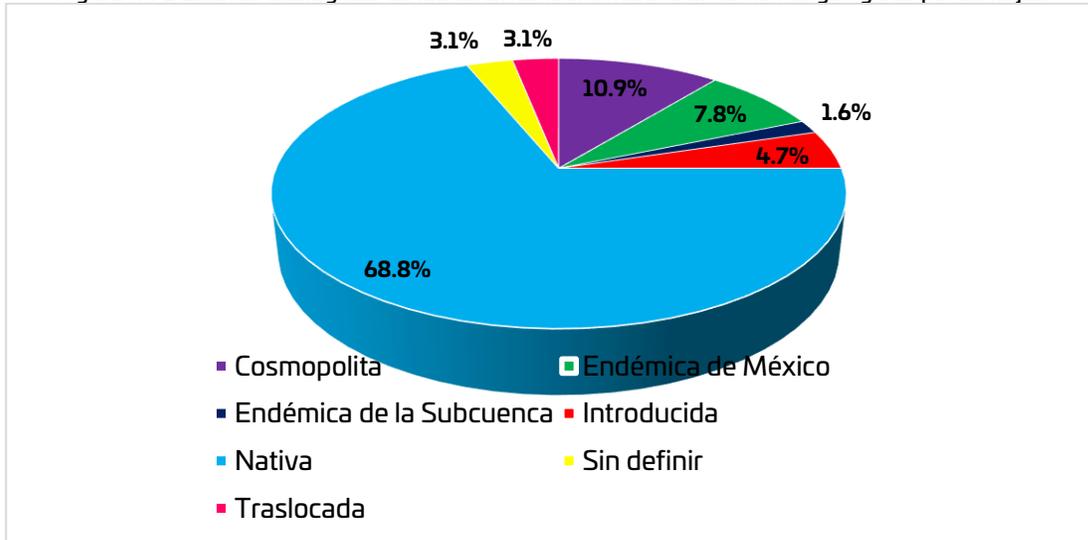
Como se observa en la Figura anterior, la mayoría de taxones corresponde con organismos aeroterrestres (aves e insectos), posteriormente están los acuáticos estrictos (peces y algunos insectos), le siguen los terrestres obligados, después con el mismo porcentaje los acuáticos y aeroterrestres (algunos insectos que presentan larvas acuáticas y adultos voladores) con los aeroterrestres y semiacuáticos (un pato y 3 garzas), continúan los semiacuáticos (una tortuga y una araña en este caso), y finalmente con el 2% acuáticos y semiacuáticos (una especie de rana) y aeroarboreo (un colibrí).

Comparando estos resultados con los obtenidos para el río Salado, en ambos la presencia de organismos aeroterrestres fue mayor, seguidos de los acuáticos, aunque en el Atoyac el tercer grupo de organismos fue el terrestre, mientras que en el río Salado fueron los acuáticos y aeroterrestres.

En la Figura 4.71, se indica lo referente al porcentaje de los estatus ecológicos identificados para los taxones del río Atoyac, como diferencia a los estatus mencionados para la fauna en el río Salado, ahora tenemos dos estatus adicionales:

- **Especies “traslocadas”:** en este caso se refiere a especies nativas de México pero que no son propias del río Atoyac, es decir, que fueron introducidas, pero sin ser especies exóticas (que provienen de otro país).
- **“Endémica de la Subcuenca”:** hace alusión a especies que son propias de la Subcuenca río Atoyac-Oaxaca de Juárez, es decir que no se encontrarán distribuidas en otros sitios del territorio nacional de manera natural, ni si quiera dentro del territorio estatal.

Figura 4.71 Estatus ecológicos de los taxones identificados en el río Atoyac y sus porcentajes.



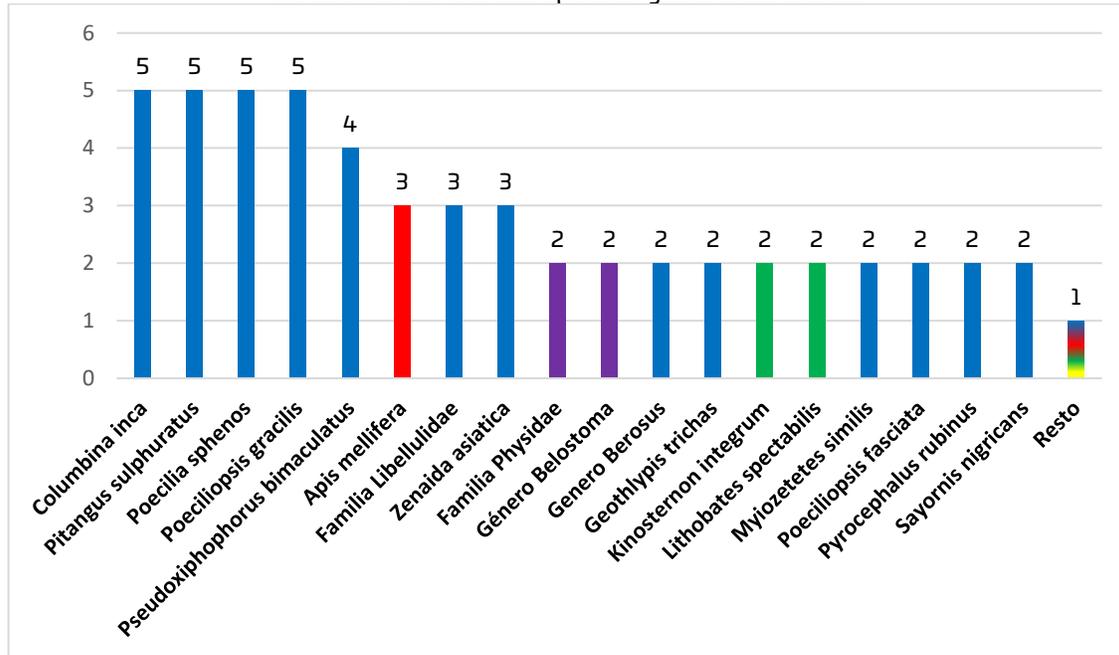
De acuerdo a la Figura anterior, podemos observar que la mayoría de taxones tienen un estatus “nativo” (68.8%), seguido del estatus “cosmopolita” (10.9%), posteriormente se encuentran los que tienen estatus “endémico” de México (7.8%), después “introducido” (4.7%), continúan con el mismo porcentaje los estatus “sin definir” y “traslocado” (3.1% cada uno), y por último el estatus “endémico de la subcuenca” Río Atoyac-Oaxaca de Juárez (1.6%).

Por lo que podemos ver la mayoría de los organismos identificados son propios del área de estudio, salvo *Iguana iguana* y *Xiphophorus hellerii* que, si bien son especies nativas, su área natural de distribución no corresponde con el Valle de Oaxaca, por lo que se incluyeron en el estatus “traslocada”, sin embargo, para el caso de la primera especie no se observó una población como tal, solamente un organismo aislado, mientras que para la segunda especie se observaron pequeñas poblaciones establecidas.

Se debe resaltar el hecho de que se encontró una especie endémica de la subcuenca, lo cual es sumamente importante, se trata del pez *Profundulus oaxacae* (escamudo o Killi oaxaqueño), el cual se observó con muy baja presencia, situación altamente preocupante ya que esta especie es propia de la subcuenca río Atoyac-Oaxaca de Juárez.

Continuando con el análisis de la información obtenida para las Zonas del Atoyac, en la siguiente figura se analiza lo referente a los taxones de fauna identificados y la cantidad de apariciones que tuvieron por sitios recorridos.

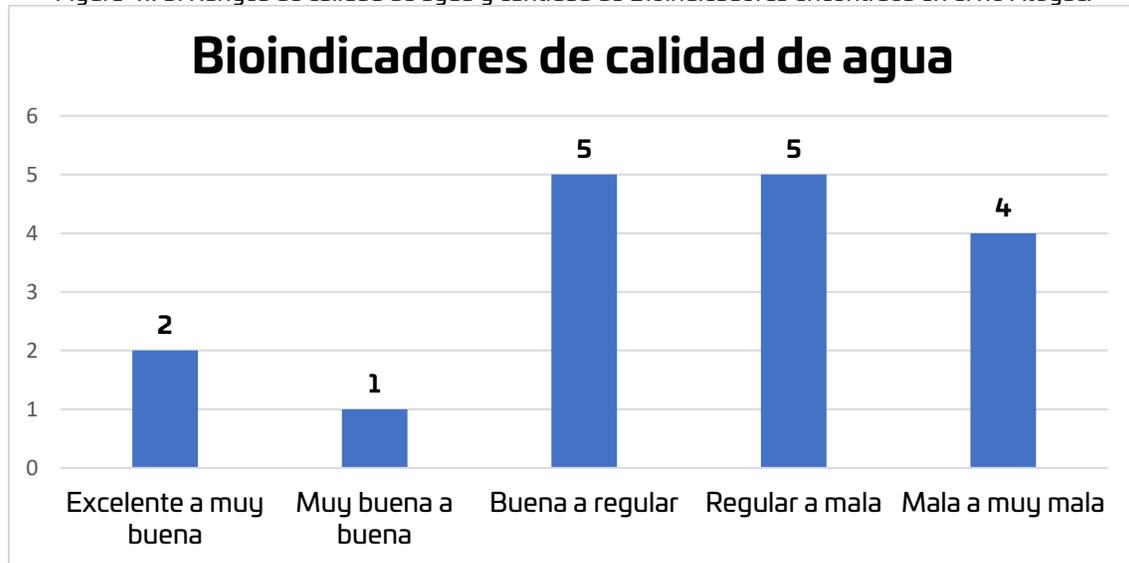
Figura 4.72. Cantidad de apariciones por sitio de los taxones identificados de fauna para el río Atoyac. En azul se indican los que son nativos, en rojo introducidos, en morado cosmopolitas, verde los endémicos de México y multicolor agrupa a todos los taxones con una sola aparición y diferentes estatus.



Analizando la información obtenida en la Figura anterior, tenemos que los taxones de mayor aparición en los puntos de recorrido del río Atoyac fueron 2 aves (*Columbina inca* y *Pitangus sulphuratus*) y 2 peces (*Poecilia sphenops* y *Poeciliopsis gracilis*) con 5 apariciones cada uno, posteriormente con 4 apariciones está otro pez nativo, continúan 2 insectos (uno introducido) y un ave, y de ahí siguen los taxones que tuvieron 2 y 1 aparición en total para todos los puntos recorridos o sitios de muestreo; como dato interesante se encontraron 2 especies endémicas de México (*Kinosternon integrum* y *Lithobates spectabilis*) las cuales aparecieron en 2 de los 10 puntos de recorrido.

En lo que respecta a bioindicadores, se identificaron 18 taxones que lo son, de los cuales 1 es aeroterrestre: *Columbina inca*, especie asociada a sitios degradados, mientras que 17 son taxones acuáticos, para lo cual en la siguiente Figura se plasman los rangos de calidad de agua y la cantidad de taxones relacionados para cada uno de ellos como se hizo para el río Salado.

Figura 4.73. Rangos de calidad de agua y cantidad de Bioindicadores encontrados en el río Atoyac.



Observando la información sobre los rangos de calidad de agua de la Figura anterior, se observa que en los rangos “buena a regular” y “regular a mala” hubo mayor presencia de Bioindicadores (5 en cada una), posteriormente en el rango “mala a muy mala”, seguido de la categoría “excelente a muy buena” y finalmente en el rango “muy buena a buena” con solo un bioindicador que corresponde al pez *Profundulus oaxacae*.

Analizando los datos del Cuadro anterior con los sitios o puntos de recorrido donde fueron observados los taxones considerados bioindicadores, tenemos que para el punto de San Pablo Huitzo hubo presencia de bioindicadores de excelente a mala calidad de agua, sin embargo hubo predominancia de los de buena calidad, para Magdalena Apasco hubo bioindicadores de regular a mala calidad, para San Lorenzo Cacaotepec se encontraron bioindicadores de buena a mala calidad aunque la predominancia fue de regular con tendencia a buena, en el caso de San Jacinto Amilpas los bioindicadores señalaron mala calidad, posteriormente de los puntos de Oaxaca de Juárez, Santa Cruz Xoxocotlán y los dos de San Bartolo Coyotepec no hubo indicios de fauna acuática, ni siquiera de bioindicadores de mala calidad, por lo que se puede asumir como muy mala calidad de agua, ya para el punto de Zimatlán de Álvarez hubo presencia de un bioindicador de mala calidad de agua (crustáceo del Género *Moina*), y en el punto del río tributario de Santa Cruz Mixtepec los bioindicadores fueron de buena y regular calidad de agua, por lo que de manera general se puede decir que en la parte alta del río Atoyac aún hay zonas con calidad de agua buena a regular y que conforme se acerca a la Ciudad de Oaxaca la calidad cambia a mala, y una vez atraviesa la Ciudad de Oaxaca y se une con el río Salado es de muy mala calidad de agua, volviéndose nuevamente mala kilómetros abajo y continúa mejorando gracias a los ríos tributarios que aún carecen de descargas de aguas residuales y aportan con caudal al río Atoyac.

Por último, respecto a las especies listadas en la NOM-059-SEMARNAT-2010 se encontraron 3 especies en la categoría “Sujetas a Protección Especial”: *Iguana iguana*, *Kinosternon integrum* y *Tachybaptus dominicus*, de las cuales como ya se mencionó la iguana no es propia del área de estudio, mientras que las otras dos si lo son, por lo que es importante que se brinde atención a este tema para propiciar mecanismos para su protección.

Hay una especie adicional, que, si bien no está listada en la Norma Oficial Mexicana, es endémica de la Subcuenca río Atoyac-Oaxaca de Juárez, el pez *Profundulus oaxacae*, el cual ya ha sido propuesto para

estar en la categoría “Amenazada” en el año 2004 y actualmente se considera debería estar en la categoría “En Peligro de Extinción” (Martínez *et al.*, 2004; Ortiz, 2015 y Ortiz, 2016), al respecto la presencia de este pez fue muy baja y únicamente se observó en los orígenes del Atoyac (San Pablo Huitzo), por lo que se debe prestar la atención debida a este aspecto, esta especie se puede considerar patrimonio biológico de la subcuenca y como tal del Valle de Oaxaca.

4.2.13.6. Análisis

El agua de los ríos Atoyac y Salado en los orígenes presenta un pH ligeramente alcalino (7,5 y 8,0 respectivamente) y se considera agua dura (213.6 y 142.4 mg/l CaCO₃ respectivamente), y una vez se presentan descargas de aguas residuales el pH se incrementa (pH máximos de 8,5 y 9,0), aunque se mantiene como ligeramente alcalino mientras que el agua se vuelve muy dura (623 mg/l CaCO₃ determinados hasta Oaxaca de Juárez en el Atoyac y 676.4 mg/l en Santa Cruz Amilpas para el Salado), presentándose los valores más elevados de dureza temporal en la parte baja del río Atoyac (41 dKH en Santa Cruz Xoxocotlán en la unión con el río Salado).

De acuerdo a la información analizada de flora y fauna, tenemos que para la Zona Río Salado durante los recorridos se identificaron 110 taxones para flora y 63 de fauna (173 total), mientras que para las Zonas Alto y Bajo Atoyac fueron 92 de flora y 64 de fauna (156 total), por lo que se encontró mayor biodiversidad en la Zona Río Salado, sin embargo, muchos taxones aparecieron en uno de los 8 sitios de recorrido únicamente, mientras que en las Zonas del Atoyac fueron más frecuentes de observar en 2 o más sitios de los 10 puntos recorridos; la dominancia de taxones introducidos fue mayor en la Zona Río Salado que el Atoyac (37 y 32 respectivamente).

Es importante mencionar que la mayor diversidad biológica en el Atoyac se observó en la parte alta, de San Pablo Huitzo (54 taxones entre flora y fauna) y San Jacinto Amilpas (43 taxones totales) que es el trayecto del río donde se observó flora y fauna acuática, mientras que a partir de Oaxaca de Juárez (14 taxones totales) se redujo drásticamente más del 50% respecto al primer punto, incrementándose ligeramente para Zimatlán de Álvarez (22 taxones totales) donde ya se presentó un taxón de fauna acuática; esto está relacionado con las alteraciones generadas por actividades humanas como limpieza de márgenes y menor tolerancia de diversas especies a agua con alta carga orgánica y dureza elevada como consecuencia de las descargas de aguas residuales.

Para la Zona Río Salado, la situación fue similar, la mayor biodiversidad se observó en la parte alta correspondiente a San Pablo Villa de Mitla arriba del poblado (48 taxones entre flora y fauna), abajo del poblado (32 taxones totales), y en Tlacolula de Matamoros que es donde se observó eutrofización por una presencia alta de carga orgánica por descarga de aguas residuales (59 taxones en total), pero donde aún fue posible observar flora y fauna acuática, posteriormente disminuye la biodiversidad drásticamente, pues para el siguiente punto correspondiente a San Juan Guelavía solo se observaron 17 taxones (65% menos respecto al primer punto y 71% respecto al anterior) y a partir de este punto ya no fue posible observar fauna acuática más que larvas de zancudos de la Familia Culicidae en las porciones donde solo había aguas residuales; flora acuática ya no fue observada.

La especie más abundante y dominante en ambos ríos es el carrizo (*Arundo donax*) considerada una especie introducida del tipo exótica invasora, seguida del chamizo (*Baccharis salicifolia*) y sauce colorado (*Salix humboldtiana*) las cuales son nativas, sin embargo, estos se encuentran en menor cantidad y distribuidos de manera irregular, además compiten por el espacio y recursos con la especie invasora, por lo cual se debe considerar la protección, producción y reforestación en las márgenes de los ríos de estas dos especies nativas, que además son tolerantes a las condiciones de salinidad y

contaminación por carga orgánica de los ríos, pudiendo adaptarse adecuadamente a las condiciones actuales de estos afluentes.

Conforme a la presencia de los bioindicadores descritos, se consideró que la calidad del agua en la Zona Río Salado, para la vida acuática, es principalmente mala a muy mala, excepto en sus orígenes, en el municipio de San Pablo Villa de Mitla donde su condición es buena antes del área urbana donde comienzan algunas descargas de aguas residuales domiciliarias.

De la misma manera, la calidad del agua indicada por bioindicadores en el río Atoyac es de buena a mala en la parte alta en algunos de sus tramos, y únicamente donde no se observan descargas directas de aguas residuales, bajando su calidad conforme se acerca a centros urbanos; mientras que en la parte baja es de mala a muy mala ya que solo hubo presencia de un bioindicador de mala calidad en el punto de Zimatlán de Álvarez, mientras que del punto de Oaxaca de Juárez a San Bartolo Coyotepec ni siquiera se observó fauna acuática.

Los resultados obtenidos concuerdan, en algunos puntos, con el trabajo hecho por Molina Gaytán y colaboradores, que muestrearon macroinvertebrados acuáticos en la subcuenca RH20AC Oaxaca de Juárez - Río Atoyac (en proceso de publicación), donde el trabajo de investigación tuvo como objetivo calibrar el índice BMWP, reconocido internacionalmente, para las condiciones de la subcuenca del río Atoyac. Mide el grado de contaminación orgánica del agua, con seis categorías de calidad de agua: muy mala, mala, regular, buena, muy buena, excelente calidad. Los resultados de este trabajo revelaron que en los 10 municipios muestreados a lo largo del río Atoyac, tanto en temporada de lluvia y secas, la calidad es mala o muy mala. También confirmó la hiperabundancia de vectores de enfermedades de la familia de insectos *Culicidae*, en zonas del río muy contaminados.

También se observó que la presencia de especies consideradas biorremediadoras, en tramos donde la calidad del agua permite el establecimiento de poblaciones acuáticas diversas aún en sitios impactados o contaminados, favorece la recuperación de la calidad del agua, tal es el caso del tule (*Typha domingensis*) como especie nativa y otras invasoras como el lirio sudamericano (*Pontederia crassipes*), por lo que se debe considerar la protección de las zonas donde exista presencia de la especie nativa, además de implementar proyectos enfocados a su propagación y ampliar su distribución en el cauce de los ríos Atoyac y Salado para la recuperación de los mismos.

Con la información recabada se debe prestar atención especial a la proliferación de mosquitos de la Familia *Culicidae* (subfamilia *Culicinae*) sobre todo en la Zona Río Salado (de Tlacolula de Matamoros a Santa Cruz Amilpas) y en la Zona Alto Atoyac desde San Jacinto Amilpas a Oaxaca de Juárez, y con la elevada contaminación hacia la Zona Bajo Atoyac prestar mucha precaución pues aunque no fueron observadas las larvas de estos zancudos en los recorridos para este trayecto, en base a lo observado en la Zona Río Salado se sabe que sí pueden presentarse en aguas residuales; la Familia *Culicidae* y su subfamilia *Culicinae* contienen Géneros identificados como vectores de enfermedades virales que representan un riesgo importante a la salud pública, es necesario realizar un estudio más detallado para identificar la o las especies y su potencial como vectores biológicos, pues con las condiciones actuales de estos ríos han encontrado nichos de proliferación y existe el riesgo de que se incrementen los casos de enfermedades virales transmitidas por este grupo de organismos, si la o las especies presentan esta capacidad de vectores.

Es de suma importancia señalar, que en los puntos de recorrido de los ríos Atoyac y Salado donde aún existe presencia de fauna acuática no se observaron elevadas concentraciones de larvas de mosquitos, ya que los peces y algunos insectos acuáticos son controladores biológicos de estos organismos, por lo que deben protegerse estos animales que son benéficos a la salud pública al evitar la proliferación de otros que sí resultan perjudiciales.

En el río Salado se identificó únicamente una especie listada en la NOM-059-SEMARNAT-2010, la tortuga *Kinosternon integrum* bajo la categoría “Sujeta a Protección Especial” en el sitio recorrido de Tlacolula de Matamoros, donde además se encuentra la transición entre la presencia y ausencia de flora y fauna acuática tradicional. En esto punto se observaron diversas especies acuáticas del tipo palustre, así como la mayor biodiversidad de flora y fauna del río Salado.

En el río Atoyac se identificaron 3 especies listadas en la NOM-059-SEMARNAT-2010, en la categoría “Sujeta a Protección Especial”, tratándose de un ave (*Tachybaptus dominicus*) y dos reptiles (*Iguana iguana* y *Kinosternon integrum*), de los cuales la iguana no es propia del Valle de Oaxaca por lo que se considera fue liberada intencionalmente o escapó de alguna vivienda cercana donde probablemente la tenían como mascota, las otras dos especies fueron observadas en San Lorenzo Cacaotepec.

Se encontró una especie considerada endémica de la Subcuenca río Atoyac-Oaxaca de Juárez, el pez *Profundulus oaxacae*, en muy baja presencia en el punto de recorrido de San Pablo Huitzo, dicha especie ya ha sido propuesta para estar en la NOM-059-SEMARNAT-2010 en las categorías “Amenazada” y “En Peligro de Extinción”, por lo que se debe prestar atención a este punto y considerar la protección de esta y otras zonas que conformen la Subcuenca Río Atoyac-Oaxaca de Juárez en donde aún se encuentre, para la preservación de la única especie endémica de la Subcuenca y que puede ser considerada patrimonio biológico del Valle de Oaxaca.

Es importante prestar atención a las áreas donde se detectó presencia de plantas parásitas y semiparásitas que afectan al sauce colorado tanto en el río Salado como Atoyac (Santa Cruz Amilpas y San Bartolo Coyotepec principalmente).

Se deben promover viveros municipales para la producción de plantas nativas de los ríos Atoyac y Salado, las cuales se han adaptado a las condiciones actuales de contaminación, tal es el caso del sauce colorado y chamizo que forman parte del Bosque y/o vegetación de Galería, así como de plantas acuáticas nativas que ayudan a eliminar carga orgánica y otros contaminantes del agua como el tule (*Typha domingensis*), para así permitir en parte la restauración ecológica de los ríos y ayudar a su saneamiento mediante técnicas naturales y a su vez realizar la conservación de la biodiversidad propia de los ríos.

Para las acciones de reforestación en los márgenes de los ríos Atoyac y Salado, también se debe considerar un control del carrizo (*Arundo donax*) para permitir que se establezcan con éxito las especies nativas que se utilizarán para la reforestación.

4.2.14. Áreas potenciales de infiltración en las zonas de estudio

Derivado del análisis realizado en el área de estudio a través del SIG y el resto de la información consultada y generada se identificaron las áreas con los mayores potenciales de infiltración de agua.

El Acuífero Valles Centrales abastece a una de las regiones más importantes del Estado de Oaxaca y es la región con serios problemas económicos, ambientales y sociales por la intensa explotación del recurso, con abatimientos a razón de 0.33 m³/año, a causa de una tendencia en crecimiento de la demanda de agua en el corto plazo y de decrecimiento de la disponibilidad, la desorganización de usuarios, la falta de funcionalidad de la administración (UACH, 2010) y la falta de obras y acciones que favorezcan su recarga.

Como parte de las evaluaciones generadas en el área de estudio, se determinaron áreas potenciales para la infiltración para las tres zonas, para ello se usó la metodología desarrollada por Martínez *et al.* En coordinación con la y la Comisión de Cuenca de los Ríos Atoyac y Salado (CCRAYS) en el 2019.

Esta toma en cuenta aspectos los físicos de la zona, tales como la pendiente, la geología, los tipos suelo y texturas, la vegetación y el tipo de uso de suelo; y una matriz de valores para cada uno de estos aspectos. El resultado de aplicar la metodología fue el de ubicar áreas en las que se apreció de mejor manera el potencial de infiltración por zona de estudio. Para poder diferenciarlas aún mejor en la cartografía se le dio la siguiente simbología:

Azul fuerte: zonas con potencial de infiltración alto

Azul cielo: zonas con potencial de infiltración medio

Amarillo: zonas con potencial de infiltración bajo

Naranja: zonas con potencial de infiltración muy bajo

Rojo: zonas no aptas para infiltración

4.2.14.1 Resultados

Con la metodología aplicada se obtuvieron los siguientes resultados para potencial de infiltración por zona de estudio:

Zona Alto Atoyac: para esta zona de estudio, las zonas de potencial de infiltración alto y medio se encuentra en la parte central, en los municipios de Santiago Suchilquitongo, San Juan del Estado, Magdalena Apasco, Reyes ETLA, San Juan Bautista Guelache, Villa de ETLA, San Agustín ETLA, Soledad ETLA, Guadalupe ETLA San Pablo ETLA, Nazareno ETLA, Oaxaca de Juárez, Santa María Atzompa, San Felipe Tejalápam, San Lorenzo Cacaotepec, Santo Tomás Mazaltepec San Andrés Zautla y San Pedro Ixtlahuaca.

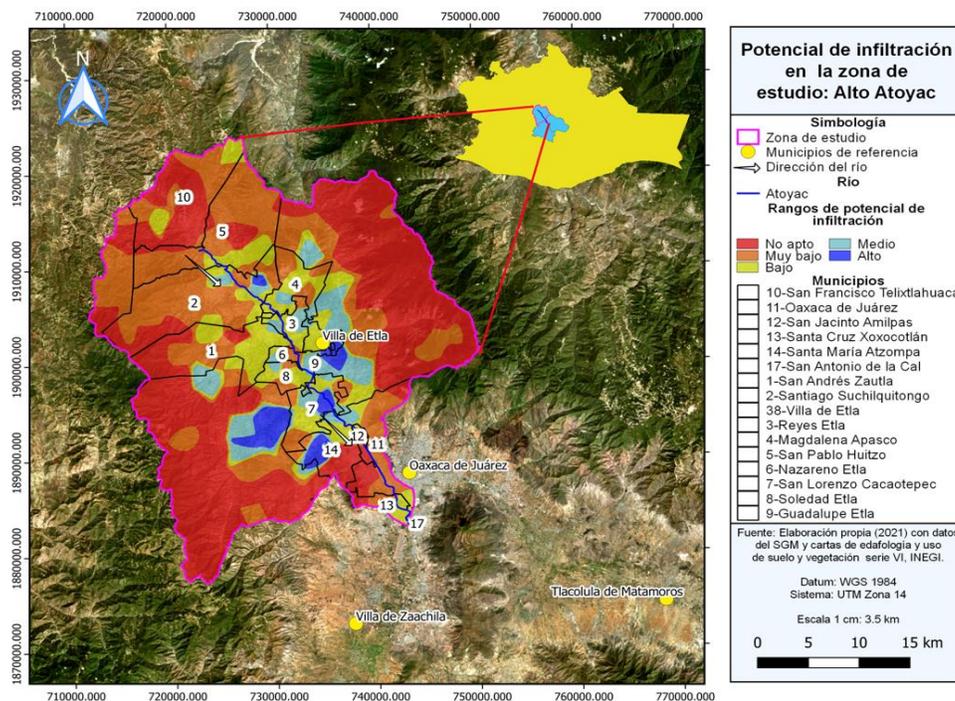
En cuanto a la vegetación presente para estas zonas con alto y medio potencial de infiltración, se encontró que la mayor parte, en la zona centro, está ocupada por cultivos de riego, debido a que se tiene una cobertura de suelo que está presente casi todo el año, y con un riego constante, mantiene la capacidad de retener e infiltrar agua al suelo. Para las partes más alejadas el tipo de vegetación es de tipo secundaria arbustiva de encino, esto quiere decir que hay presencia de encinos en estrato arbustivo sin sobrepasar los dos metros de altura. Cabe mencionar que el encino es una especie que logra retener el agua en el suelo, facilitando la infiltración.

Para las zonas con un potencial de infiltración bajo se determinó que se concentran en áreas con pendientes que van de un 11 a 22%. En cuanto a la vegetación se observaron manchones pertenecientes al tipo secundario arbustivo de bosque de encino-pino.

Las zonas con un muy bajo y no apto potencial para la infiltración abarcan gran parte de la zona de estudio. Como primera característica, se observó que el porcentaje de pendiente en el que se encuentran son mayores al 22%, debido al sistema montañoso presente en la zona. En cuanto a la vegetación se encontró que en estas zonas predomina la vegetación arbórea y arbustiva de pino, pino-encino, encino y encino-pino; y una fracción de selva baja caducifolia. En el caso de uso de suelo se encuentran asentamientos humanos y manchones de agricultura de temporada.

Si bien las características de suelo y vegetación son idóneas para tener una infiltración considerable, la presencia de pendientes pronunciadas influye en la formación de escorrentía superficial en lugar de favorecer la infiltración. Aun así, la Zona Alto Atoyac es la que más agua retiene e infiltra al acuífero, a comparación de las otras dos zonas de estudio. Esto podría deberse a que las zonas con potencial de infiltración son mayores, aun considerando que es la zona con un área menor de las tres delimitadas.

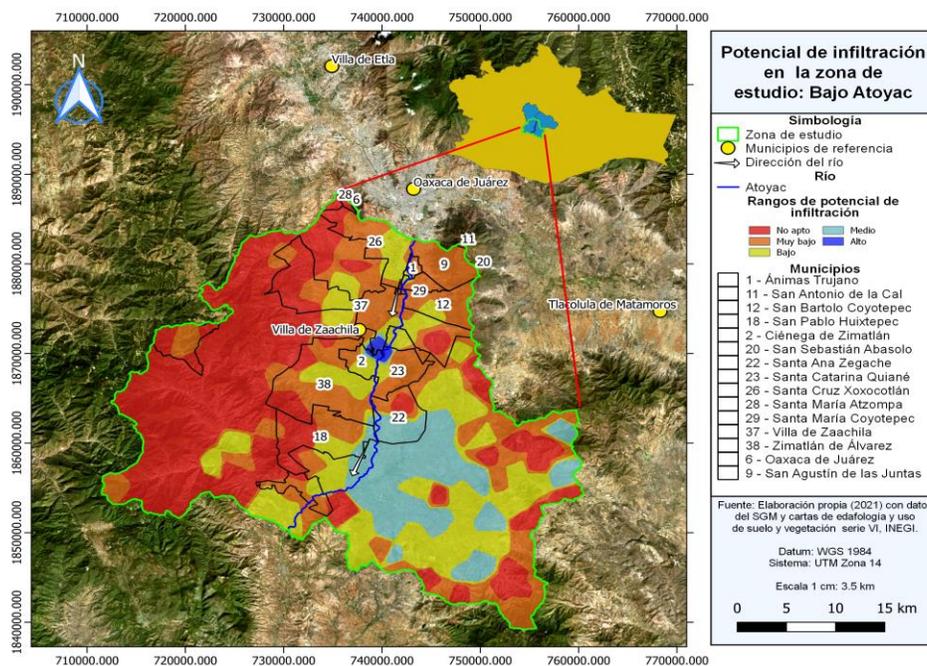
Figura 4.74. Áreas con potencial de infiltración en la Zona de estudio Alto Atoyac.



Zona Bajo Atoyac: para esta zona de estudio, las áreas con alto y medio potencial de infiltración se concentran en los municipios de Villa de Zaachila, Ciénega de Zimatlán, Santa Catarina Quiané, Santa Ana Zegache, Santiago Apóstol, Ocotlán de Morelos, San Pedro Apóstol, Heroica Ciudad de Ejutla de Crespo, San Antonino Castillo Velasco, San José del Progreso, San Pedro Mártir, San Miguel Tilquiápam, Santa Inés Yatzeche, en la parte central y sureste. Sin embargo, comparando con las otras dos zonas, esta solo presenta una pequeña zona de potencial alto para infiltración. En cuanto a sus características, estas zonas se encuentran en pendientes menores al 11%. En cuanto a la vegetación, se encontró que no hay presencia de ello, más bien casi toda la zona del valle de la subcuenca se encuentra cubierta por zonas de cultivos y asentamientos humanos, esto puede ocasionar un desgaste del suelo y hacer que pierda su capacidad de infiltración. Solo para la pequeña zona con potencial alto, y otras dos en potencial medio, el uso agrícola es de cultivo de riego, en esos terrenos es posible mantener la capacidad de infiltrar agua.

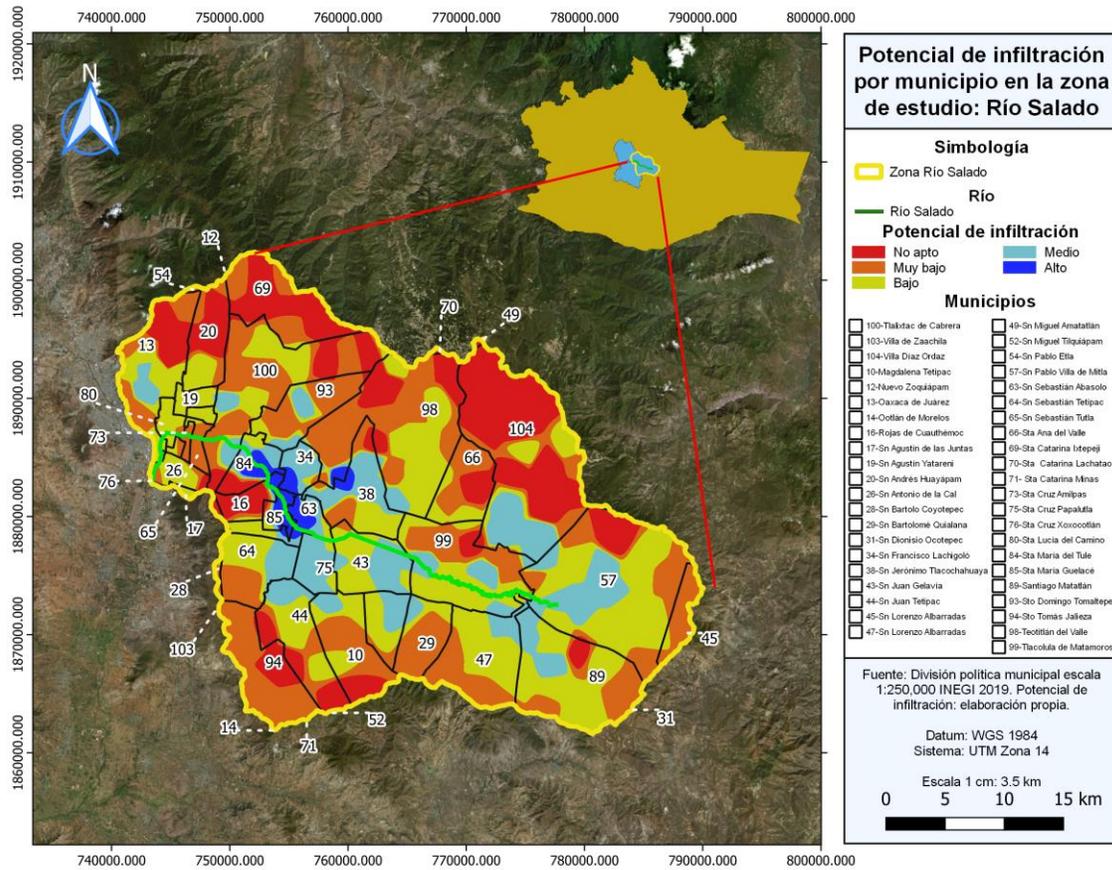
Para las zonas con un potencial bajo de infiltración se encontró que la pendiente va de 11% al 22%. El uso de suelo, que en su mayoría es agricultura de temporada y el establecimiento y expansión de asentamientos humanos, hacen que dicho potencial baje. Por último, para las zonas con muy bajo y no apto potencial de infiltración se determinó con la cartografía que ocupan un aproximado del 50% del área de la zona de estudio. La pendiente media en estas zonas va de 22% y hasta mayores a 41%. En cuanto a la vegetación se encontró tanto bosque de encino, encino-pino y pino-encino, como pastizales. Dicha vegetación boscosa pertenece a aquella que tiene la capacidad de retener y propiciar la infiltración de agua, pero por las condiciones de pendiente y tipo de suelo este proceso disminuye. De igual manera se ve un incremento considerable, comparando cartas de vegetación pasadas, en las zonas agrícolas. Esta remoción de vegetación puede traer como consecuencia el propiciar la erosión hídrica.

Figura 4.75. Áreas con potencial de infiltración en la Zona de estudio Bajo Atoyac.



Zona Río Salado: se obtuvo que las zonas de alto y medio potencial de infiltración se encuentran principalmente en la parte central de la zona de estudio, en los municipios de Rojas de Cuauhtémoc, San Bartolomé Quijalana, San Francisco Lachigoló, San Jerónimo Tlacoahuaya, San Juan Guelavía, San Juan Tetipac, San Sebastián Abasco, Oaxaca de Juárez, San Pablo Villa de Mitla, Santiago Matatlán, San Lorenzo Albarradas, San Sebastián Teitipac, Santa María del Tule, Santa María Guelacé, Teotitlán del Valle, Tlaxiact de Cabrera y Villa Díaz Ordaz. En cuanto a la pendiente, casi toda la parte central de la zona presenta pendientes no mayores al 7%, lo que causa que disminuya el escurrimiento y el agua pueda retenerse con más facilidad e infiltrarse al subsuelo. En cuanto al uso de suelo y vegetación presente en estas zonas de mayor potencial de infiltración, en su mayoría se trata de zonas de agricultura de riego y una pequeña parte de pastizales. Al haber cobertura en estas zonas, por los cultivos de riego propicia a que estos suelos puedan mantener su capacidad de infiltrar agua al suelo y no compactarse o erosionarse.

Figura 4.76. Áreas con potencial de infiltración en la Zona de estudio Río Salado.



Las zonas con potencial muy bajo o no apto para infiltración, se concentran en las partes montañosas de la zona de estudio. Pese a que en estas zonas hay mayor presencia de vegetación que en las otras, lo que a primera vista podría interpretarse a que facilitaría la infiltración, no es así debido a los otros factores ya mencionados. En primer punto las pendientes superan el 22%, lo cual favorece a los escurrimientos superficiales.

Para el análisis de los municipios que forman parte de este diagnóstico, se generó el siguiente cuadro donde se indica, por cada municipio, la clasificación de su territorio en base al potencial de infiltración.

Cuadro 4.41. Clasificación del territorio para los 38 municipios del diagnóstico por potencial de infiltración (calculado al 2016).

Municipio	Área total del municipio (km ²)	Superficie por Zona de infiltración por municipio (km ²)					Zona urbana (km ²)
		Alto	Medio	Bajo	Muy bajo	No apto	
Alto Atoyac							
Guadalupe Etla	4.283	0.9106	2.0723	0.7515	0.5485		0.0001
Magdalena Apasco	26.970		2.5121	10.7700	9.7266		3.9613
Nazareno Etla	4.284		1.1798	1.0648	1.0324		1.007
Reyes Etla	11.970		3.3143	6.2311	1.1179		1.3067
San Andrés Zautla	61.713		2.1622	22.5506	17.4885	19.5091	0.0026

Municipio Área total del municipio (km ²)	Superficie por Zona de infiltración por municipio (km ²)					Zona urbana (km ²)	
	Alto	Medio	Bajo	Muy bajo	No apto		
San Francisco Telixtlahuaca	73.519			8.6248	24.8998	37.9723	2.0221
San Jacinto Amilpas	4.156			0.0381	0.3196	0.6576	3.1407
San Lorenzo Cacaotepec	27.604	3.5438	5.3951	9.2852	7.2543		2.1256
San Pablo Huitzo	84.631	0.0327	0.058	11.185	58.4503	12.6974	2.2076
Santa María Atzompa	31.300	5.8772	3.3653	4.0818	2.5396	9.0288	6.4073
Santiago Suchilquitongo	93.778	1.0838	2.4904	12.6958	57.7156	14.5895	5.2029
Soledad Etla	12.470		1.5495	7.0933	2.2539		1.5733
Villa de Etla	8.248	1.1094	1.7979	3.4561			1.8846
Bajo Atoyac							
Ánimas trujano	3.020			0.7714	1.3169		0.9317
Ciénega de Zimatlán	10.267	1.2672	0.4845	3.6837	2.7937		2.0379
San Agustín de las Juntas	25.987			0.6837	21.537	0.5076	3.2587
San Bartolo Coyotepec	31.366	0.1942	0.087	7.425	19.8582		3.8016
San Pablo Huixtepec	43.302		3.3201	7.6282	12.3353	17.0549	2.9635
Santa Ana Zegache	26.802		13.5951	1.6928	5.9508	4.3315	1.2318
Santa Catarina Quiané	20.678	1.2821	0.4912	2.2848	15.715		0.9049
Santa Cruz Xoxocotlán	43.860			7.3015	8.3042	6.5656	21.6887
Santa María Coyotepec	6.539			0.7628	3.525		2.2512
Villa de Zaachila	81.423	1.9762	0.5014	13.3022	27.9702	21.7879	15.8851
Zimatlán de Álvarez	101.054		0.6517	17.3706	49.6764	27.8964	5.4589
Río Salado							
Oaxaca de Juárez	89.525		1.4767	7.1958	16.8884	21.3473	42.6168
Rojas de Cuauhtémoc	12.458	1.5882	0.1238	0.4751	2.2846	6.9495	1.0368
San Antonio de la Cal	11.001			4.239	3.1871	0.1666	3.4083
San Juan Guelavía	31.763		13.2235	16.9152	0.8193		0.805
San Pablo villa de Mitla	124.839		24.0047	58.7665	27.2214	11.6844	3.162
San Sebastián Abasolo	15.369	4.8634	4.8704	4.0535	1.059		0.5227
San Sebastián Tutla	7.329			0.4401	3.8184	0.0474	3.0231
Santa Cruz Amilpas	2.274				0.5358		1.7382
Santa Cruz Papalutla	14.773	0.0148	12.2298	1.7244			0.804
Santa Lucía de Camino	9.437			1.2107	0.2634		7.9629
Santa María del Tule	16.802	4.8694	5.3711	1.1565	0.6029	3.6846	1.1175
Santa María Guelacé	7.378	4.8673	0.7044	1.0276	0.4152	0.2986	0.0649
Tlacolula de Matamoros	82.224		17.3966	36.6782	19.4538	2.903	5.7924
Tlaxiaco de Cabrera	81.507		4.0718	20.614	37.9907	14.5842	4.2463

*El área de los municipios está descrito en relación a su ocupación dentro del área de estudio, muchos entran por completo, y otros en fracciones.

Para el desarrollo del Plan Integral se considera definir zonas destinadas para el establecimiento de ADVC con el objetivo de proteger y manejar áreas con cobertura vegetal, así como las áreas con potenciales de infiltración de agua al acuífero de Valles Centrales. Con esta medida se contribuiría a la recuperación de la conectividad ecológica en los sitios que se proponen conservar y de los Servicios Ambientales que benefician a la población.

La matriz desarrollada por GET considera en sus ejes II. Manejo Integrado de Cuenca, V. Normatividad ambiental, VI. Rehabilitación de cauces de ríos y riberas, y VII. Inspección y vigilancia, líneas estratégicas y actividades que permitan proteger, mantener y si es posible, incrementar las áreas boscosas, que proveen de servicios ecosistémicos a la subcuenca RH20Ac, generar mecanismos para propiciar el ordenamiento territorial. Estos puntos se retoman en el Plan Integral considerando además la delimitación de zonas con potencial de infiltración para la recarga del acuífero de Valles Centrales.

4.2.15. Edafología

El suelo es la capa más superficial de la corteza terrestre derivado de la roca madre o material parental transformada por efecto de los factores ambientales y procesos que le proporcionan propiedades y morfología específicas.

Los factores que intervienen en la génesis del suelo son diversos, como el clima, geomorfología, factores bióticos, material original y tiempo, generando un sistema abierto con tendencia hacia un equilibrio dinámico acumulando y reciclando materia y energía a través del tiempo.

Es el principal soporte de la vegetación, la infraestructura y el hábitat de la biodiversidad. Participa de manera esencial en el funcionamiento de cualquier ecosistema y tiene un papel muy importante en el ciclo hidrológico por su capacidad para almacenar agua, llamada agua verde (SEMARNAT, 2018).

Chinchilla *et al.*, (2011) mencionan que los factores formadores de suelo son agentes, fuerzas, condiciones o combinación de éstos, que actúan sobre un material original para transformarlo en suelo, reconociendo: material parental, relieve, clima, organismos, tiempo.

La diversidad de los suelos a nivel de Región de Valles Centrales de Oaxaca, en donde se encuentra inmersa el área de estudio, es alta; Vásquez (2018) menciona que la región presenta 10 de 32 grupos de suelo reconocidos por la Internacional Base Referencial Mundial del Recurso Suelo (WRB). Los grupos de suelo predominantes son: acrisoles, cambisoles, fluvisoles, kastañozems, leptosoles, luvisoles, phaeozems, regosoles, umbrisoles y vertisoles. Cada uno de éstos tiene una morfología específica generada en función de los factores que los formaron. De estos 10 grupos mencionados por Vásquez existen ocho tipos en el área de estudio. Los luvisoles, regosoles y cambisoles están asociados a bosques de coníferas, ver el siguiente cuadro.

Cuadro 4.42. Tipos y características generales de los suelos presentes en el área de estudio.

Tipo de suelo	Características
Acrisoles	Suelos desarrollados principalmente sobre productos de alteración de rocas ácidas, con elevados niveles de arcillas muy alteradas, las cuales pueden sufrir posteriores degradaciones.
Cambisoles	Suelos de color intenso por la acumulación de arcillas y óxidos de hierro, con mediano contenido de materia orgánica y sin sales.
Fluvisoles	Suelos asociados con material aluvial generalmente distribuidos dentro de los valles o zonas de inundación de los ríos.
Leptosoles	Suelos someros y pedregosos que pueden tener roca continua en o muy cerca de la superficie. Son los suelos de mayor distribución se encuentran en todos los tipos de climas y son particularmente comunes en las zonas montañosas y en planicies calizas superficiales.

Tipo de suelo	Características
Luvisoles	Suelos que predominan en áreas de relieves montañosos, ondulados y de mesetas, de fertilidad media, presentan buen drenaje. Resultan de la acumulación de arcillas derivadas de horizontes superiores y de ahí su característico color rojizo. Presentan alta susceptibilidad a la erosión. Su mayor potencialidad es el uso silvícola.
Phaeozems	Suelos porosos de color oscuro con alto contenido de materia orgánica. Se encuentran en climas templados y húmedos con vegetación natural de pastos altos o bosques.
Regosoles	Suelos desarrollados sobre materiales poco consolidados, generalmente muy alterados y con una escasa evolución. Son comunes en zonas áridas, en los trópicos secos y regiones montañosas.
Vertisoles	Suelos con media a alta fertilidad, de textura arcillosa. Presentan problemas de drenaje y con tendencia a la salinidad. Cuando están secos se agrietan y cuando están húmedos son plásticos y pegajosos, lo cual presenta problemas para el manejo agrícola y riesgos a las construcciones debido a asentamientos diferenciales.

Los fluvisoles, phaeozems, acrisoles y vertisoles, son menos abundantes y se asocian con bosque de encino y selva caducifolia. Los suelos con uso agrícolas son principalmente vertisoles y en menor medida fluvisoles.

Dentro del área de estudio, los tipos de suelo de menor extensión son el fluvisol cubriendo el 2.35% y el phaeozem con 3.83%. El suelo de mayor extensión es el regosol y el luvisol que cubre un 23.54% y los más abundantes en área son los luvisoles, regosoles y cambisoles.

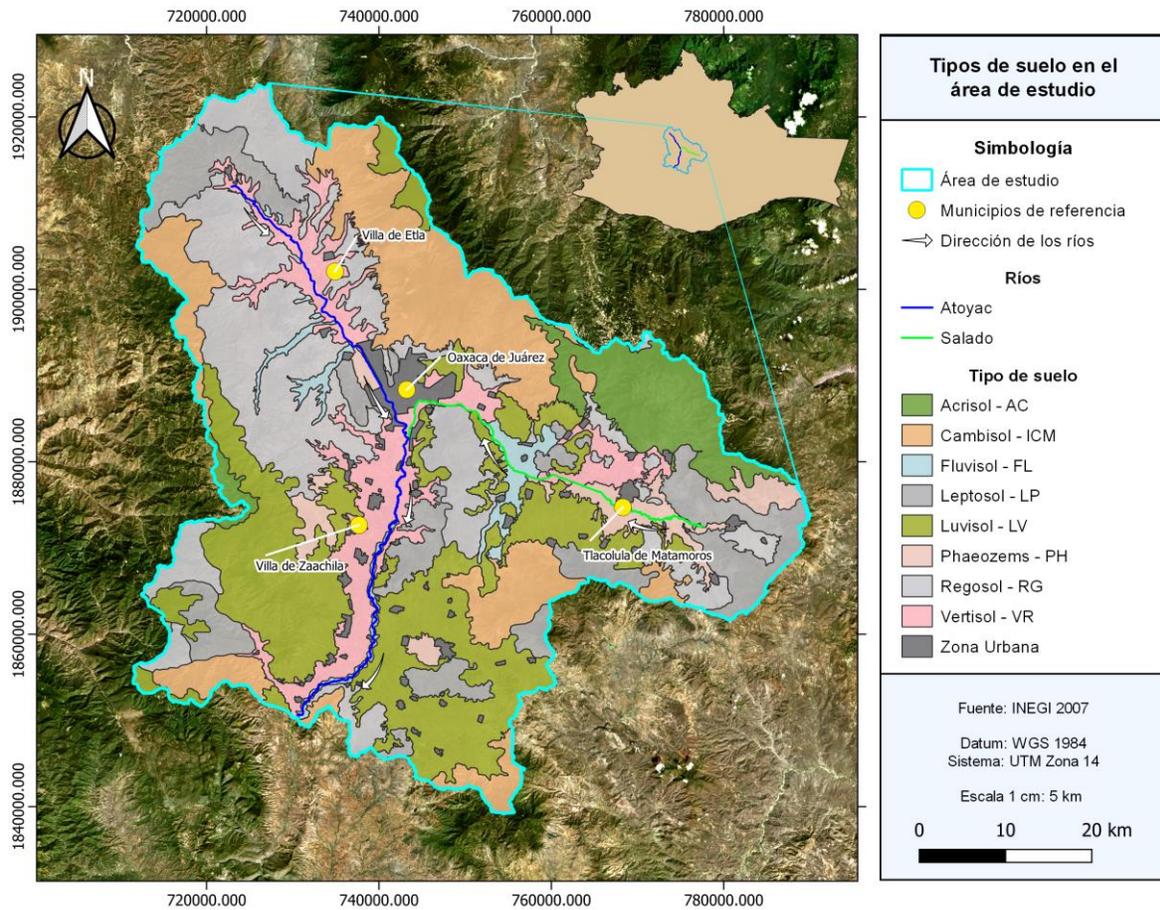
Los suelos predominantes en las sierras y montañas son: acrisoles, luvisoles, cambisoles, phaeozems, y leptosoles. Los acrisoles se localizan en la parte este de las sierras y montañas en el Distrito de Tlacolula. Los luvisoles se encuentran ampliamente distribuidos en la región predominando en sierras y montañas, y en menor medida, en premontañas y lomeríos, así como en cuencas y llanuras. Coinciden con diferentes tipos de roca ígneas sedimentarias y metamórficas.

Los cambisoles se encuentran en lomeríos y premontañas asociados con bosque de encino, sobre gneiss y cataclasita.

Los phaeozems se ubican en una altitud de 800 a 1,800 msnm, se han desarrollado bajo bosques de encino en sierras y montañas, premontañas, lomeríos y cuencas sedimentarias.

En las cuencas sedimentarias y llanuras predominan vertisoles y fluvisoles. En la región, se presentan en pendientes menores del 1% y predominan en las llanuras sedimentarias y/o planicies acumulativas de origen lacustres, en los Distritos de Zaachila y Zimatlán como se aprecia en la siguiente Figura.

Figura 4.77. Tipos de suelo en el área de estudio.

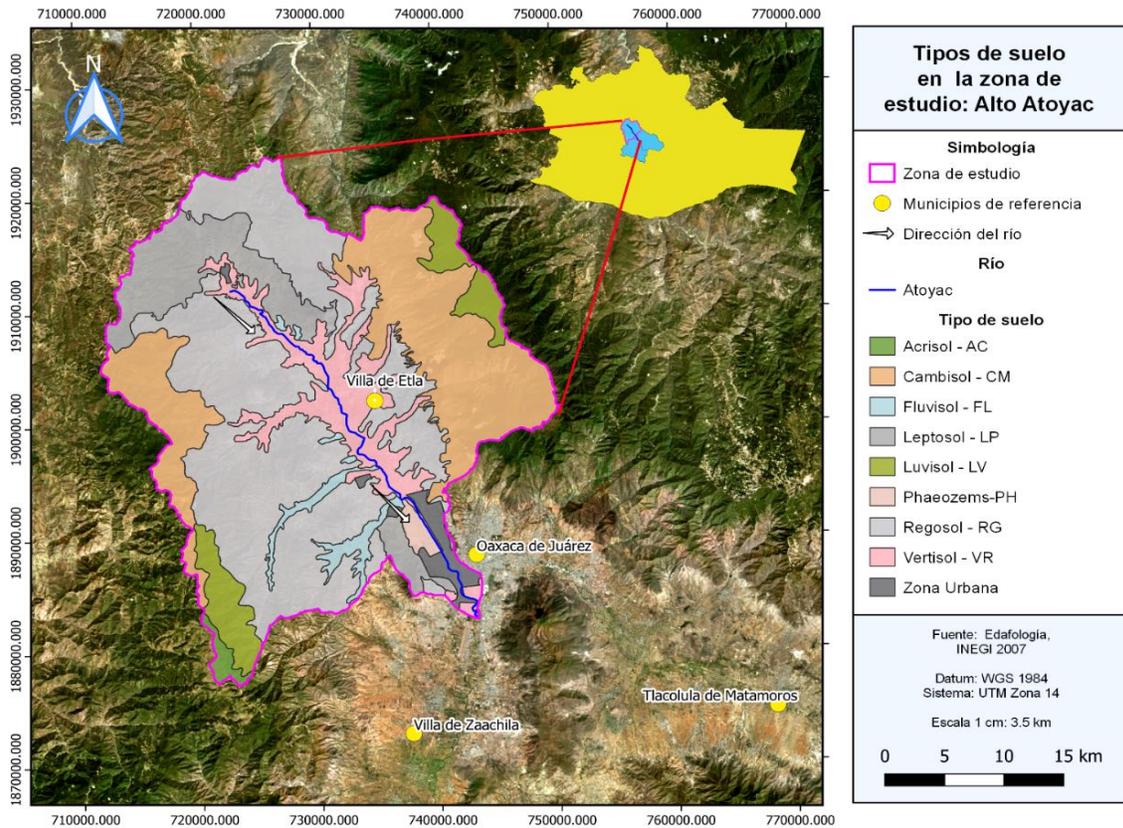


4.2.15.1. Tipos de suelo en Zona de estudio Alto Atoyac

Los diferentes suelos van alineados de forma longitudinal conforme al curso del afluente del Río Atoyac (Figura 4.78). El Acrisol se observa en una mínima porción en el límite de la parte sur-oeste de la zona de estudio. El Cambisol se presenta en los lados este y oeste, en mayor proporción del lado este. El fluvisol presente en la parte superior de la zona de estudio en pequeños parches y en la porción sur, en ésta parte aparecen unas franjas perpendiculares al flujo del río. El leptosol situado en la parte superior de la zona de estudio. El luvisol presente en los lados este y oeste en pequeñas porciones. El phaeozem está presente en la porción sur cerca del límite de la zona de estudio. El regosol es el de mayor extensión, prácticamente está distribuido en toda la zona de estudio de forma a lo largo y ancho del afluente. El vertisol está presente a lo largo del afluente en la porción central de la Zona de estudio Alto Atoyac, el afluente avanza sobre phaeozems, atraviesa la zona urbanizada y vuelve a estar presente en la porción límite con la Zona de estudio Bajo Atoyac el vertisol.

La zona urbana se presenta en pequeñas porciones en la parte alta, en la parte central y en mayor extensión en la parte sur en el límite de la zona de estudio correspondiente a la zona de mayor urbanización.

Figura 4.78. Tipos de suelo en la zona de estudio Alto Atoyac.



El tipo de suelo con menor área en el Alto Atoyac es el acrisol y el phaeozem, tienen prácticamente la misma proporción 0.79% y 0.83% respectivamente. El regosol es el tipo de suelo con mayor área, ocupando cerca de la mitad del territorio de la zona de estudio con un 41.79% como se aprecia en el siguiente cuadro.

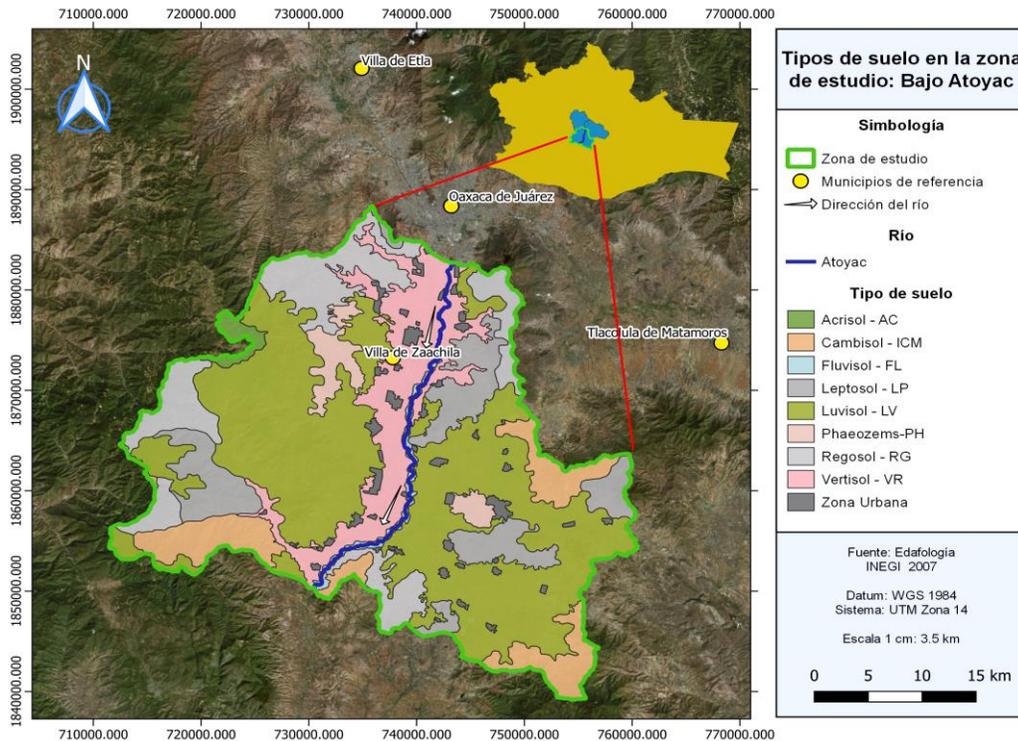
Cuadro 4.43. Tipos de suelo presentes en la Zona de estudio Alto Atoyac.

Tipo de suelo	Superficie (km ²)	Porcentaje en relación a la zona de estudio (%)
Acrisoles	8.25	0.79
Phaeozems	8.69	0.83
Zona urbana	22.66	2.18
Fluvisoles	24.44	2.35
Luvisoles	62.56	6.01
Vertisoles	109.78	10.55
Leptosoles	109.82	10.55
Cambisoles	259.55	24.94
Regosoles	434.96	41.79
Total	1,040.72	100

4.2.15.2. Tipos de suelo en Zona de estudio Bajo Atoyac

En esta zona los diferentes tipos de suelos presentan una distribución de mayor heterogeneidad. Los suelos de menor presencia son el acrisol, fluvisol y el phaeozem. En siguiente orden se presentan el cambisol, leptosol, vertisol y regosol. Finalmente, el luvisol aparece cubriendo cerca de la mitad del área total de la zona de estudio como se aprecia en la siguiente Figura.

Figura 4.79. Tipos de suelo en la Zona de estudio Bajo Atoyac.



El vertisol es uno de los suelos que está alineado con uno de los márgenes del curso del afluente en un sentido norte-sur de la zona de estudio. Hacia ambos lados del Río Atoyac se presentan áreas extensas de luvisol, el cual se distribuye a lo largo y ancho en gran parte, cerca de la mitad, del área total del Bajo Atoyac con un 45.67%. El acrisol es el suelo con menor presencia, menos del 1% del total, se encuentra sólo en una pequeña porción del lado noroeste de la zona. El fluvisol que también es de los de menor área, con 1.32%, se encuentra alineado casi por completo al curso del afluente. La zona urbana ocupa un 2.52% del área de la zona con parches distribuidos a lo largo del afluente sobre el suelo de vertisol y en la porción este del área de forma desperdigada sobre suelo de luvisol. Aparecen unos fragmentos de phaeozems de manera aislada a cada lado del afluente. El cambisol, con un área del 9.59% del área total, se encuentra en tres porciones en el lado este del afluente, una en el límite este de la zona de estudio, otra en el límite sur y cerca al margen del río. Se observa otra porción al margen del río cerca del límite sur-oeste de la zona de estudio. Leptosol 11.10% tres porciones aisladas al lado este del río y una porción del lado oeste, cercana al límite de la zona de estudio. Regosol 13.38% aparece hacia el norte de la zona de estudio colindando con el límite de la zona de estudio, otra porción se observa en la porción oeste de igual manera junto al límite de la zona de estudio y otra porción al margen este del afluente, una parte de esta porción sobre el afluente y el resto en el límite de la zona de estudio en la porción sur, como se aprecia en el siguiente Cuadro.

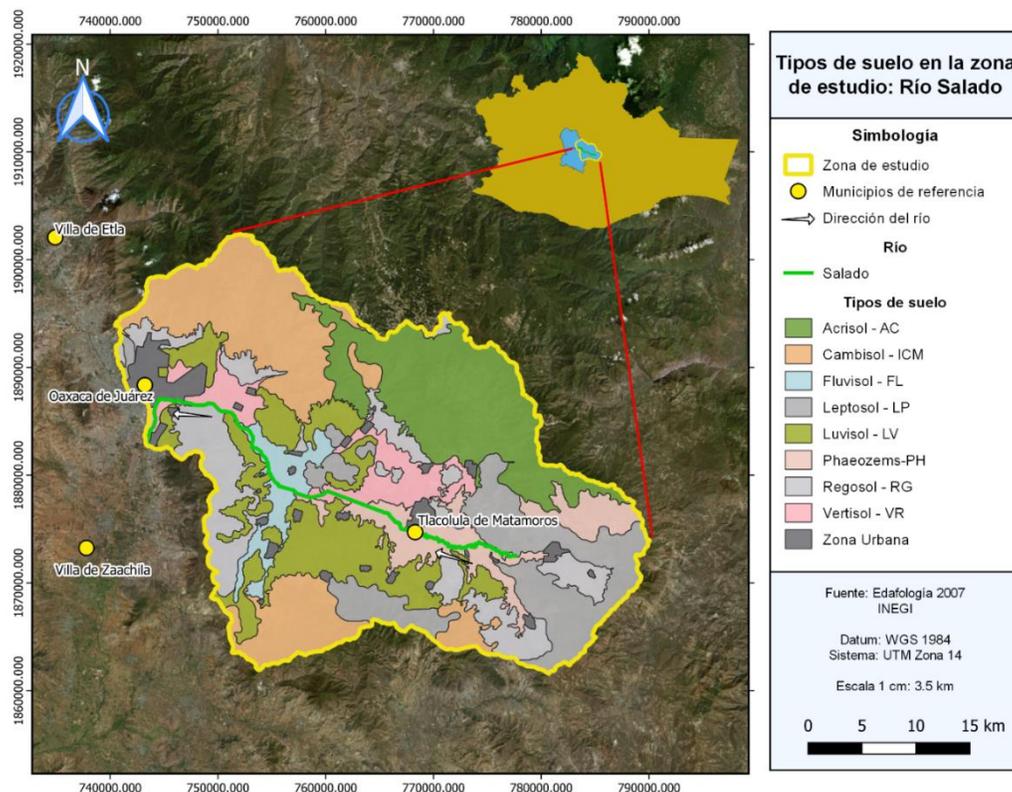
Cuadro 4.44. Tipos de suelo presentes en la Zona de estudio Bajo Atoyac.

Tipo de suelo	Superficie (km ²)	Porcentaje en relación a la zona de estudio (%)
Acrisol	12.29	0.95
Fluvisol	17.04	1.32
Zona urbana	32.64	2.52
Phaeozems	38.35	2.96
Cambisol	124.11	9.59
Leptosol	143.73	11.10
Vertisol	161.79	12.50
Regosol	173.19	13.38
Luvisol	591.16	45.67
Total	1,294.29	100

4.2.15.3. Tipos de suelo en Zona de estudio Río Salado

En la Zona de estudio Río Salado, de la misma manera que en el Bajo Atoyac, los diferentes suelos se distribuyen de forma heterogénea. El fluvisol es el suelo que aparece con menor área. El leptosol y el luvisol se encuentran prácticamente en la misma proporción, 14.05% y 14.90% respectivamente. El suelo que presenta mayor área es el cambisol con un 20.17%. El afluente surge en suelos de leptosol, su curso va en un gran tramo con dirección este-oeste por suelos de phaeozem, atraviesa avanzando hacia el norte por suelos de vertisol, fluvisol, luvisol, avanzando nuevamente hacia el oeste por suelos de regosol y phaeozem, llega al límite de esta zona para incorporarse al afluente en la Zona de estudio Bajo Atoyac, como se puede ver en la siguiente Figura.

Figura 4.80. Tipos de suelo en la Zona de estudio Río Salado.



La zona urbana se encuentra con mayor extensión en área en la porción norte-oeste, en la Zona Metropolitana de Oaxaca, hay porciones aisladas distribuidas a ambos lados del Río Salado a través de toda la zona de estudio. Las zonas urbanas se han desarrollado sobre todos los tipos de suelo presentes en la zona, como se muestra en el siguiente cuadro.

Cuadro 4.45. Tipos de suelo presentes en la Zona de estudio Río Salado.

Tipo de Suelo	Superficie (km ²)	Porcentaje en relación a la zona de estudio (%)
Fluvisol	41.84	3.48
Zona urbana	48.73	4.05
Vertisol	71.00	5.90
Phaeozems	88.50	7.36
Regosol	158.30	13.16
Leptosol	168.99	14.05
Luvisol	179.21	14.90
Acrisol	203.76	16.94
Cambisol	242.71	20.17
Total	1,203.04	100

Es importante reconocer que los diferentes tipos de suelo representan un recurso valioso y su pérdida, ocasionada por procesos de erosión, contaminación, sobreexplotación de los pastos y la destrucción de los bosques; es equivalente a la disminución de la biodiversidad con la consecuente pérdida de los beneficios que la población obtiene del suelo (FAO, 2021).

El beneficio más conocido es el de provisión, ya que es el sustrato para la obtención de cultivos comestibles, para forraje, fibras y combustible, materiales de construcción, piedras y metales preciosos. Alberga organismos usado para el desarrollo tecnológico en el control de patógenos o para potencializar el crecimiento vegetal. También alberga organismos fundamentales en el ciclo de carbono, entre otros ciclos biogeoquímicos, el cual es retenido en el suelo en mayor medida que en la vegetación y durante cientos o miles de años, disminuyendo sus efectos negativos en el clima. Otro de los beneficios fundamentales obtenidos del suelo, pero menos visualizado, es su capacidad para almacenar agua, alberga cerca del 90% del agua consumida por los cultivos alrededor del mundo. Este beneficio, junto con su capacidad de absorción y posterior emisión de calor, lo convierten también en un importante regulador climático (SEMARNAT, 2021b).

Considerando lo anterior y lo finito de este recurso es esencial su estudio detallado y actualizado para realizar una planificación que contribuya a su conservación y uso sustentable y así asegurar la estabilidad de la población.

Al igual que en el apartado de usos de suelo y vegetación, la matriz desarrollada por GET considera en sus ejes II. Manejo Integrado de Cuenca, V. Normatividad ambiental y VII. Inspección y vigilancia, líneas estratégicas y actividades que permitan propiciar el ordenamiento territorial, para una regulación en el uso del suelo, protegiendo aquellas áreas que por sus características pudieran favorecer la recarga al acuífero de Valles centrales. Estos puntos se retoman en el Plan Integral considerando además la delimitación de zonas con potencial de infiltración para la recarga del acuífero de Valles Centrales.

4.2.16. Geohidrología

4.2.16.1. Antecedentes

Los Valles Centrales de Oaxaca, se ubican en la depresión que se forma entre la Sierra Madre de Oaxaca (prolongación de la Sierra Madre Oriental y la Sierra Madre del Sur) en la porción central del Estado de Oaxaca.

La conformación de los Valles Centrales es análoga a los brazos o ramales de una “Y” griega en la que el brazo Noreste corresponde al Valle de Etlá, drenado por el río del mismo nombre y el brazo oriente correspondería al Valle de Tlaxiaco por donde fluye el Río Salado. Ambos ríos forman lo que se conforma propiamente el Río Atoyac, este último fluye con dirección sur a lo que se conoce como el Valle de Zimatlán o Valle Grande, incrementando su caudal con varios afluentes antes de perderse en los cañones de la Sierra Madre del Sur donde cambia su nombre por el de Río Verde.

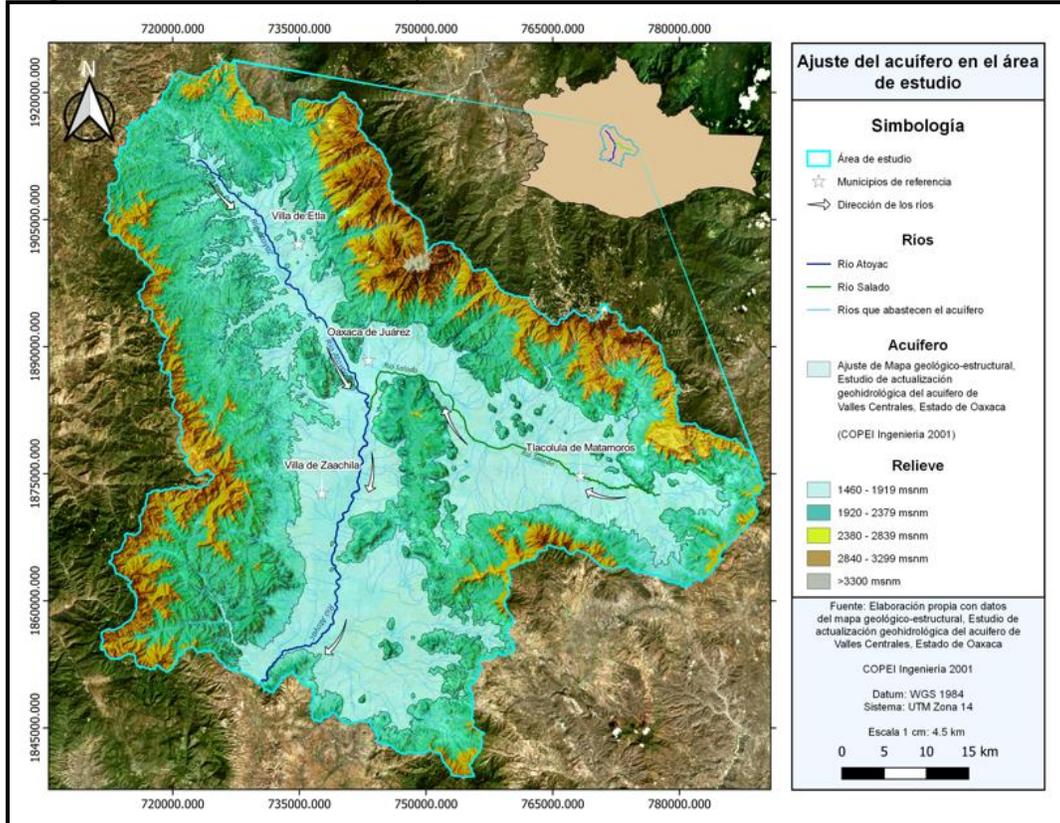
Las condiciones climáticas imperantes en la región son muy benignas y han favorecido al asentamiento de grupos humanos, resultando un proceso de migración local, de una sociedad predominantemente rural a urbana, lo que conlleva al incremento de servicios, entre otros, el de agua potable el cual es satisfecho predominantemente bajo condiciones cada vez más críticas de explotación de las aguas subterráneas, con la grave amenaza del agotamiento de las reservas hidrológicas y de una serie de consecuencias negativas como el encarecimiento de los insumos entre otros.

El acelerado crecimiento demográfico y el uso poco eficiente del agua en los sistemas municipales de suministro han obligado a extraer el vital líquido a mayores profundidades del subsuelo, sobreexplotando el acuífero con los riesgos inherentes de afectar las reservas no renovables del almacenamiento, con descensos anuales en los niveles estáticos y disminución de la superficie agrícola útil.

4.2.16.2. Localización geográfica del acuífero

El acuífero de los Valles Centrales se ubica en la porción centro del Estado de Oaxaca, constituido por tres zona o Valles: Etna, Tlacolula y Zimatlán, con convergencia de los dos primeros en la Ciudad de Oaxaca (Figura 4.81).

Figura 4.81. Ubicación de los valles que conforman al acuífero de los Valles Centrales de Oaxaca.



Abarca una extensión territorial aproximada de 3,538.05 km², el área el acuífera del Valle de Etna es de 1,040.72 km², la de Tlacolula 1,203.04 km² y Zimatlán de 1,294.29 km².

4.2.16.3. Disponibilidad del agua subterránea en el Acuífero de los Valles Centrales (AVC)

En el presente apartado se enunciarán algunos estudios realizados en el acuífero de los Valles Centrales de Oaxaca en los últimos 20 años, así como de los volúmenes relacionados con la disponibilidad que la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) que son publicados en los medios oficiales (Diario Oficial de la Federación, DOF).

Al realizar la investigación bibliográfica del acuífero de los Valles Centrales de Oaxaca se tiene que, el mayor número de investigaciones científicas se ha realizado con la finalidad de conocer la evaluación y grado de contaminación que se tiene en el cauce del Río Atoyac así como algunas relacionadas con las calidad del agua proveniente de los aprovechamientos que se emplean para agua potable además de suelos y tipos de cultivos y en ninguno se realiza la cuantificación de la disponibilidad, tal y como se muestra en el siguiente cuadro.

Cuadro 4.46. Estudios relacionados con el acuífero de los Valles Centrales de Oaxaca.

Aragón-Sulik M. et. al.,(2015). Geographic distribution of Arsenic in the Acuífero of Central Valley Oaxaca, México. Ingeniería Hidráulica y Ambiental, Vol. XXXVI. No. 1, Enero-Abril 2015, p 102-110.
Belmonte-Jiménez S.I. et. al., (1998). Estudio para el manejo racional del acuífero a través de la modelación matemática en el Estado de Oaxaca. Reporte Técnico, 81, pp. CIIDIR-OAXACA-IPN, Oaxaca, México.
Belmonte-Jiménez S.I. et. al., (2003). Determinación de la vulnerabilidad del acuífero del Valle de Etlá, Oaxaca, México. Revista Geofísica, Instituto Panamericano de Geografía e Historia, 59, Julio-Diciembre 2003.
Caballero Gutiérrez P.V., Carrillo Rodríguez José C., Gómez Ugalde R.M., Jerez Salas Martha Patricia (2020). Presencia de Arsénico en pozos y cultivos en Oaxaca, México. Revista de Agronomía Mesoamericana 21 (1). 177-184 (2020).
Camacho-Ballester A. et. al., (2020). Indicadores de calidad fisicoquímica del agua residual del Estado de Oaxaca, México, Terra Latinoamericana, Vol. 38, No. 2 (2020).
CONAGUA, Subdirección General Técnica, Gerencia de Aguas Subterráneas (2020). Actualización de la Disponibilidad Media Anual de Agua en el Acuífero de los Valles Centrales (2025) Estado de Oaxaca, Ciudad de México, Diciembre 2020.
Chávez G. R. (1977). Geohidrología del Valle de Zimatlán, Oaxaca México. Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana, Tomo XXXVIII, No. 2, pp 65-82, Diciembre 1977.
Escobar O.A., Topete Poza O.R., (2021). El agua y su legislación. Acuerdos y Conflictos en los Valles Centrales de Oaxaca (México) en la transición del Siglo XIX al XX. Mundo Agrario, Diciembre 2020-Mayo 2021, Vol. 21, No. E150.
Izuneta, J. A., et. al., (2014). Estudio para la detección de fuentes contaminantes por descarga de aguas residuales al Río Atoyac, entre la Ciudad de Oaxaca y la Presa Paso Ancho. In: V. Bourguett, Chávez A (eds). Congreso IMTA 2014, Jiutepec, Morelos. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, pp 138-144.
Martínez Sánchez Alejandra (2014). Análisis de vulnerabilidad hídrica en la cuenca del Valle de Ocotlán, Oaxaca, Tesis para obtener el grado de Maestría en Conservación y Aprovechamiento de los Recursos Naturales, CIIDIR, Oaxaca.
Mendoza-Amézquita E. et. al., (2018). Hydrochemical Analysis and Groundwater Quality Evaluations of the Zimatlán Acuífero, Oaxaca, México. Revista Latinoamericana, El Ambiente y las Ciencia, 9 (20) 56-75.
Nava F.L., Medrano O.R., (2019). Challenges and opportunities of groundwater resource management examination of the problematic access to water in Central Valleys of Oaxaca, México. Acta Universitaria Multidisciplinary Scientific Journal, Vol. 29, 2019.

Salvador M.J., Ramos Leal J.A., (2009). Mapeo de contaminantes del Agua Subterránea en los Valles Centrales de Oaxaca. Revista Geografía del IPGH, 145 (2009) 169-181.

Soriano-Hernández X. Y., et. al., (2017). Analysis of Nitrogen, suspended solids and total dissolved in the Atoyac River, Oaxaca. Revista Mexicana de Agrosistemas. Vol. 4 (2) 152-163.

Con respecto a la disponibilidad de agua (la CONAGUA ha contratado la realización de estudios geohidrológicos entre los años 1978 y 2001 (ver siguiente cuadro, tomado de COPEI, 2001) siendo el más reciente el realizado por COPEI INGENIERIA, S. A. DE C.V, 2001; donde se realizan los cálculos del balance geohidrológico para los Valles ETLA, Tlacolula y Zimatlán aunque no se concluye con el dato exacto de disponibilidad en el acuífero de los Valles Centrales de Oaxaca, la CONAGUA es la única que está facultada para realizar y evaluar y avalar los estudios de disponibilidad y en consecuencia publicación de los mismo en medios oficiales (DOF).

En el presente apartado se muestran los valores reportados por la CONAGUA a partir del año 2000 y los cuales se publica en Millones de metros Cúbicos (Mm³).

Cuadro 447. Relación de estudios geohidrológicos elaborados en el acuífero de los Valles Centrales de Oaxaca. Fuente: Estudio de Actualización Geohidrológica del Acuífero de Valles Centrales, Estado de Oaxaca, COPEI, INGENIERIA, 2001).

Estudio	Empresa	Año de elaboración
Integración del Estudio Técnico Justificativo de los acuíferos Ostuta, Río Verde-Ejutla y Valles Centrales, en el Estado de Oaxaca.	SABINFOSISTEM S.A DE C.V	2013
Plan de manejo del acuífero, Valles Centrales, en el Estado de Oaxaca	U. A. de Chapingo	2010
Estudio de actualización geohidrológica del acuífero de Valles Centrales, Estado de Oaxaca	COPEI, Ingeniería	2001
Estudio geohidrológico preliminar en la zona del Valle de Tlacolula en el Estado de Oaxaca.	TACSA	1983
Estudio geohidrológico preliminar en la zona del Valle de ETLA en el Estado de Oaxaca.	TACSA	1983
Estudio geohidrológico preliminar en la zona del Valle de Zimatlán en el Estado de Oaxaca.	TACSA	1983
Estudio de las condiciones geohidrológicas del Valle de Tlacolula y alrededores, Oaxaca.	GEOCA, S.A.	1980
Estudio para determinar las fuentes recomendables para el abastecimiento de agua potable de la ciudad de Oaxaca.	PROYESCO, S.A.	1978
Servicios de prospección y levantamientos geológicos y geofísicos en el Estado de Oaxaca.	SARH	1977
Estudio geohidrológico preliminar del Valle de Zimatlán, Oaxaca.	GEOFIMEX, S.A.	1976
Estudios de recursos.	F.A.O	1975
Estudio para el abastecimiento de agua potable y alcantarillado. Método de funcionamiento en Oaxaca de Juárez.	PLANIMEX, INGENIEROS CONSULTORES, S.A.	

Cuadro 4.48. Resultados de la disponibilidad del acuífero de los Valles Centrales de Oaxaca publicados en el Diario Oficial de la Federación.

Diario Oficial de la Federación (Fecha de Publicación)	Recarga (R)	Descarga Natural Comprometida (DNCOM)	Volumen Concesionado (VCAS)	Volumen de extracción de agua subterránea consignado en estudios técnicos (VEXTET)	Disponibilidad (DAS)	Déficit
DOF 29/Diciembre/2003	156.3	18.425	121.846262	88.0	13.328738	0.00000
DOF 28/Agosto/2009	153.6	18.4	132.384836	88.3	2.790164	0.00000
DOF 20/Diciembre/2013	153.6	18.4	110.102992	88.0	16.072008	0.00000
DOF 20/Abril/2015	153.6	18.4	120.199053	88.0	14.975947	0.00000
DOF 20/Abril/2017	153.6	18.4	120.199053	88.0	12.339	0.00000
DOF 23/Enero/2020	153.6	18.4	121.669036	88.0	12.612918	0.00000
DOF 17/Septiembre/2020	153.6	18.4	125.865307	88.0	7.909662	0.00000
DOF 26/Marzo/2021					(*) 1.2903	

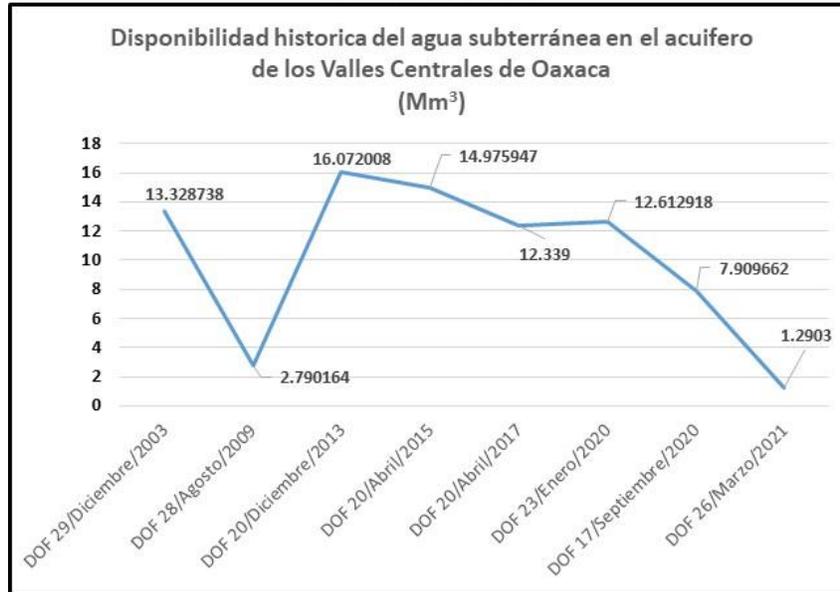
(*) Artículo Primero.- La disponibilidad relativa (La disponibilidad relativa es aquella que permite generar medidas de sensibilidad en los balances proyectados, a fin de evaluar tendencias e identificar sus causas) y la zona de disponibilidad que corresponde a cada cuenca del país durante el ejercicio fiscal 2021, con base en la fórmula prevista en la fracción I del artículo 231 de la Ley Federal de Derechos y los valores de las variables contenidos en el ACUERDO por el que se dan a conocer los valores de cada una de las variables que integran las fórmulas para determinar durante el ejercicio fiscal 2021 las zonas de disponibilidad, a que se refieren las fracciones I y II, del artículo 231 de la Ley Federal de Derechos, vigente a partir del 1 de enero del 2014 publicado en el Diario Oficial de la Federación el 26 de febrero de 2021.

Al evaluar la disponibilidad de agua de una cuenca de acuerdo con la metodología establecida por la NOM-011-CONAGUA-2000, se obtiene un valor numérico que indica el volumen de agua disponible, este valor tiene una importancia relativa en relación con las condiciones naturales de la cuenca, dependiendo de ellas es más o menos importante dicho volumen, pero con el solo valor no es posible tener la sensibilidad de la real condición, y el comportamiento de la oferta y la demanda dentro de la cuenca, esto se agudiza al acercarse al cero, pues en esos casos la imprecisión de los datos que dan origen al balance puede ser mayor al dato de disponibilidad arrojado; por tanto, es incierto si el valor es realmente positivo o realmente negativo.

Dado que el balance anual no refleja las diversas condiciones de variabilidad que se presentan durante el transcurso del año y que en una aproximación más fina permiten describir con detalle las condiciones internas de la cuenca y amplían la visión del investigador hacia las razones, a veces ocultas, que permiten explicar diversos fenómenos que no son perceptibles en ese periodo de tiempo, es necesario realizar balances en periodos más cortos, como trimestrales o mensuales.

A inicios del 2000 la disponibilidad era de 13.328738 Mm³ y para agosto del 2009 disminuyó a tan solo 2.790164 Mm³ lo cual indica una disminución de casi el 80%; de manera gradual para el 20 de diciembre del 2013 el volumen disponible se incrementó a 16.072008 Mm³, a partir de este año se tiene una disminución gradual de 2.0 Mm³ en promedio (14.975947 Mm³ para el año 2015); con respecto a lo publicado en el año 2017 el valor de disponibilidad fue de 12.339 Mm³ incrementándose en 0.273918 Mm³ con respecto a lo publicado en enero de 2020 donde se reporta un volumen de 12.612918 Mm³; si se comparan los resultados publicados en el 2020 se tiene una disminución de 4.703256 Mm³ para un periodo de 7 meses, finalmente el volumen de disponibilidad publicado en marzo del 2021 se tiene que la disponibilidad relativa disminuye hasta un valor de 1.2903 Mm³.

Figura 4.82 Historia de la disponibilidad del agua subterránea publicada en medios oficiales del acuífero de los Valles Centrales de Oaxaca.



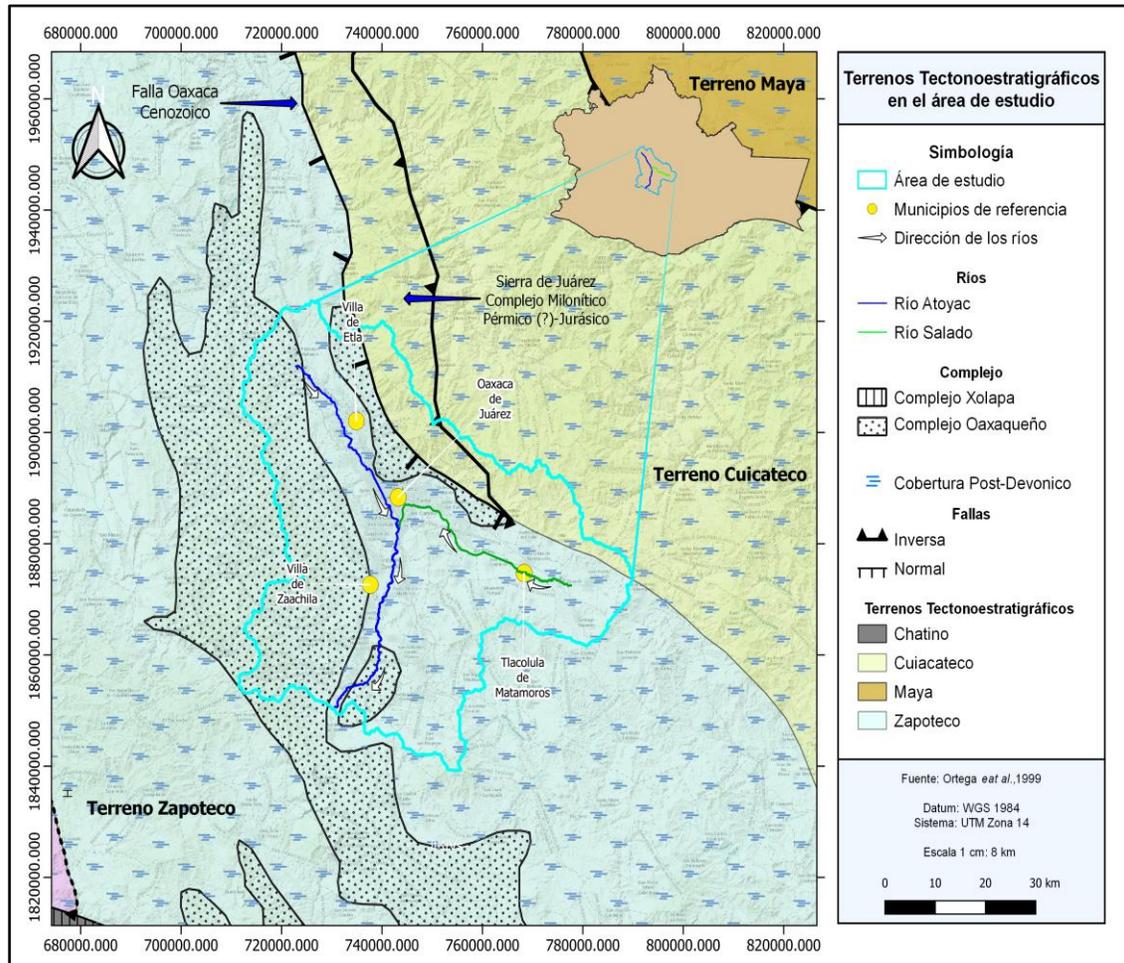
Cabe mencionar que este último dato, el cual fue publicado en marzo de 2021, se considera como disponibilidad relativa ya que la CONAGUA no ha publicado el valor de disponibilidad para el año 2021.

De manera general la imagen asociada con la disponibilidad indica que el recurso hídrico con que cuenta el acuífero de los Valles Centrales tiende disminuir de manera gradual (2.0 Mm³ cada dos años) lo que se traduce en menor acceso al recurso para los diferentes usos destinados a satisfacer la demanda social.

4.2.17. Geología

Desde un punto de vista regional el acuífero se sitúa en el límite de Terrenos Geológicos Zapoteco y Cuicateco, el límite de estos dos Terrenos lo define la gran estructura conocida como Falla Oaxaca que corresponde a una sutura de longitud aproximada de 380 km, como se ve en la siguiente figura.

Figura 4.83. Ubicación de los Terrenos Tectonoestratigráficos en México.



El Terreno Zapoteco está formado en su parte inferior por el Complejo Oaxaqueño el cual lo constituyen rocas metamórficas (anortositas, ortogneis cuarzo feldespáticos, paragneises, mármol y charnokitas en facie de granulita). Está cubierto discordantemente por lutitas, areniscas, calizas y limolitas de la Formación Tiñu.

El Terreno Cuicateco, lo constituyen rocas paleozoicas, jurásicas y cretácicas deformadas las cuales se han dividido en tres unidades mayores:

Unidad Inferior. Compuesta por un paquete de micaesquistos cortados por diques de rocas básicas, metatobas y lentes de serpentina y gabro.

Unidad Intermedia. Compuesta de rocas sedimentarias deformadas y débilmente metamorfoseadas, compuestas de areniscas, lutitas negras y calizas con fósiles.

Unidad Superior. Se identifica como la milonita de la Sierra Juárez y lo constituyen grupos de rocas ultrabásicas, básicas, cuarzo feldespáticas y un grupo de rocas pelíticas y calcáreas.

4.2.17.1. Bancos de materiales

La extracción de materiales pétreos en los afluentes de los ríos Atoyac y Salado es una actividad, en muchos casos irregular, que ocurre de forma constante ya que los procesos de urbanización, que requieren de usar materiales pétreos en procesos constructivos, aumentan en la medida que lo hace la población, y es una más de las problemáticas que requieren atención prioritaria en el área de estudio.

Esta actividad se encuentra regulada por un marco normativo de orden federal, para cauces de ríos y zona federal; y estatal, cuando se realice en terrenos estatales, de donde se estipulan los lineamientos para su autorización, así como para vigilar las condiciones en las que se realiza. El aprovechamiento de materiales pétreos requiere la realización de estudios topológicos, hidrológicos e hidráulicos, con lo que se determinan los sitios y profundidad donde la actividad puede ser realizada sin ocasionar impactos ambientales, los cuales finalmente degradan la condición de bienestar de la población.

Cuando la extracción de materiales pétreos se realiza sin medidas regulatorias se produce una alteración geomorfológica del cauce en los ríos, la recarga se ve afectada alterando el balance hídrico en la cuenca y aumentando el riesgo de contaminación del manto freático (Ravelo y Álvarez, 2019). La falta de estudios dificulta la evaluación del impacto ambiental que la extracción de materiales pétreos provoca en el sistema hídrico. Por otro lado, la Delegación de la Procuraduría Federal de Protección al Ambiente (PROFEPA), instancia facultada para realizar inspecciones, no cuenta con suficiente personal para dar la cobertura de atención requerida.

La Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT), a través de la Unidad General de Servicios Técnicos, publicó el inventario de bancos de materiales 2017, con la información básica sobre localización y aprovechamiento de bancos de materiales pétreos para construcción y mantenimiento de carreteras, pero no describe el estado actual de estos bancos, como se describe en el siguiente Cuadro.

Cuadro 4.49. Bancos de materiales pétreos para construcción y mantenimiento de carreteras.

ID	Municipio	Nombre	Tipo de material	Tratamiento	Coordenadas	
					X	Y
1	Santiago Suchilquitongo	Río Atayuco	arena – grava	cribado	96°52'08.0"W	17°14'55.7"N
2	Reyes Etna	Río El Milagro	arena – grava	cribado	96°49'04.5"W	17°11'14.5"N
3	San Pablo Huitzo	Sin nombre	conglomerado	disgregación	96°51'59.0"W	17°15'52.2"N
4	Santiago Suchilquitongo	Río Garcés	arena – grava	disgregación	96°52'47.6"W	17°15'48.8"N
5	Magdalena Apasco	El Talán	roca caliza	trituration total y cribado	96°49'27.9"W	17°15'59.6"N
6	Reyes Etna	Delache	grava – arena	cribado	96°50'04.6"W	17°13'12.0"N
7	San Pablo Etna	Poblado Morelos	roca arenisca	trituration total y cribado	96°44'57.9"W	17°09'14.5"N
8	San Felipe Tejalápam	Arroyo Central	arena – grava	cribado	96°50'34.3"W	17°06'38.2"N
9	Santa Cruz Papalutla	Río Guelace	arena - grava	cribado	96°35'35.1"W	16°57'10.5"N
10	San Juan Guelavía	San Juan Guelavía	arena - grava	cribado	96°32'27.9"W	16°58'12.8"N
11	Villa Díaz Ordaz	Río Díaz Ordaz	grava – arena	trituration parcial y cribado	96°26'06.9"W	16°59'10.7"N
12	San Lucas Quiavini	Arroyo San Lucas	arena - grava	cribado	96°28'09.8"W	16°54'18.5"N
13	Teotitlán del Valle	Santiaguito	roca granito	trituration total y cribado	96°33'24.6"W	17°01'45.5"N
14	Teotitlán del Valle	El Pipe	roca riolita	trituration total y cribado	96°31'02.8"W	17°02'47.6"N
15	Santa María del Tule	El Tule	roca caliza	trituration total y cribado	96°37'47.3"W	17°00'58.6"N
16	Santa Catarina Minas	Santa Catarina Minas	arena - grava	cribado	96°37'37.7"W	16°46'49.0"N
17	San Pedro Mártir	San Dionisio	grava - arena	cribado	96°41'17.7"W	16°44'44.8"N

ID	Municipio	Nombre	Tipo de material	Tratamiento	Coordenadas	
					X	Y
18	San José del Progreso	Los Vázquez	grava - arena	trituration parcial y cribado	96°41'07.1"W	16°43'07.2"N
19	Ciénega de Zimatlán	Río Zimatlán	arena-grava	cribado	96°45'07.4"W	16°53'35.3"N
20	Zimatlán de Álvarez	Valdeflores	arena - grava	cribado	96°48'45.2"W	16°45'30.9"N
21	Santa Ana Tlapacoyan	El Trapiche	grava - arena	trituration parcial y cribado	96°51'23.5"W	16°45'15.9"N

La información disponible, con los datos anteriores, describe sólo los aprovechamientos utilizados en obras públicas, sería necesario agregar los volúmenes de extracción de material pétreo destinado a otros usos.

Si bien la regulación de los aprovechamientos pétreos corresponde a SEMARNAT y CONAGUA, en zona federal, a SEMAEDESO en territorio estatal, es un hecho que muchos aprovechamientos son irregulares, y si tienen permisos de zona federal, extraen más allá de los límites establecidos, sobreexplotando el recurso, disminuyendo la capacidad de almacenamiento de agua subterránea. En la matriz del GET, tanto los ejes VI. Rehabilitación de cauces de ríos y riberas, donde se plantea una regulación de zona federal, como planes de manejo, así como el eje VII. Inspección y vigilancia, donde se plantea controlar la extracción clandestina de pétreos, en el Plan Integral se retoman estos elementos, no solamente para la regulación del aprovechamiento de los ríos y sus recursos inherentes, sino para protección de la propia sociedad, pues la alteración y debilitamiento de la zona federal, genera impactos negativos hacia los terrenos aledaños de los inadecuados aprovechamientos de pétreos, y si están en zonas urbanas, puede propiciar desbordamientos e inundaciones.

Por otro lado, la magnitud exacta del impacto que se provoca con esta actividad en los ríos Atoyac y Salado se desconoce, ya que, por cada autorización expedida por la CONAGUA para extraer arena o grava del margen de los ríos, hay tres extracciones que se hacen de forma clandestina (UNAM, 2017).

4.2.17.2. Susceptibilidad de origen geológico en el área de estudio

Dado que el Estado de Oaxaca se ubica entre el Golfo de México y el Océano Pacífico, presenta condiciones geográficas y climatológicas que lo exponen al impacto de fenómenos naturales de tipo geológico o hidrometeorológico. Los movimientos geológicos provocan actividad sísmica, vulcanismo, inestabilidad de laderas, flujos, derrumbes, hundimientos, subsidencias y agrietamientos. Por otro lado, los fenómenos hidrometeorológicos incluyen los ciclones tropicales, lluvias extremas, inundaciones pluviales, fluviales, costeras y lacustres; las tormentas de nieve, granizo, polvo y eléctricas; las heladas, las sequías, las ondas cálidas y gélidas y los tornados (SSPC *et al.*, 2021).

De acuerdo a SSPC los fenómenos geológicos tienen un poder destructivo de gran intensidad que puede generar desastres descomunales para la población, sin embargo, no son muy frecuentes, lo que vuelve a los fenómenos hidrometeorológicos los más impactantes ya que, son más frecuentes que los geológicos y, por otro lado, su periodicidad e intensidad se ha incrementado por efecto del cambio climático.

Oaxaca es una de las entidades de mayor riesgo en el país, presenta 30 de los 32 desastres naturales y de alta peligrosidad catalogados a nivel nacional. Al ser un estado costero del Océano Pacífico, la región de Valles Centrales, en donde se encuentra inmersa el área de estudio, está expuesta la actividad sísmica, a los efectos de los fenómenos hidrometeorológicos asociados con la entrada de huracanes y tormentas tropicales, así como los efectos que éstos ocasionan, como son las precipitaciones extremas, los deslizamientos de tierra, los flujos de lodo, los derrumbes de cerros y las inundaciones.

Dentro del área urbana y suburbana, los procesos naturales ocurridos que producen deslizamiento de laderas, derrumbes y flujos de agua y lodo, han sido inducidos por la deforestación. La construcción de avenidas, calles y carreteras, y en general por todas aquellas alteraciones al terreno resultantes de la urbanización y el crecimiento descontrolado de la mancha urbana provocan cortes y modificaciones a los escurrimientos superficiales. El resultado ha sido un incremento de las zonas vulnerables a hundimientos, deslaves y deslizamientos de suelos y roca, (Atlas de riesgos del Municipio de Oaxaca de Juárez, FOPREDEN y Gobierno del Estado de Oaxaca, 2010).

La actividad sísmica es de la más alta de todo el país, se encuentra asociada al proceso de subducción de la Placa de Cocos por debajo de la Placa de Norteamérica. Este límite tectónico es conocido como la zona de subducción y es la zona donde se localizan aproximadamente el 85-90% de los sismos que ocurren en todo el país (Consejo de Recursos Minerales y Unidad Estatal de Protección Civil del Estado de Oaxaca, 2003).

El impacto de estos fenómenos genera cuantiosas pérdidas irreparables tanto humanas como materiales, por lo que es prioritario identificar los riesgos potenciales en los núcleos poblacionales y tomar medidas que permitan prever y afrontar los efectos. Para contrarrestar lo anterior existen instrumentos rectores en política de prevención de desastres que permiten el reconocimiento del territorio y los peligros a los que es susceptible la población y a la infraestructura existente.

Deslizamientos

Muy Alta susceptibilidad.

Sierra norte y oeste fuera del área de estudio.

Al norte del municipio de San Juan del Estado en Zona Alto Atoyac.

Al oeste de San Agustín Etla.

Al oeste en el contorno de Sierra Norte y Sureste de Oaxaca de Juárez.

Alta susceptibilidad

La mayoría de los municipios dentro del área de estudio presentan esta condición, en la mayor parte, coincidiendo con los municipios que se encuentran en el contorno de las zonas montañosas, al norte, este y oeste del área de estudio.

Sismos

La mayor parte del área de estudio presenta como indicador global de intensidad de los sismos en VIII grados y una mínima porción en Bajo Atoyac con IX grados y otra porción menor aún se localiza en la parte noreste de la Zona Alto Atoyac en la escala de Mercalli (modificada en 1931 por H. O. Wood y F. Neuman). La descripción por grados en la escala de Mercalli (SGM, 2021) se menciona a continuación:

- I. Sacudida sentida por muy pocas personas en condiciones especialmente favorables.
- II. Sacudida sentida sólo por pocas personas en reposo, especialmente en los pisos altos de los edificios. Los objetos suspendidos pueden oscilar.
- III. Sacudida sentida claramente en los interiores, especialmente en los pisos altos de los edificios, muchas personas no lo asocian con un temblor. Los vehículos de motor estacionados pueden moverse ligeramente. Vibración como la originada por el paso de un carro pesado. Duración estimable.
- IV. Sacudida sentida durante el día por muchas personas en los interiores, por pocas en el exterior. Por la noche algunas despiertan. Vibración de vajillas, vidrios de ventanas y puertas; los muros crujen.

Sensación como de un carro pesado chocando contra un edificio, los vehículos de motor estacionados se balancean claramente.

V. Sacudida sentida casi por todo el mundo; muchos despiertan. Algunas piezas de vajillas, vidrios de ventanas, etcétera, se rompen; pocos casos de agrietamiento de aplanados; caen objetos inestables. Se observan perturbaciones en los árboles, postes y otros objetos altos. Se detienen relojes de péndulo.

VI. Sacudida sentida por todo mundo; muchas personas atemorizadas huyen hacia afuera. Algunos muebles pesados cambian de sitio; pocos ejemplos de caída de aplanados o daño en chimeneas. Daños ligeros.

VII. Advertido por todos. La gente huye al exterior. Daños sin importancia en edificios de buen diseño y construcción. Daños ligeros en estructuras ordinarias bien construidas; daños considerables en las débiles o mal planeadas; ruptura de algunas chimeneas. Estimado por las personas conduciendo vehículos en movimiento.

VIII. Daños ligeros en estructuras de diseño especialmente bueno; considerable en edificios ordinarios con derrumbe parcial; grande en estructuras débilmente construidas. Los muros salen de sus armaduras. Caída de chimeneas, pilas de productos en los almacenes de las fábricas, columnas, monumentos y muros. Los muebles pesados se vuelcan. Arena y lodo proyectados en pequeñas cantidades. Cambio en el nivel del agua de los pozos. Pérdida de control en las personas que guían carros de motor.

IX. Daño considerable en las estructuras de diseño bueno; las armaduras de las estructuras bien planeadas se desploman; grandes daños en los edificios sólidos, con derrumbe parcial. Los edificios salen de sus cimientos. El terreno se agrieta notablemente. Las tuberías subterráneas se rompen.

X. Destrucción de algunas estructuras de madera bien construidas; la mayor parte de las estructuras de mampostería y armaduras se destruyen con todo y cimientos; agrietamiento considerable del terreno. Las vías del ferrocarril se tuercen. Considerables deslizamientos en las márgenes de los ríos y pendientes fuertes. Invasión del agua de los ríos sobre sus márgenes.

XI. Casi ninguna estructura de mampostería queda en pie. Puentes destruidos. Anchas grietas en el terreno. Las tuberías subterráneas quedan fuera de servicio. Hundimientos y derrumbes en terreno suave. Gran torsión de vías férreas.

XII. Destrucción total. Ondas visibles sobre el terreno. Perturbaciones de las cotas de nivel. Objetos lanzados en el aire hacia arriba.

Dentro del área de estudio, 12 de los 38 municipios contemplados en el estudio de diagnóstico y planeación integral para el saneamiento en los Ríos Atoyac y Salado, desarrollaron un Atlas de riesgo municipal y cinco municipios desarrollaron un Plan de Reducción de Riesgos de desastres en el 2019 como se menciona a continuación:

Cuadro 4.50. Municipios que cuentan con un Atlas de riesgos en cada zona de estudio.

Alto Atoyac	Bajo Atoyac	Río Salado
San Jacinto Amilpas	Ocotlán de Morelos	San Sebastián Tutla
San Lorenzo Cacaotepec	Santa Cruz Xoxocotlán	San Agustín Yatareni
San Pablo Etla		Santa Lucía del Camino
Santa María Atzompa		Santa María del Tule
		Santo Domingo Tomaltepec
		Tlalixtac de Cabrera

Cuadro 4.51. Municipios que cuentan con un Plan de reducción de riesgos de desastres.

Alto Atoyac	Bajo Atoyac	Río Salado
Nuevo Zoquiápam	San Pablo Huixtepec	San Miguel Amatlán
	Santa Gertrudis	Tlacolula de Matamoros

Cabe mencionar que sería conveniente realizar una actualización de ambos instrumentos, ya que los Atlas de Riesgos datan del 2003 y en los planes desarrollados, se reduce a una descripción sencilla, no se aprecia una delimitación precisa que permita garantizar la seguridad de la población.

En la matriz del GET, en el eje VI. Rehabilitación de cauces de ríos y riberas, se plantea una regulación de zona federal, como estrategias de alerta temprana para prevenir a la población afectaciones por inundaciones. En el Plan Integral se retoman estos elementos, no solamente para la regulación de la zona federal, sino para protección de la propia sociedad, evitando catástrofes por desbordamiento, recordando que las áreas donde actualmente sucede eso, el agua desbordada además está contaminada por elevada carga orgánica, lo que propicia, además, daños a la salud y propagación de enfermedades.

4.2.17.3. Eventos históricos extremos

Los eventos meteorológicos conjugados con el impacto severo a los ciclos naturales del medio ambiente han generado incidentes adversos, se presentan cada vez de mayor magnitud y con mayor frecuencia. Por otro lado, es importante tener presente que, aunque la mayoría de los sitios afectados tiende a recuperarse del impacto ocasionado, frecuentemente le siguen a los eventos extremos, sucesos de índole económica, social incluso política, lo cual puede contribuir a la inestabilidad de las actividades económicas de la población y en consecuencia por su bienestar.

Dentro de los fenómenos que han concluido con cifras dramáticas, ocurridos en las últimas décadas afectando el área de estudio se pueden mencionar los siguientes:

En septiembre del 2010 se registraron lluvias intensas, que afectaron la región de Valles Centrales dejando un saldo de casi 3,000 damnificados por el paso de la tormenta tropical Matthew, además de un deslave de dimensiones trágicas en la Sierra Mixe. El afluente del Río Salado y su desbordamiento dañó aproximadamente 1,000 casas, informó el Instituto Estatal de Protección Civil (IEPC). El Río Atoyac, que atraviesa la capital del Estado, también se desbordó, afectando los municipios de Santa Cruz Xoxocotlán, Santa Cruz Amilpas, San Antonio de la Cal y Santa Lucía del Camino. Por otro lado, se dañaron caminos y los puentes de San Juan Bautista La Raya, que comunica al aeropuerto Benito Juárez de la capital oaxaqueña; el de San Mateo Macuilxóchitl, que enlaza Valles Centrales con el Istmo de Tehuantepec, el del fraccionamiento El Rosario, en Santa Lucía del Camino y el que está en inmediaciones del municipio de San Antonio de la Cal.

En septiembre del 2017 un terremoto de magnitud 8.2 afectó la noche del jueves 8 de septiembre el suroeste de México, el mayor registrado en un siglo. Dejó miles de afectados y grandes pérdidas en viviendas y edificios. De acuerdo con el Servicio Sismológico de México (SSM), el sismo tuvo su epicentro 137 kilómetros al suroeste de Tonalá, Chiapas, y se registró a una profundidad de 58 kilómetros, a las 23:49 (hora del centro del país).

De acuerdo con la Comisión Estatal Forestal (COESFO), este 2021 se han registrado un total de 162 incendios forestales en la entidad, los cuales han afectado 24,441 hectáreas de bosques en lo que va de este año 2021 al mes de mayo, 8 mil hectáreas más que en el 2020. El registro indica tres incendios forestales más este año en comparación con el anterior, sin embargo, se estima que la superficie

afectada es mucho mayor este 2021, pues con corte al 7 de mayo al menos 8 mil 701 hectáreas de bosque más fueron alcanzadas por el fuego en Oaxaca.

De los eventos presentados, algunos se registraron dentro del área de estudio, en el municipio de Santa María Peñoles, entre las localidades de Santa Catarina Estetla y San Mateo Tepantepec, Distrito de Etlá, el cual fue controlado por brigadas de la Comisión Nacional Forestal (CONAFOR), 100 comuneros del lugar y elementos de la Guardia Nacional. El incendio registrado en San Jerónimo Tlacoahuaya, en el cerro de la zona arqueológica de Dainzú, fue atendido por brigadas de la COESFO y comuneros.

El incendio registrado en el paraje Los Hospitales, de San Bartolo Coyotepec, fue apagado con la participación de brigadistas de la COESFO, Protección Civil, el Heróico Cuerpo de Bomberos y elementos de la Guardia Nacional.

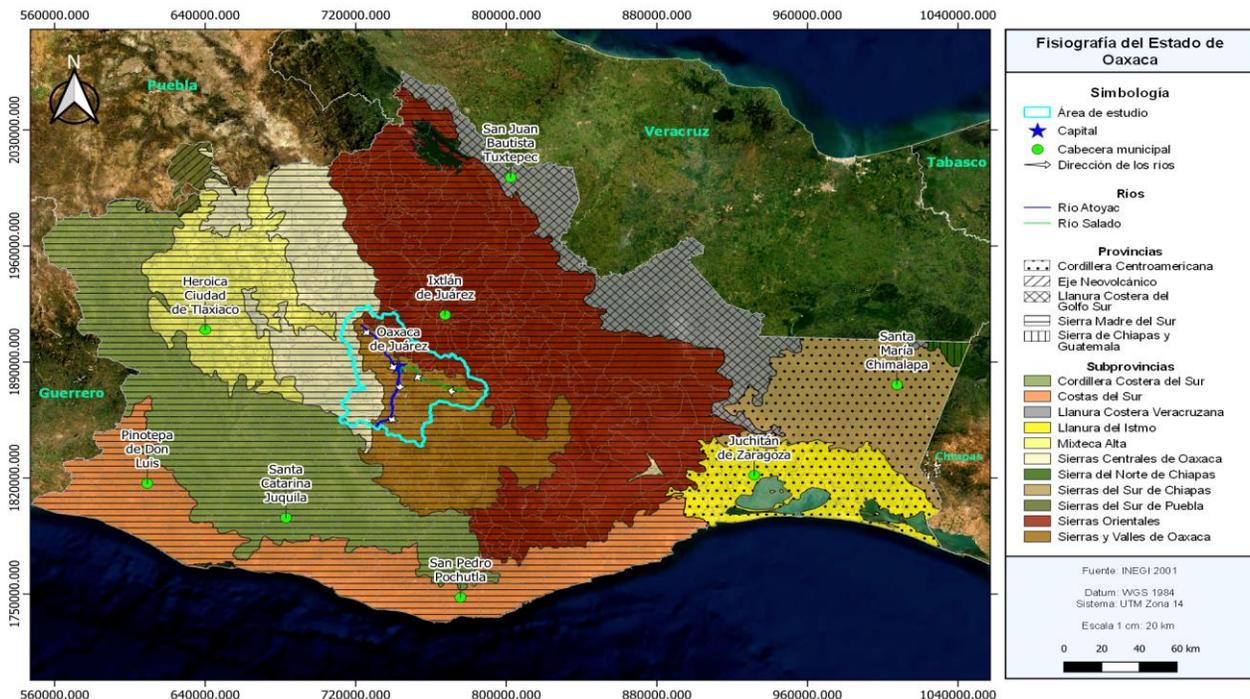
De acuerdo al Servicio Meteorológico Nacional (SMN) en 1997, uno de los eventos más devastadores de la historia de la entidad ocurrió en la Agencia Municipal de Puerto Puerto Ángel, Oaxaca. El huracán "Paulina" tocó tierra entre el 5 y 10 de octubre con categoría 4 en la escala de Saffir-Simpson, su alcance fue muy amplio, a gran distancia de su origen, afectó a gran parte del Estado de Oaxaca, incluyendo la ciudad de Oaxaca de Juárez.

LOS DIFERENTES EVENTOS EXTREMOS SON DESCRITOS Y ATENDIDOS POR LA INSTANCIA ACORDE AL TIPO DE EVENTO COMO SE MENCIONA.

4.2.18. Fisiografía

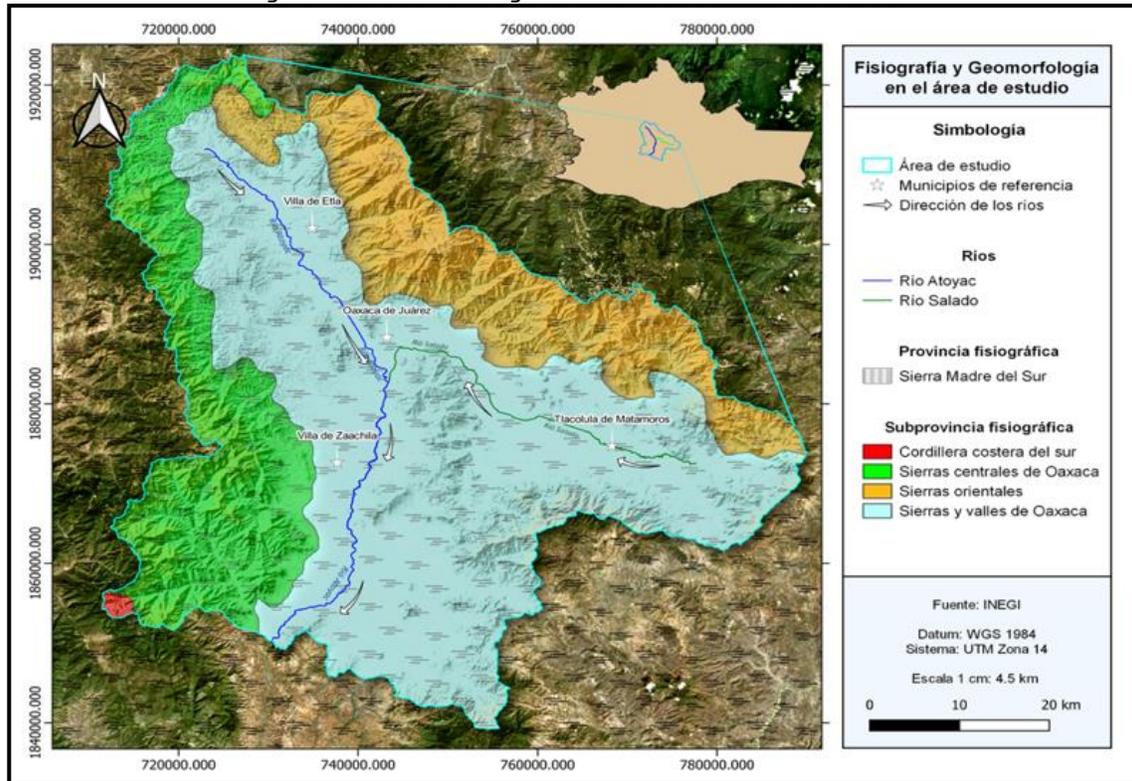
De acuerdo con lo descrito por Raiz (1964) la región de los Valles Centrales de ubica dentro de la Provincia Fisiográfica de la Sierra Madre del Sur y dentro de la Subprovincia de las Tierras Altas (Figura 4.84).

Figura 4.84. Fisiografía del Estado de Oaxaca.



Morfológicamente, se tienen rasgos topográficos con tendencia a orientarse NNW-SSE. Las sierras altas presentan fuertes pendientes y elevaciones mayores a los 3,000 m en donde se distingue el Complejo Milonítico Sierra Juárez y la manera general se tiene que la red hidrográfica presenta las características de ser del tipo dendrítico tal y como se muestra en la siguiente Figura.

Figura 4.85. Geomorfología característica del Área de estudio.



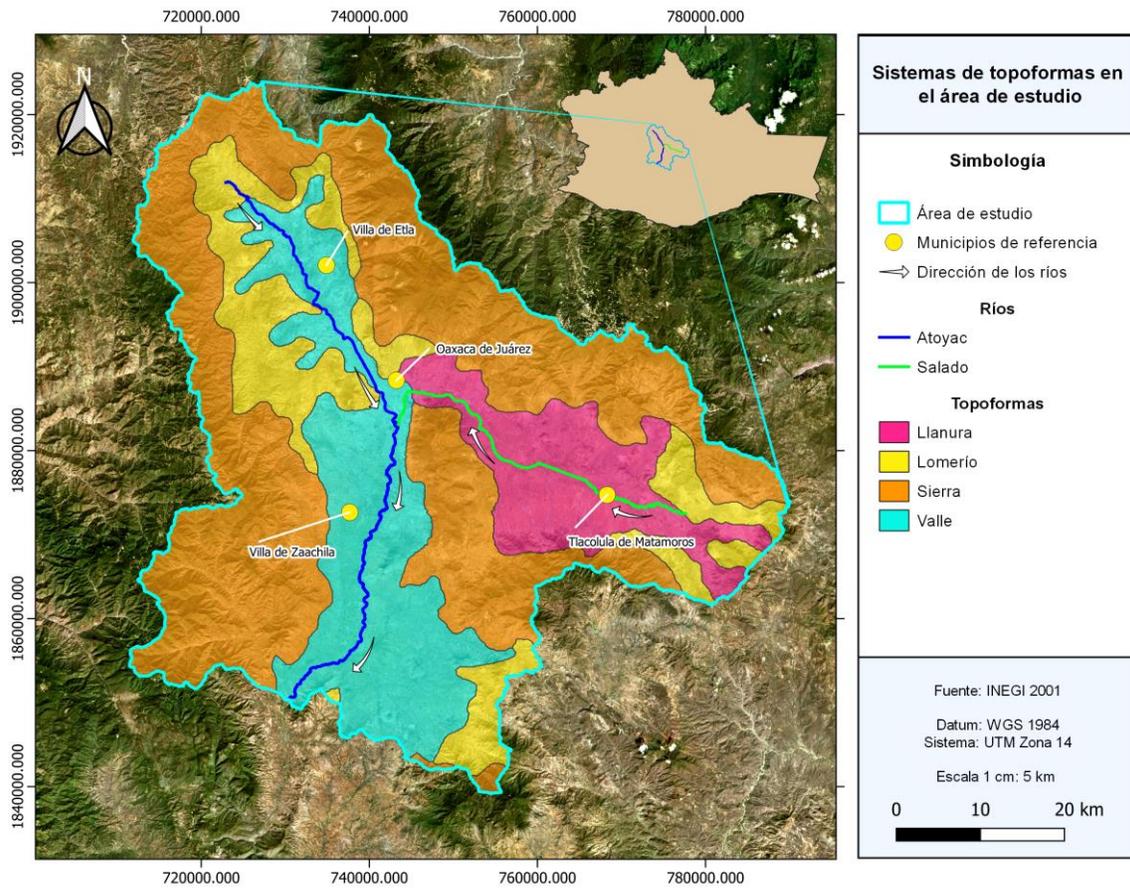
4.2.18.1. Sistema de topoformas

Las Sierras y montañas están constituidas por un complejo orográfico de rocas del cretácico como la metamórfica cataclasita y sedimentarias. Sus partes más altas rebasan los 2,000 msnm, tienen un clima templado húmedo con una precipitación entre 1,000 a 2,000 mm. Su vegetación principal es bosque de coníferas. (Cruz, 2003).

La mayoría de los elementos fisiográficos que se observan en la actualidad, tanto en las zonas de estudio como en el resto del Estado, se originaron por actividad volcánica y la formación de montañas asociadas al movimiento de grandes fallas en los últimos 65 millones de años (Centeno, 2004).

La forma del relieve puede ser positiva o negativa de acuerdo al sentido de su desarrollo, las lomas y cerros, son positivas y los valles y llanuras son negativas. En el área de estudio la mayor parte del sistema de topoformas es positivo, en forma de lomerío y sierra. El sistema de sierras ocupa algo más de la mitad del área de estudio con 1,778.09 km² (50.26%), el valle cubre una extensión de 770.02 km² (21.76%). El sistema de lomeríos tiene una extensión de 551.55 km² (15.59%) y el sistema de llanuras con 438.39 km² (12.39%), son los sistemas con menor extensión en relación al área de estudio como se puede observar en la siguiente Figura.

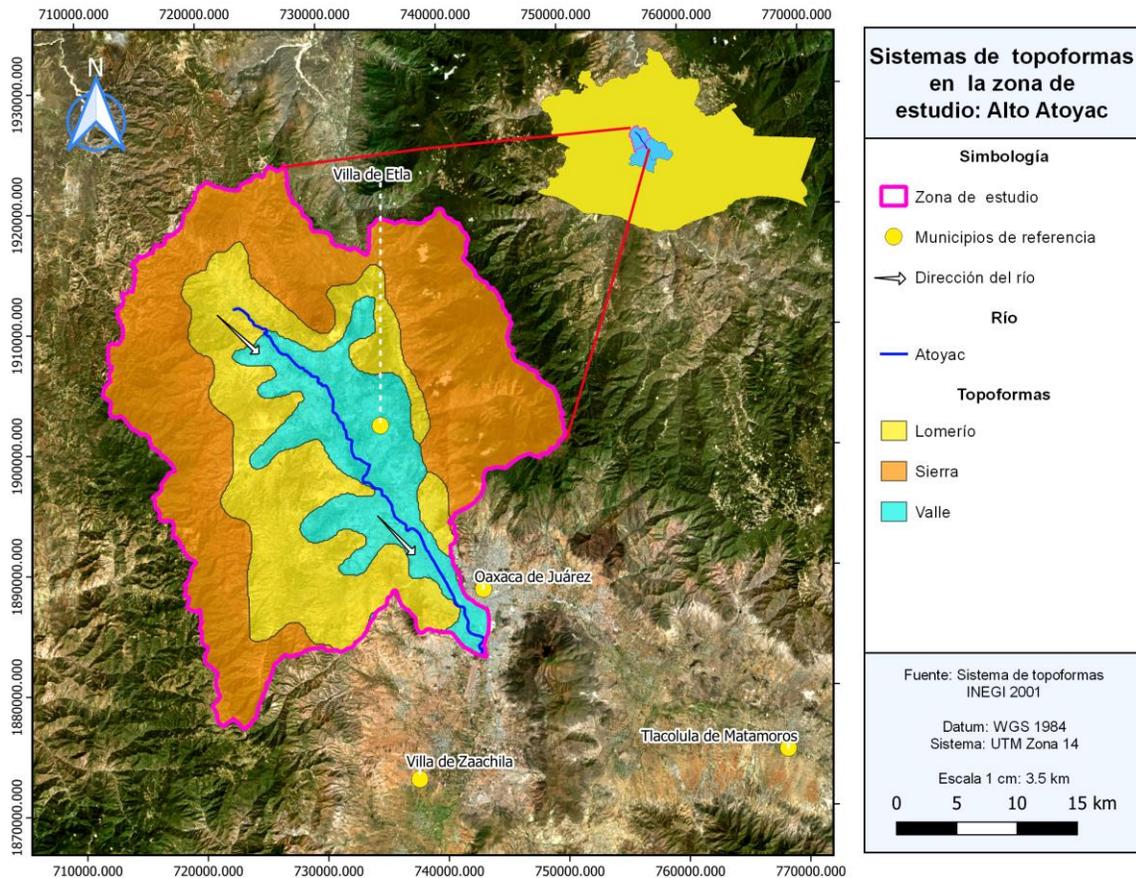
Figura 4.86. Sistema de topoformas en el área de estudio.



4.2.18.1.1. Sistema de topoformas en Zona de estudio Alto Atoyac

La forma del relieve en la Zona de estudio Alto Atoyac se presenta en forma de sierras, lomeríos y valles, no hay desarrollo de llanuras. La sierra es la topografía de mayor extensión con 540.38 km² (51.92%), se distribuye en sentido norte-sur alrededor del lomerío y valle. El valle es el sistema con menor extensión, cubre 187.20 km² (17.99%) y se desarrolla alineado a lo largo del flujo del Río Atoyac en sentido norte-sur, está rodeado del lomerío que cubre una extensión de 313.14 km² (30.09%) desarrollado en el mismo sentido, como se muestra en la siguiente Figura.

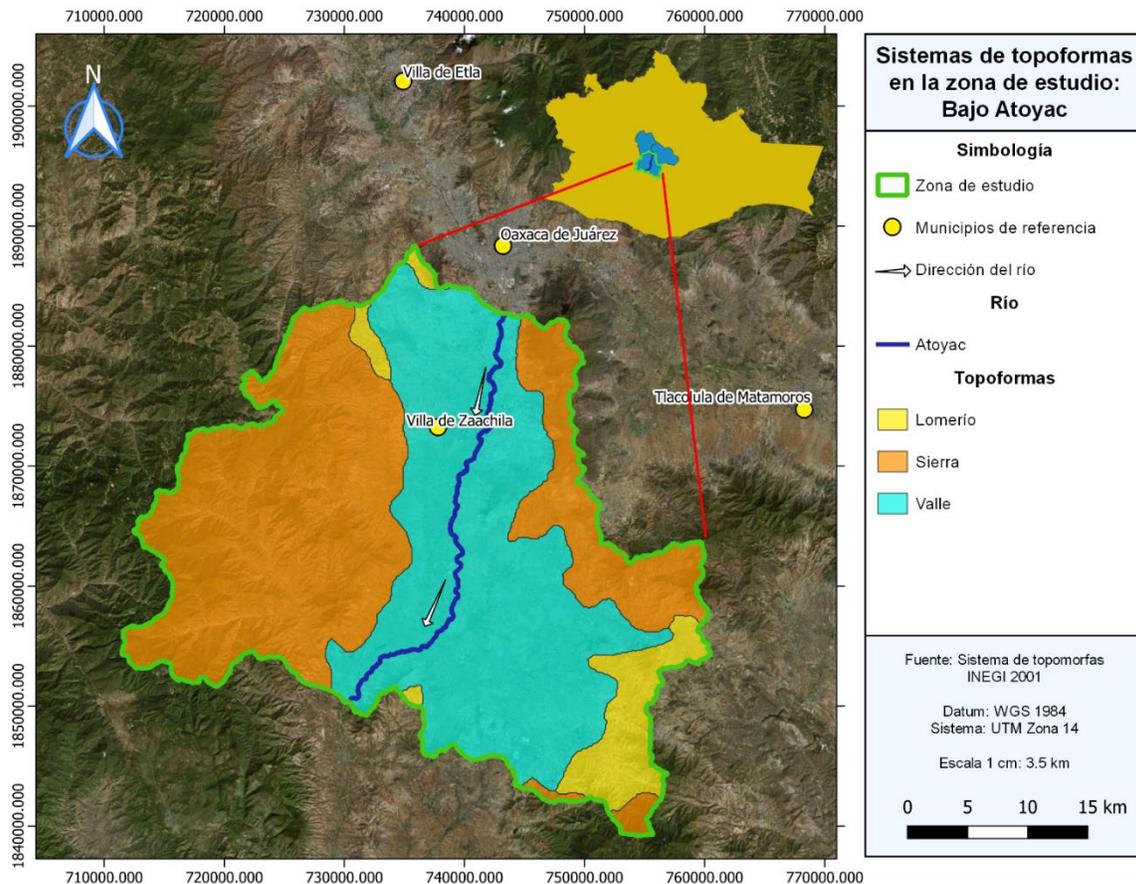
Figura 4.87. Sistema de topoformas en la Zona de estudio Alto Atoyac.



4.2.18.1.2. Sistema de topoformas en Zona de estudio Bajo Atoyac

La Zona Bajo Atoyac, al igual que el Alto Atoyac presenta lomeríos, sierras y valles, sin llanuras. La sierra ocupa cerca de la mitad del territorio con 626.61 km² (48.41%), ocupa en su mayor parte el lado oeste del valle y en menor extensión al lado este del mismo. El sistema de valle tiene una extensión de 571.30 km² (44.14%), de las tres zonas, ésta es la que presenta la mayor extensión del sistema de valles, desarrollado alineado al flujo del río en sentido norte-sur. El lomerío es escaso, con 96.39 km² (7.45%) se presenta en la porción norte al este del afluente del Río Atoyac en el límite de la zona y también en la porción sur-este en el límite de la zona, como se aprecia en la siguiente Figura.

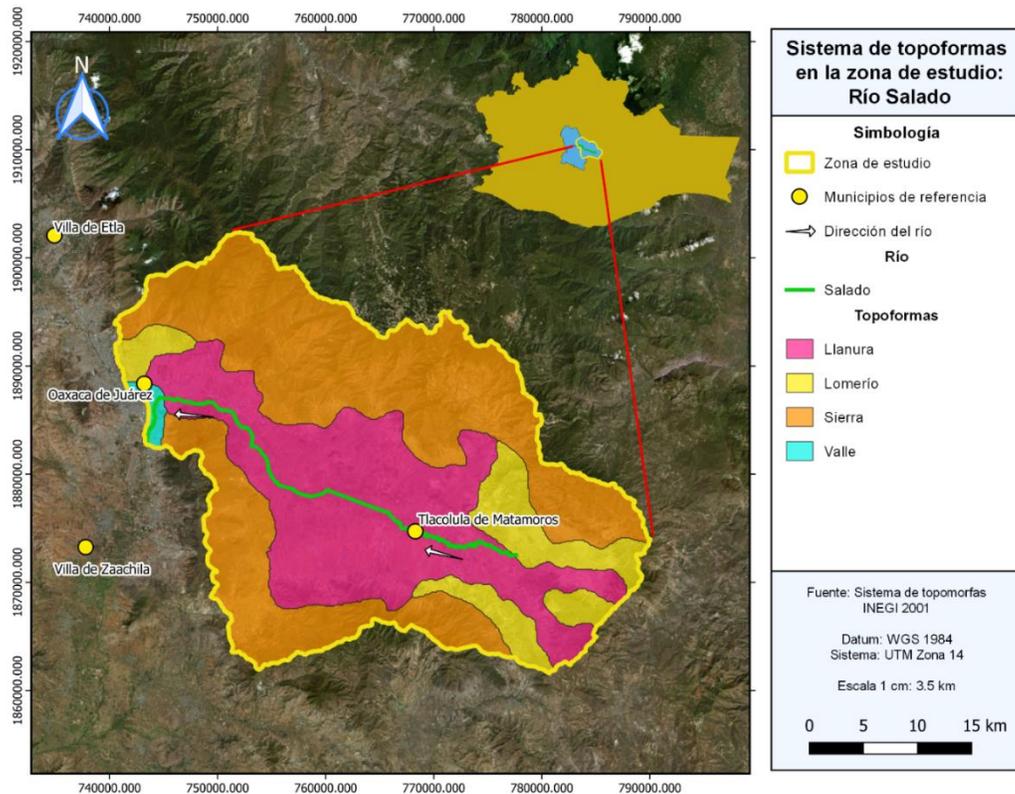
Figura 4.88. Sistema de topoformas en la Zona de estudio Bajo Atoyac.



4.2.18.1.3. Sistema de topoformas en Zona de estudio Río Salado

La forma del relieve en la Zona de estudio Río Salado presenta sierras, lomeríos, valles, y es la única zona en la que se desarrollan llanuras. La sierra es el sistema que presenta la mayor extensión, ocupando poco más de la mitad del territorio en la zona con 611.11 km² (50.80%), se encuentra distribuido hacia la porción norte y sur del Río Salado, aledaño al sistema de llanuras cuya extensión es de 438.39 km² (36.44%), se distribuye en sentido este-oeste alineado al flujo del Río Salado y extendido hacia la parte norte y sur del mismo. El lomerío tiene una extensión de 142.03 km² (11.81%), presente en la porción este en el área donde nace el afluente y en la porción oeste, en el límite de la zona en menor medida. El valle en esta zona es escaso, apenas de 11.52 km² (0.96%) en la porción oeste en el límite de la zona, como se muestra en la siguiente Figura.

Figura 4.89. Sistema de topoformas en la Zona de estudio Río Salado.



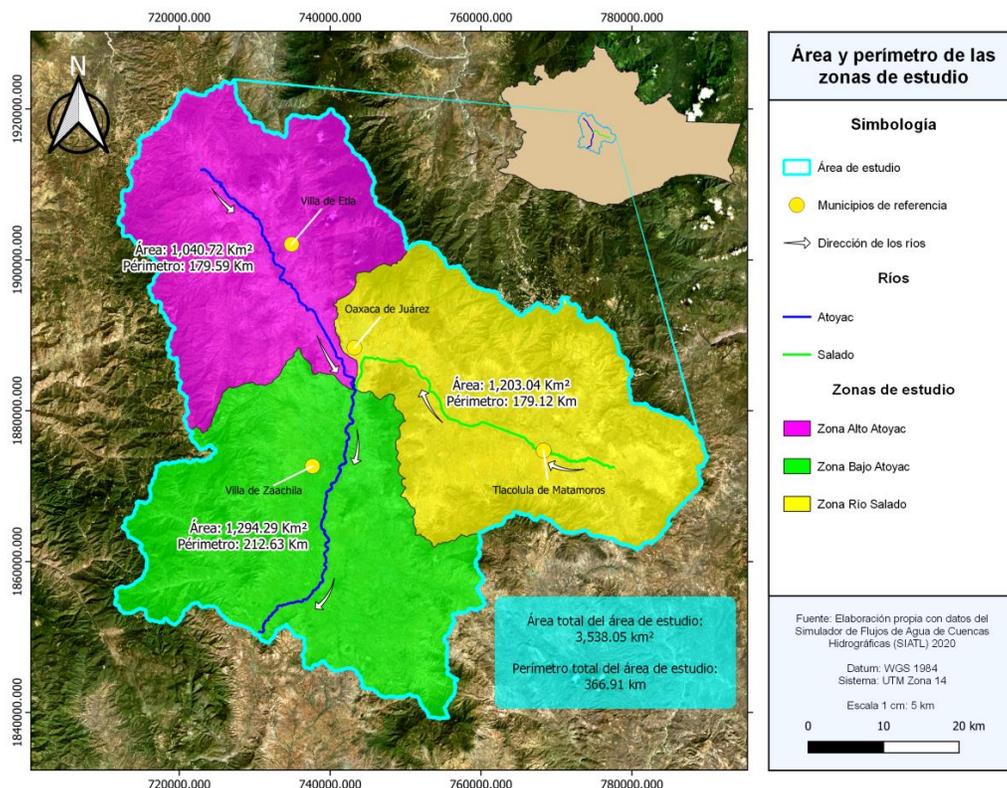
La conformación espacial del territorio, caracterizada en topoformas, ha determinado la aparición de los núcleos poblacionales, ya que preferentemente se han desarrollado en las partes bajas, en donde se conforman los valles y llanuras, donde actualmente se encuentran las zonas de mayor urbanización. Las diferentes topoformas también influyen en la modelación del clima que se presenta dentro del área de estudio ya que la humedad y viento provenientes del Océano Pacífico se encuentran con las mayores elevaciones del área de estudio, se distribuyen en el territorio en forma de precipitación, beneficiando a la población.

4.2.19. Hidrografía

La región de Valles Centrales es una zona de mayor drenado en toda la Cuenca Hidrográfica Río Verde Atoyac. (INSO, 2014). El área de estudio cuenta con muchos afluentes, uno de los más significativos es el Río Salado, el cual es tributario del Atoyac. Éste, junto con el Río Verde, forma parte de uno de los escurrimientos más grandes, en cuanto a drenaje, de la costa del Pacífico de Mesoamérica y forma una cuenca exorreica, es decir, que desemboca en el mar, en el sistema lagunar de Chacahua.

El Río Atoyac se ubica en la parte oeste del estado con una longitud de 82, 777.29 m, su nacimiento se encuentra cerca de la población de San Sebastián Sedas, en el Municipio de San Francisco Telixtlahuaca en la zona de ETLA, a elevaciones del orden de los 2,000 m. En la porción este de la entidad nace el Río Salado con una longitud de 58,532.09 m, uniéndose a la altura del municipio de San Agustín de las Juntas en las coordenadas W 96°42'57" y N 17°00'57", desembocando hacia el sur en el municipio de Santa Ana Tlapacoyan teniendo una longitud hasta este punto de 141.30 km. El Río Atoyac, una vez alimentado por el Río Salado, se convierte en un solo río, con un drenaje que forma una cuenca abierta, cuya salida de agua es hacia el mar, es decir es una cuenca exorreica y desemboca en la Región de la Costa en el sistema lagunar de Chacahua (INSO, 2014). En su primer tramo toma una dirección general hacia el sureste hasta la Ciudad de Oaxaca, donde ingresa a la zona geohidrológica de Zimatlán y a la altura de San Agustín de las Juntas recibe por la margen izquierda las aguas del Río Salado, que es uno de sus principales afluentes. De allí sigue hacia el Sur-Suroeste pasando por Zimatlán de Álvarez y continúa hasta la altura de Santa Gertrudis, donde confluye el Río Ocotlán, por su margen izquierda. En este punto cambia hacia el Suroeste y pasa por Santa Ana Tlapacoyan donde se le unen las aguas del Río La Asunción o San Bernardo. Después continúa hacia el Sur Suroeste por 15 km más, pasando por Santa María Ayoquezco de Aldama y San Andrés Zabache para salir del Valle de Zimatlán (CONAGUA, 2020).

Figura 4.90. Áreas y perímetros de las zonas de estudio.



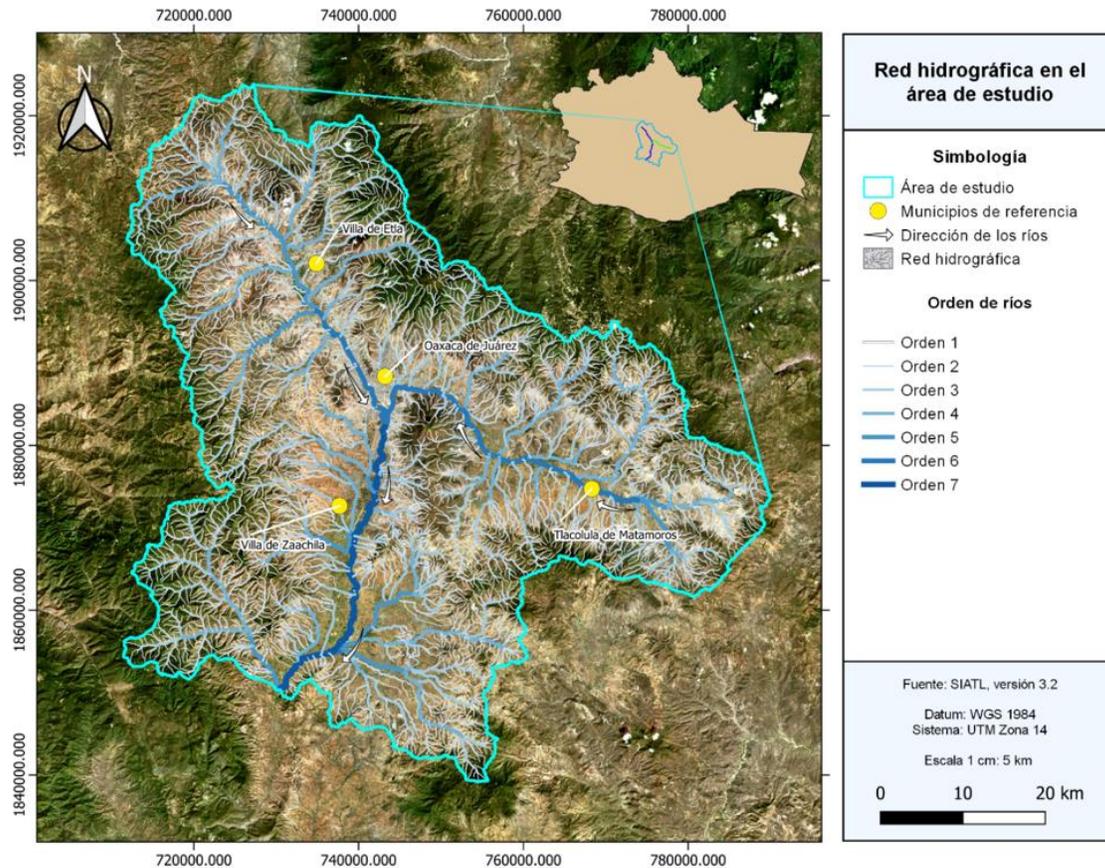
La red hidrográfica en el área de estudio es compleja, con afluentes intermitentes y perenes alimentados por tributarios de diferente orden. El orden de los afluentes de los cauces presentes en una cuenca se clasifica de acuerdo a la unión de los tributarios que origina a cada uno de éstos, reflejando el grado de ramificación del sistema de drenaje de la cuenca. Romero y López (1987) describen que el número de orden se asigna considerando lo siguiente:

- Los cauces de primer orden son los que no tienen ningún tributario.
- Los cauces de segundo orden están formados por la confluencia de dos cursos de primer orden.
- Los cauces de tercer orden se constituyen por la confluencia de dos flujos de orden 2 y así sucesivamente.

De acuerdo a lo anterior se encontró que el área de estudio está irrigada principalmente por afluentes de orden 1 y en menor medida de orden 2, presentes en las porciones altimétricas más elevadas de la cuenca y distribuidos en toda el área de estudio. De acuerdo a (*Cotler et al., 2010*) en estas zonas predominan la iniciación y confluencia de las corrientes mencionadas, donde se manifiestan los procesos fluvio-erosivos debido a una mayor energía del relieve por el mayor grado de inclinación de las pendientes. Cabe mencionar que, a mayor número de cursos de primer orden y menor superficie, la torrencialidad de la cuenca será mayor (Romero y López, 1987) y las inundaciones serán más veloces (Sandoval y Aguado, 2002).

En las porciones altimétricas más bajas del área de estudio y conforme los afluentes descienden a través del área de estudio, como lo describe (*Idem*) se observa una mayor integración de la red de drenaje con órdenes intermedios, afluentes de orden 2, orden 3 y orden 4 y la energía del relieve en esta zona es en promedio intermedia al igual que la pendiente. Por otro lado, Ordoñez (2011) explica que cuando un cauce se une con otro de orden mayor, el canal resultante hacia aguas abajo retiene el mayor de los órdenes. El Río en la porción de la Zona de estudio Alto Atoyac es un cauce de orden 6, al igual que el cauce del Río Salado. Conforme estos afluentes descienden, a través del área de estudio, se conectan para conformar un sólo cauce en el Bajo Atoyac, el cual adquiere un orden 7. Por lo que la subcuenca en la que se encuentra inmersa el área de estudio es de orden 7 como se muestra en la siguiente Figura.

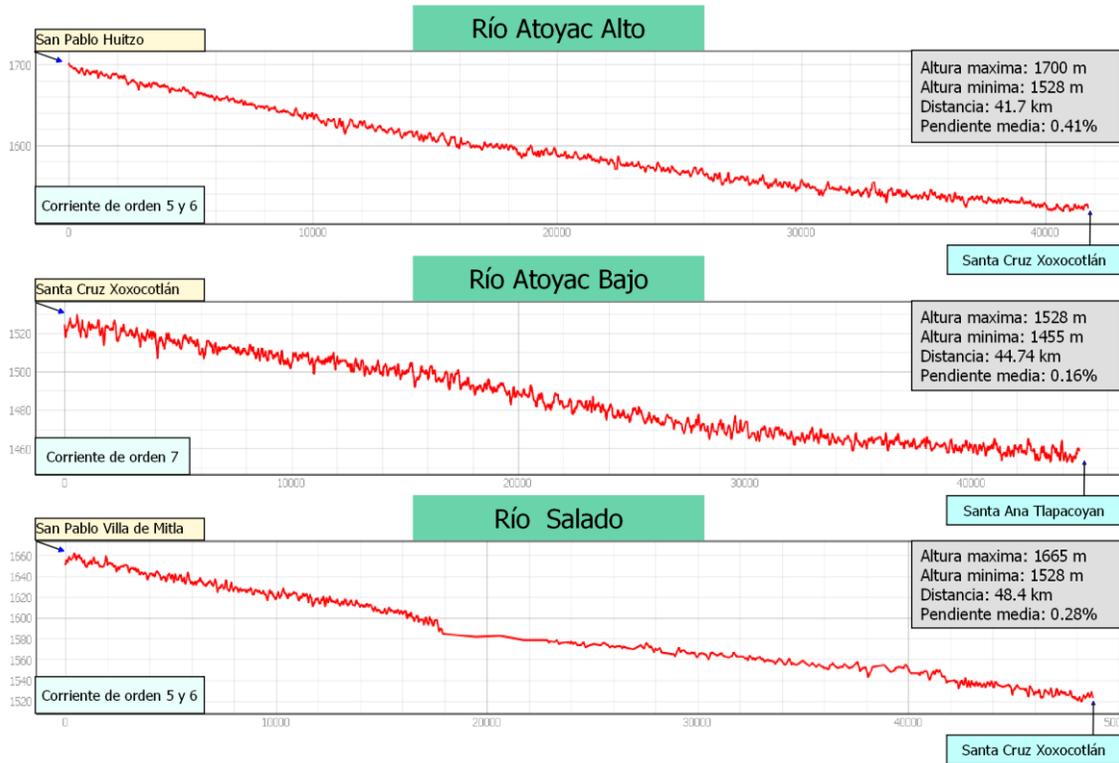
Figura 4.91. Red hidrográfica en el área de estudio.



A la altura de la Ciudad de Oaxaca se ubicaba la estación hidrométrica Oaxaca, que operó durante tres años (1972 a 1974) y donde se registró un gasto máximo de 343 m³/seg y un volumen anual de escurrimientos del orden de los 138.5 millones de m³, presentando gastos muy bajos a nulos durante los meses de marzo a mayo. En las cercanías de Zimatlán de Álvarez opera otra estación hidrométrica donde el Río Atoyac ha registrado un gasto máximo de 272.7 m³/s y un volumen anual de escurrimiento del orden de los 287.3 millones de m³. Finalmente, en Santa Ana Tlapacoyan se ubica otra estación hidrométrica, 1 km aguas arriba de la confluencia del Río San Bernardo, donde se registra un gasto máximo de 223.5 m³/s y un volumen de 339.0 millones de m³ anuales (CONAGUA, 2020). El promedio de precipitación pluvial es de 600 mm, presentándose variaciones considerables ya que hay años de sequía, lo que explica el interés de los campesinos en la perforación de pozos y construcción de obras destinadas a retener el agua.

El punto de máxima altura para la corriente del Río Atoyac en el Alto Atoyac se encuentra en el Municipio de San Pablo Huitzo y el más bajo en el de Santa Cruz Xoxocotlán. El mismo cauce en la zona de estudio del Bajo Atoyac se ubica en Santa Cruz Xoxocotlán y el más bajo en la localidad de Santa Ana Tlapacoyan. El punto de máxima altura para el Río Salado se encuentra en el Municipio de Villa de Mitla coincidiendo el punto más bajo en Santa Cruz Xoxocotlán en la siguiente figura.

Figura 4.92. Orden y puntos de máxima y mínima altura de los cauces de las zonas de estudio.



Dentro del área de estudio se localiza la presa Matías Romero o Los Cuajilotes sobre el Río Negro, afluente del Río Atoyac, en el Municipio de Huitzo. Cuenta con una capacidad de almacenamiento 3 millones de m³, destinadas al uso agrícola para el riego de 482 ha. También se cuenta con una galería filtrante, actualmente fuera de uso. Se utilizan además toma directa para el riego de terrenos aledaños. Es importante señalar que los flujos de agua superficial y subterránea tienen una relación estrecha, sin embargo, no siempre tienen los mismos límites, ya que responden a dinámicas hidrológicas que son espacial y temporalmente distintas. De esta forma, los flujos de agua superficial que se relacionan con la cuenca hidrográfica se refieren a ríos y arroyos, directamente alimentados por la precipitación y los escurrimientos. Los flujos de agua subterránea vinculados con la cuenca hidrológica están relacionados con los acuíferos, que se irán recargando en función del estrato geológico y las direcciones de los flujos (Cottler, 2013).

En este sentido, el Manejo Integrado de Cuenca, busca establecer mecanismos que permitan contar con ríos limpios y vivos, que mantengan su caudal por mayor tiempo a lo largo del año, que les permita desarrollar sus funciones ecológicas, sirva de sostén para otras formas de vida y provea de servicios ecosistémicos a la población. Tanto en el Plan Integral como en los ejes II. Manejo Integrado de Cuenca y VI. Rehabilitación de cauces de ríos y riberas se establecen mecanismos directos para proteger y manejar estos cauces y ríos tributarios. Y los ejes III. Saneamiento y reuso del agua, como el eje IV. Manejo Integral de Residuos, buscan implementar líneas estratégicas que disminuyan su contaminación por fuentes puntuales. El Plan Integral buscará además de retomar estos puntos, establecer mecanismos para propiciar la coordinación interinstitucional e intersectorial para la recuperación ambiental de los ríos Atoyac y Salado y propone el establecer las Condiciones Particulares de Descarga, para regular de mejor forma, la calidad del agua que se descarga en estos afluentes.

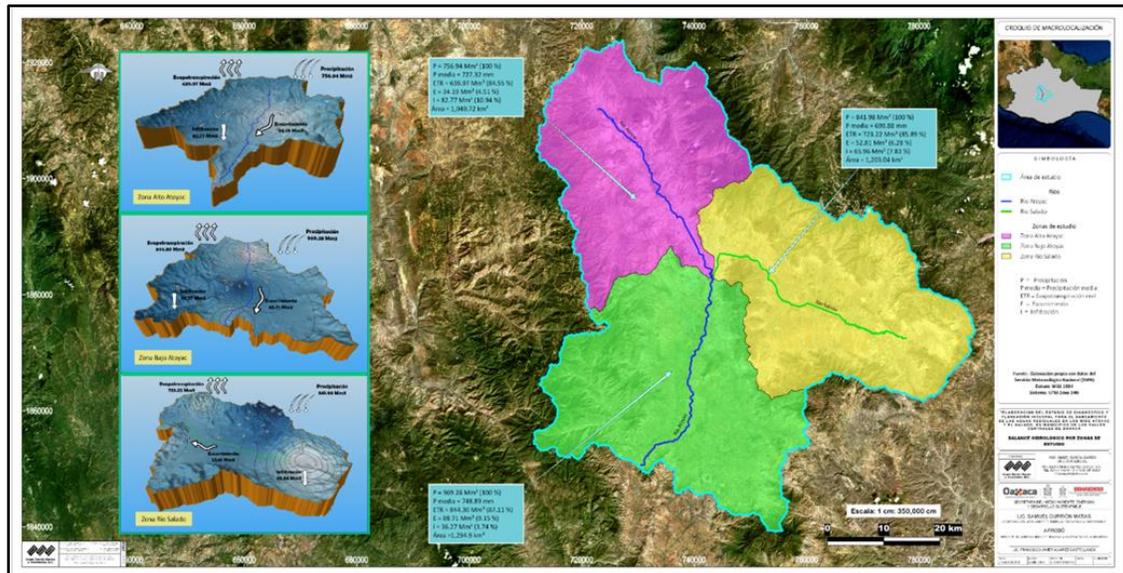
De conformidad con el Boletín Hidrológico No. 31, zona de las costas de Guerrero y Oaxaca, el acuífero de Valles Centrales se ubica dentro de la Región Hidrológica 20, Costa Chica de Guerrero, en la Subregión 20 B Costa Chica-Río Verde, cuenca del Río Atoyac. Sus límites laterales coinciden con el parteaguas de la Subcuenca Río Atoyac-Oaxaca de Juárez, su principal corriente superficial es el Río Atoyac.

En la porción central del valle, entre las poblaciones de Zimatlán y Zaachila, los escurrimientos torrenciales de los arroyos de Zimatlán y Trinidad, tributarios del Río Atoyac por su margen derecha, originan inundaciones las que se mantienen durante varios meses posteriores a la temporada de lluvias.

4.2.19.1. Balance de aguas superficiales

Para la elaboración del balance de aguas superficiales el área de estudio se dividió en 3 zonas (Alto Atoyac, Bajo Atoyac y Río Salado) las cuales se muestran en la siguiente figura y de las cuales se realizó el respectivo balance hidrológico.

Figura 4.93. Distribución y áreas para balance hidrológico en el acuífero de los Valles Centrales de Oaxaca.



La ecuación de balance de aguas superficiales conlleva una serie de parámetros que definen el ciclo hidrológico, para lo cual es necesario plantear una ecuación que los relacione.

$$\text{Precipitación} = \text{Esguerrimiento} + \text{Retenciones} + \text{Evapotranspiración} + \text{Infiltración}$$

Para el caso de la cuenca en la que se ubica el acuífero de los Valles Centrales de Oaxaca, es una cuenca abierta en la que los únicos escaurmientos perennes son el Río Atoyac y El Salado, los cuales actúan como drenes en ciertas porciones del acuífero, dada la presencia de zonas con niveles freáticos someros, también tiene lugar el proceso de evaporación y por supuesto el de infiltración para la recarga del acuífero, el termino correspondiente a las retenciones en este caso no interviene ya que se carece de almacenamiento de tamaño considerable, por lo que la ecuación de balance planteada se reduce a:

Precipitación (P) = Ecurrimiento (E) + Evapotranspiración (V_{ETR}) + Infiltración (I)

De estos términos, los volúmenes pendientes por calcular son el correspondiente a la Infiltración, que finalmente constituye la incógnita de esta ecuación; sustituyendo valores en la ecuación de balance superficial y dejando como incógnita la infiltración se obtiene lo mencionado en el Cuadro 4.52.

4.2.19.2. Resultados

El siguiente apartado fue desarrollado con la información existente y disponible con lo que se generó un acercamiento al conocimiento del acuífero de Valles Centrales, sin embargo, se requieren datos actualizados para lo cual es necesario hacer estudios específicos de diversa índole con lo dictado por la NOM-011-CONAGUA-2015.

Los resultados derivados del análisis realizado se obtuvieron los valores del balance hidrológico descrito en el siguiente cuadro.

Cuadro 4.52. Valores de obtenidos por variables para elaboración de balance hidrológico en el área de los Valles Centrales.

Zona de estudio	Precipitación (Mm ³) (%)		Precipitación (mm)	Ecurrimiento (Mm ³) (%)		Evapotranspiración (Mm ³) (%)		Infiltración (Mm ³) (%)		Área de la Zona (Km ²)
Alto Atoyac	756.94	100	727.32	34.19	4.51	639.97	84.55	82.7	10.94	1,040.72
Bajo Atoyac	969.28	100	748.89	88.71	9.15	844.30	87.11	36.27	3.74	1,294.9
Río Salado	841.98	100	699.88	52.81	6.28	723.22	85.89	65.96	7.83	1,203.04
Total	2,568.2			175.71		2,207.49		184.93		3,538.66

Sustituyendo los valores del Cuadro 4.52 en la ecuación de balance se obtiene:

$$I = P - E - E_{ETR}$$

$$I = (2,568.2 \times 10^6) - (175.71 \times 10^6) - (2,207.49 \times 10^6)$$

De este volumen, pasa a cubrir la deficiencia de humedad que tenga el suelo y la que se queda retenida en la zona de aireación y el resto que pase después de cumplirse esto, llegaría a formar parte de la zona de saturación constituyéndose en agua subterránea.

Nota: Los resultados que a continuación se presentan son parte de la compilación y análisis de los diferentes estudios geohidrológicos desarrollados en el acuífero de los Valles Centrales los cuales deberán de actualizarse. Existe un estudio realizado por la CONAGUA en el año 2020, sin embargo muchos de los datos empleados ya no son de utilidad pues algunas de las condiciones hidráulicas del acuífero han sido alteradas por la presión a la que se ha sometido.

4.2.19.3. Aprovechamientos por tipo y uso

La información descrita en este apartado, en relación a los aprovechamientos del agua, fue consultada en la base de datos del Registro Público de Derechos del Agua (REPGA) en donde se encuentran los registros de aprovechamientos de los títulos de concesión asignación, permisos o acto administrativo, los cuales se sujetan a las disposiciones establecidas por la Ley de Aguas Nacionales (LAN).

Si se considera la información que se tiene de los aprovechamientos reportados en la base de datos del REPGA de la CONAGUA, el número total de estos suman 7,362 de los cuales 6,410 son pozos y 952 son pozos tipo noria y de los cuales se extrae un volumen de agua de 168.07 Hm³.

Con respecto a la distribución de los aprovechamientos y volumen de extracción por uso se tiene lo que se describe en el siguiente cuadro:

Cuadro 4.53. Distribución, uso y volúmenes de extracción de agua subterránea en el acuífero de los Valles Centrales.

Distribución	Tipo	Total de aprovechamientos	Uso	Volumen de extracción (Mm ³)
Alto Atoyac	Superficial	113	Agrícola	8.54
		1	Doméstico	0.0005
		2	Industrial	0.01
		1	Pecuario	0.0003
		41	Público	4.77
		2	Servicios	0.10
	Subterráneo	1,364	Agrícola	15.29
		111	Doméstico	0.04
		24	Industrial	0.63
		3	Pecuario	0.05
		165	Público	29.30
		93	Servicios	1.25
		1	Sin servicio/A	0.0002
Bajo Atoyac	Superficial	1	Acuacultura	0.04
		522	Agrícola	17.16
		29	Doméstico	0.01
		2	Pecuario	0.11
		66	Público	1.95
	Subterráneo	1	Acuacultura	0.005
		2,612	Agrícola	37.58
		250	Doméstico	0.05
		7	Industrial	0.18
		4	Pecuario	0.003
		173	Público	16.09
		56	Servicios	0.49
		1	Sin servicio/A	0.01
Río Salado	Superficial	2	Acuacultura	0.004
		124	Agrícola	9.41
		6	Doméstico	0.002
		1	Pecuario	0.001
		36	Público	2.70
		2	Servicios	0.002
	Subterráneo	1,263	Agrícola	7.58
		73	Doméstico	0.02
		20	Industrial	0.19
		2	Pecuario	0.004
		89	Público	13.03
		98	Servicios	1.47
		1	Sin servicio/A	0.002
Total				168.06

Con respecto a la distribución por volumen de extracción asociado a los tipos de aprovechamientos Superficiales y Subterráneos (de los cuales 951 son superficiales y 6,411 subterráneos) se tiene que, para el primero, el volumen máximo de extracción corresponde al uso Agrícola con 35.109 Mm³ y el volumen menor corresponde al uso Industria con 0.005708 Mm³ y para el caso de las Aguas Subterráneas se tienen dos usos principales Agrícola y Público con volúmenes de extracción máximos de 60.45160 Mm³ y 58.4211 Mm³ respectivamente y el de menor extracción corresponde al uso Sin Servicio/A con 0.01229 Mm³ tal y como se muestra en los Cuadros 4.54 y 4.55 respectivamente.

Cuadro 4.54. Tipo, Uso y volúmenes de extracción por tipo de aprovechamiento.

Distribución de volúmenes por tipo de aprovechamiento en la zona de estudio			
Tipo de aprovechamiento	Total de aprovechamientos	Uso	Volumen (Mm ³)
Superficial	951	Agrícola	35.10970941
		Doméstico	0.01173489
		Industrial	0.005708
		Pecuario	0.1102233
		Público	9.42025605
		Servicios	0.0992934
		Acuacultura	0.044494
		Total	44.80141905

Cuadro 4.55. Tipo, uso y volúmenes de extracción por tipo de aprovechamiento.

Distribución de volúmenes por tipo de aprovechamiento en la zona de estudio			
Tipo de aprovechamiento	Total de aprovechamientos	Uso	Volumen (Mm ³)
Subterránea	6,411	Agrícola	60.45160735
		Doméstico	0.10932897
		Industrial	1.00047571
		Pecuario	0.054431
		Público	58.42115395
		Servicios	3.21165925
		Acuacultura	0.0045
		Sin Servicio	0.0122904
		Total	123.2654466

Con respecto a la distribución de los volúmenes de extracción por zona se tiene que en el Alto Atoyac se extraen 59.96175 Mm³ de un total de 1,921 aprovechamientos, del Bajo Atoyac se extraen 73.67293 Mm³ de un total de 3,724 aprovechamientos (siendo los usos Agrícola y Público con mayores volúmenes de extracción con 54.7373 Mm³ y 18.0393 Mm³ respectivamente y los de menor extracción corresponden a los usos Acuacultura con 0.0445 Mm³ y sin servicio asignado con 0.01006 Mm³) y la zona con menos volumen de extracción corresponde a la del Río Salado con 34.43217 Mm³ (con 1,717 aprovechamientos) tal y como se muestra en los Cuadros 4.56, 4.57 y 4.58.

En las Figuras 4.94, 4.95, 4.96 y 4.97 se muestran la distribución total de los aprovechamientos en la zona de estudio, así como la distribución por zona.

Cuadro 4.56. Distribución, uso y volúmenes de extracción para la Zona del Alto Atoyac.

Distribución de volúmenes por uso en la zona del alto Atoyac		
Usos	Total de aprovechamientos	Volumen (Mm3)
Agrícola	1477	23.83064556
Domestico	112	0.03558964
Industrial	26	0.6386705
Pecuario	4	0.047901
Público	206	34.06535196
Servicios	95	1.34336595
Sin Servicio/A	1	0.0002304
Total	1921	59.96175501

Cuadro 4.57. Distribución, uso y volúmenes de extracción para la Zona del Bajo Atoyac.

Distribución de volúmenes por uso en la zona del Bajo Atoyac		
Usos	Total de aprovechamientos	Volumen (Mm3)
Agrícola	3134	54.7373543
Domestico	279	0.05891622
Industrial	7	0.17807851
Pecuario	6	0.1116568
Público	239	18.03931956
Servicios	56	0.493051
Acuicultura	2	0.0445
Sin Servicio/A	1	0.01006
Total	3724	73.67293639

Cuadro 4.58. Distribución, uso y volúmenes de extracción para la Zona del Río Salado.

Distribución de volúmenes por uso en la zona del Rio Salado		
Usos	Total de aprovechamientos	Volumen (Mm3)
Agrícola	1387	16.9933169
Domestico	79	0.026558
industrial	20	0.1894347
Pecuario	3	0.0050965
Público	125	15.73673848
Servicios	100	1.4745357
Acuicultura	2	0.004494
Sin Servicio/A	1	0.002
Total	1717	34.43217428

Figura 4.94. Distribución de aprovechamientos en el acuífero de los Valles Centrales.

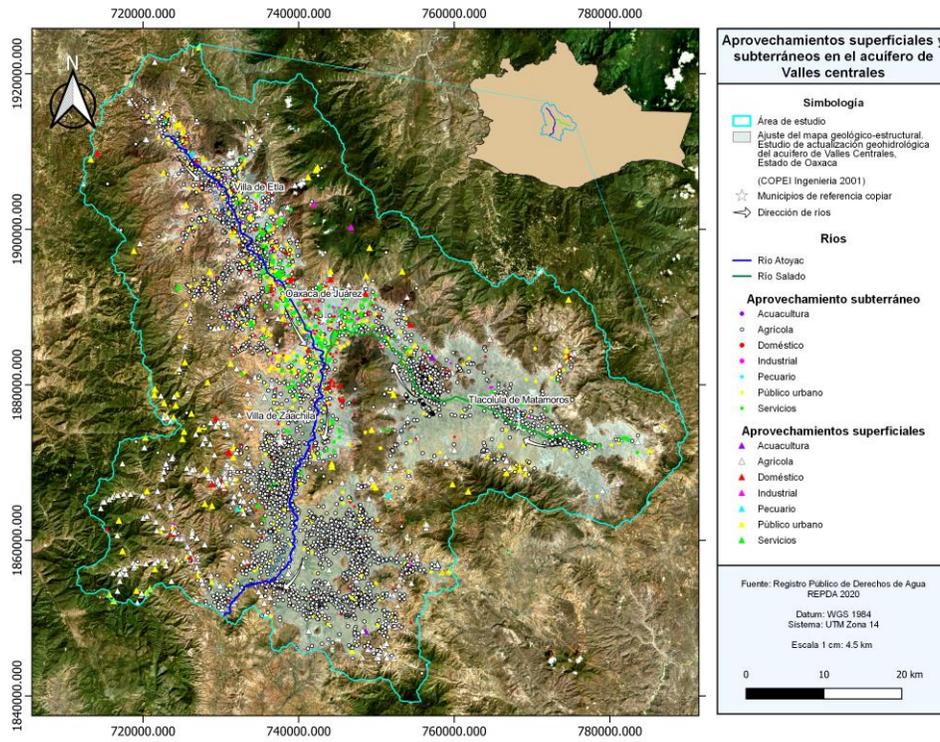


Figura 4.95. Distribución de aprovechamientos para la Zona Alto Atoyac.

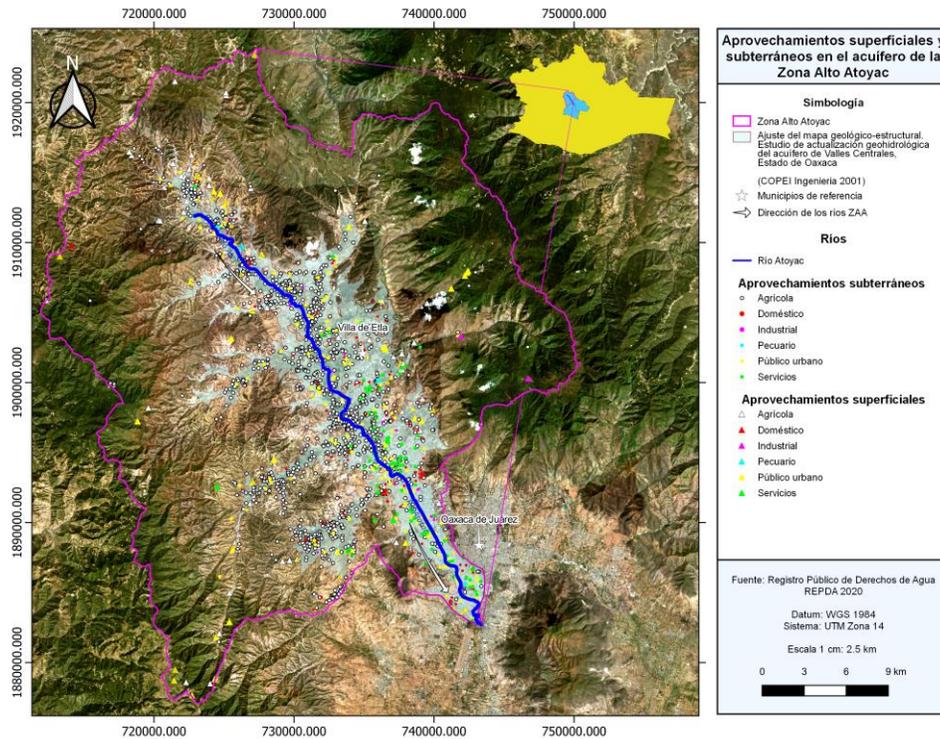


Figura 4.96. Distribución de aprovechamientos para la Zona Bajo Atoyac.

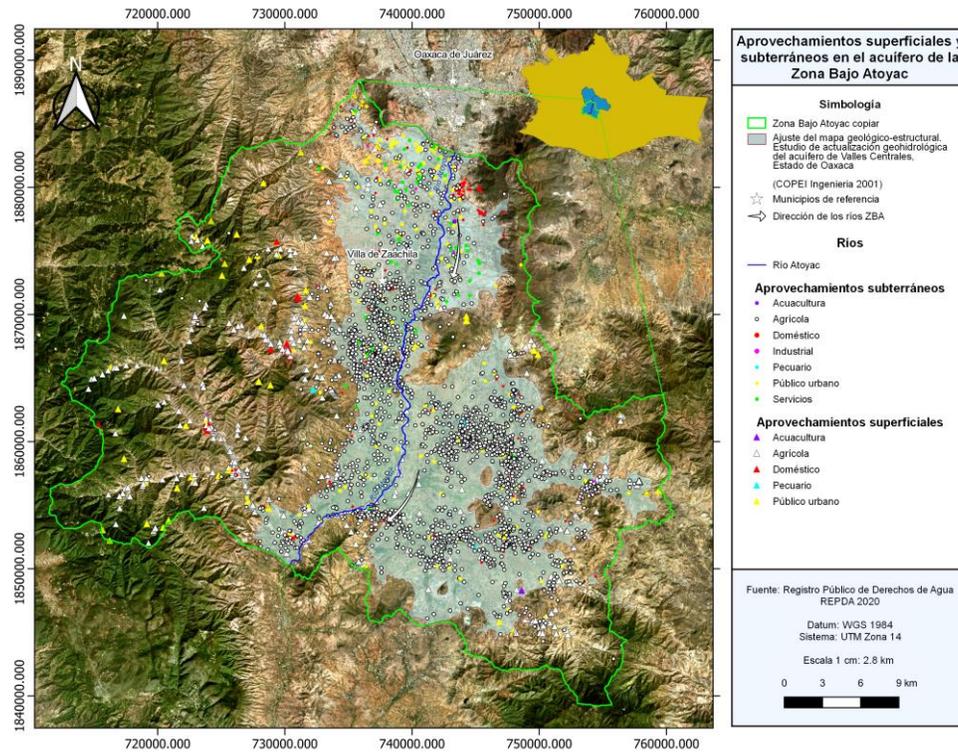
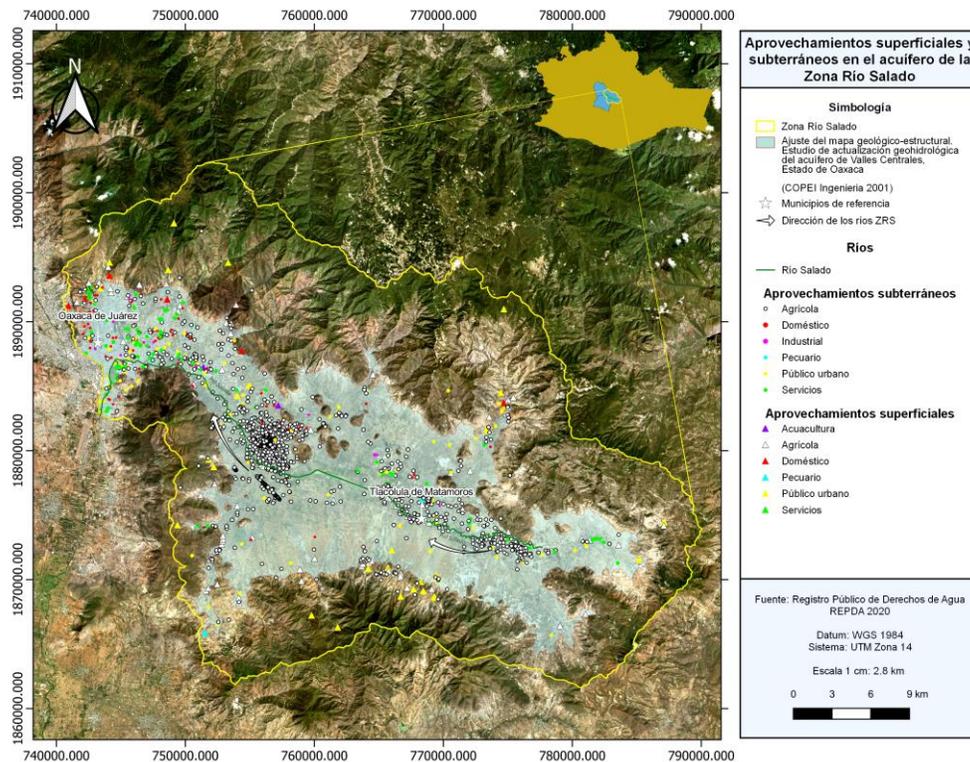


Figura 4.97. Distribución de aprovechamientos para la Zona Río Salado.



De los 105 municipios presentes en el área de estudio, 94 tienen concesiones para el aprovechamiento del agua. No se encuentran mencionados en el resumen anterior 11 municipios, ya que la mayor parte de su territorio, así como de los aprovechamientos que hacen, se encuentra fuera del perímetro del área de estudio. Estos municipios son:

1. Santa María Peñoles
2. Santa María Lachixio
3. Santa Catarina Lachatao
4. San Miguel Peras
5. San Miguel Amatlán
6. San Lorenzo Albarradas
7. San Dionisio Ocotepéc
8. San Andrés Nuxiño
9. San Baltazar Chichicapam
10. Nuevo Zoquiapam
11. San Pedro Taviche

La distribución de los aprovechamientos en el Alto Atoyac se observa principalmente sobre el afluente del Río Atoyac, en el Bajo Atoyac se distribuyen sobre el afluente con mayor concentración en la porción media y además en la porción este de la zona, finalmente en Río Salado se ven menos aprovechamientos con una concentración en la parte media de la zona hacia oeste. Cabe mencionar que los volúmenes mencionados no representan la totalidad de los aprovechamientos ya que muchos no están registrados en el REPDA (Figuras 4.94, 4.95, 4.96 y 4.97).

Como se ha mencionado, la recuperación ambiental de los ríos Atoyac y Salado, representa una oportunidad para poder utilizar el agua superficial que circula por estos afluentes, y gradualmente disminuir el impacto sobre el agua subterránea, quedando ésta como un reservorio ante fenómenos adversos como sequías. Tanto el Plan Integral como al matriz del GET con la implementación de todos los ejes, líneas de acción, actividades y metas, con su implementación, permitirán recuperar estos importantes ríos.

4.2.20. Salud e higiene

La Unidad de Epidemiología de la Dirección de Prevención y Promoción de los Servicios de Salud de Oaxaca (SSO) menciona que para los 38 municipios considerados en este estudio se han registrado 127 padecimientos de diversa índole, los cuales se han presentado durante más de cinco años, del 2016 a marzo del año en curso, 2021, como se aprecia en el siguiente Cuadro.

Cuadro 4.59. Número de padecimientos ocurridos en los 38 municipios contemplados en este estudio de acuerdo a la SSO.

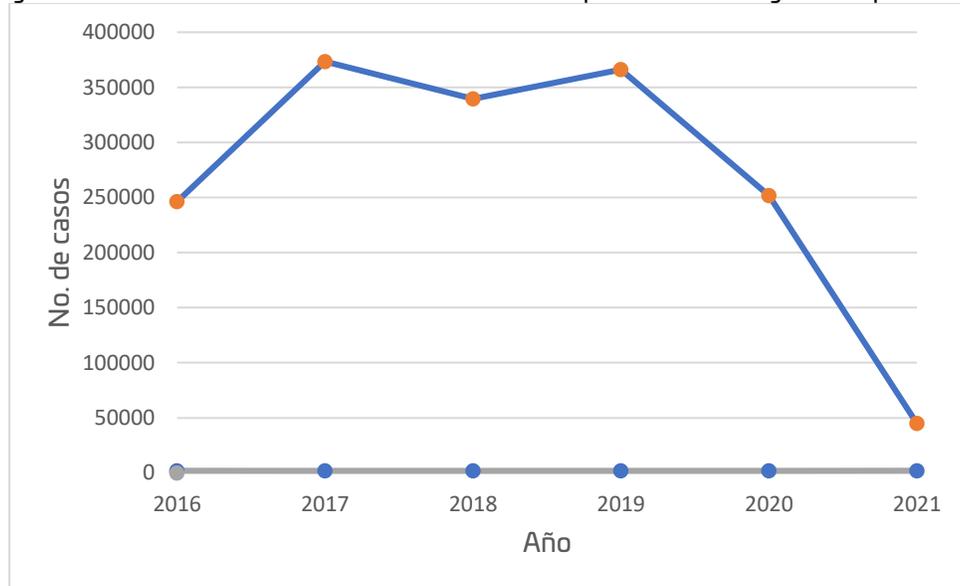
No.	Municipios	Año					
		2016	2017	2018	2019	2020	2021*
1	Ciénega Zimatlán	769	653	525	479	423	64
2	Guadalupe Etla	350	373	263	395	250	23
3	Magdalena Apasco	1,146	1,269	1,234	1,086	1,596	279

No.	Municipios	Año					
		2016	2017	2018	2019	2020	2021*
4	Nazareno Etla	295	350	318	363	200	19
5	Oaxaca De Juárez	135,929	195,144	176,837	188,556	132,552	25,301
6	Reyes Etla	1,132	1,206	1,140	1,299	798	125
7	Rojas De Cuahutemoc	659	995	905	976	397	66
8	San Agustín De Las Juntas	806	5,664	5,318	5,262	4,115	634
9	San Andrés Zautla	916	818	503	818	430	66
10	San Antonio De La Cal	4,443	9,512	8,644	8,881	6,268	857
11	San Bartolo Coyotepec	4,573	4,599	4,526	4,542	4,439	981
12	San Francisco Telixtlahuaca	2,520	4,192	3,548	4,735	3,985	711
13	San Jacinto Amilpas	1,268	2,896	4,225	4,870	1,553	178
14	Ánimas Trujano	814	1,764	1,432	2,881	3,521	463
15	San Juan Guelavía	728	756	475	387	384	61
16	San Lorenzo Cacaotepec	2,623	5,311	4,041	3,886	4,333	562
17	San Pablo Huitzo	1,474	1,586	1,350	1,260	744	136
18	San Pablo Huixtepec	1,954	2,503	3,135	3,869	3,489	1,041
19	San Pablo Villa De Mitla	2,488	2,370	1,675	2,273	1,368	133
20	San Pe. San Pa. Villa De Etla	2,090	4,750	3,277	3,402	2,607	529
21	San Sebastián Abasolo	856	829	717	993	422	62
22	San Sebastián Tutla	4,635	7,106	6,026	8,675	4,949	369
23	Santa Ana Zegache	856	414	417	516	238	40
24	Santa Catarina Quiane	459	537	418	468	259	46
25	Santa Cruz Amilpas	2,020	2,017	1,308	1,312	717	54
26	Santa Cruz Papalutla	1,519	1,559	1,321	1,908	881	112
27	Santa Cruz Xoxocotlán	10,608	24,519	22,502	26,168	17,446	2,708
28	Santa Lucía Del Camino	33,015	45,122	43,206	42,696	23,544	3,628
29	Santa María Atzompa	2,679	4,325	3,760	4,237	2,936	444
30	Santa María Coyotepec	1,177	3,714	3,191	4,984	3,712	538
31	Santa María Del Tule	1,270	3,459	3,923	4,054	2,892	475
32	Santa María Guelacé	232	248	236	259	111	15
33	Santiago Suchilquitongo	1,882	2,414	1,321	1,600	1,128	92
34	Soledad Etla	716	716	535	976	822	62
35	Tlacolula De Matamoros	5,728	9,938	11,809	10,667	5,422	1,446
36	Tlaxiactac De Cabrera	1,462	2,134	1,369	1,314	544	36
37	Villa De Zaachila	3,970	8,072	5,184	6,220	4,549	660
38	Zimatlán De Álvarez	6,204	9,560	9,043	8,984	7,844	1,833
	Total	246,265	373,394	339,657	366,251	251,868	44,849

2021* Hasta semana epidemiológica no. 12 (marzo).

El año en el que se registró el mayor número de padecimientos fue el 2017 y el menor número de casos se registró en el 2016, hay un incremento para el siguiente año, 2017, en el que se registra el mayor número de casos de todo el histórico. En el 2018 se registra un descenso de los casos y para el 2019 vuelve a aumentar, sin embargo, el número de casos no es mayor al registrado en el 2017. El registro del número de casos para el año en curso, 2021, está contabilizado hasta el mes de marzo. Por los más de cinco años de registros, el municipio con mayor y menor número de casos ha sido Oaxaca de Juárez y Santa María Guelacé respectivamente como se ve en la siguiente figura.

Figura 4.98. Histórico del número de casos de diversos padecimientos registrados por la SSO.



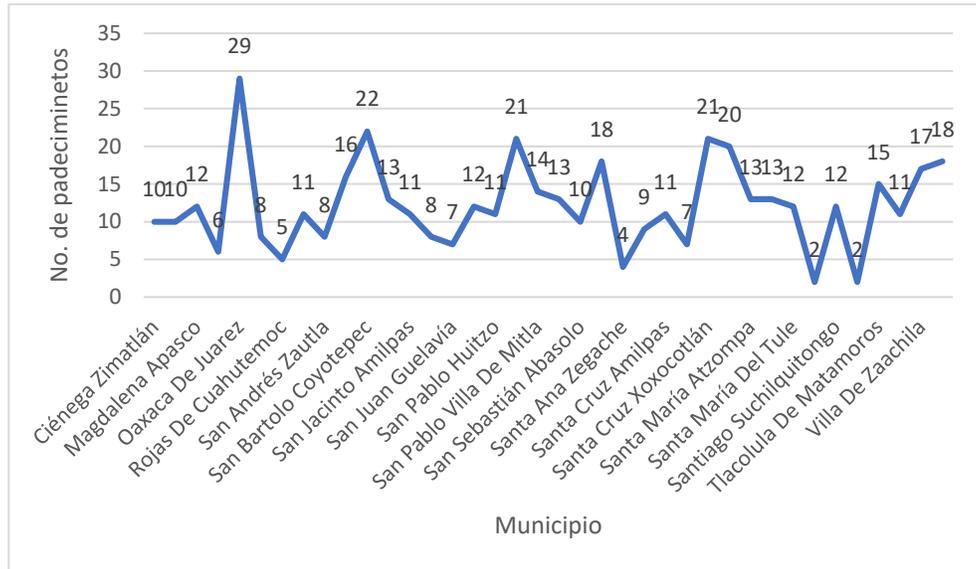
De los padecimientos registrados en los 38 municipios mencionados anteriormente, se observa que 30 afecciones están relacionadas con el consumo y uso de agua contaminada (Cuadro 4.61). El municipio que ha presentado el mayor número tanto de casos como de tipo de padecimientos, del 2016 a marzo del 2021, es Oaxaca de Juárez. En éste se manifestaron 29 de los 30 padecimientos vinculados con agua contaminada y en los Municipios de Santa María Guelacé y Soledad Etla se presentaron sólo dos padecimientos (Figura 4.99).

Cuadro 4.61. Municipios con el mayor número de casos registrados de los padecimientos vinculados al consumo y uso de agua contaminada.

Padecimiento	Municipio con mayor incidencia	No. de casos del 2016 a marzo de 2021
Absceso hepático amebiano	Oaxaca de Juárez	7
Amebiasis intestinal	Oaxaca de Juárez	5,741
Ascariasis	Santa Cruz Xoxocotlan	336
Conjuntivitis	Oaxaca de Juárez	28,354
Dengue con signos de alarma	Oaxaca de Juárez	822
Dengue grave	Oaxaca de Juárez	206
Dengue no grave	Oaxaca de Juárez	5,710

Enfermedad por virus Chikungunya	Oaxaca de Juárez	38
Enteritis debida a rotavirus	San Bartolo Coyotepec	2
Enterobiasis	San Sebastian Tutla	96
Fiebre paratifoidea	Oaxaca de Juárez	8
Fiebre tifoidea	Oaxaca de Juárez	46
Giardiasis	Oaxaca de Juárez	110
Hepatitis vírica A	Oaxaca de Juárez	398
Infección por virus Zika	Oaxaca de Juárez	308
Infecciones intestinales por otros organismos y las mal definidas	Oaxaca de Juárez	125,390
Intoxicación alimentaria bacteriana	Oaxaca de Juárez	376
Intoxicación por plaguicidas	Oaxaca de Juárez	37
Leishmaniasis visceral	San Bartolo Coyotepec	1
Lepra	Oaxaca de Juárez	2
Leptospirosis	Oaxaca de Juárez	23
Meningitis meningocócica	Oaxaca de Juárez	1
Otras helmintiasis	Oaxaca de Juárez	3,597
Otras hepatitis víricas	Oaxaca de Juárez	101
Otras infecciones intestinales debidas a protozoarios	Oaxaca de Juárez	989
Otras salmonelosis	Oaxaca de Juárez	320
Shigelosis	Oaxaca de Juárez	54
Teniasis	Oaxaca de Juárez	2
Teniasis	San Pablo Huixtepec	2
<i>Tripanosomiasis americana</i> (enfermedad de Chagas) aguda	Oaxaca de Juárez	3
<i>Tripanosomiasis americana</i> (enfermedad de Chagas) crónica	Oaxaca de Juárez	25

Figura 4.99. Número de padecimientos vinculados al consumo y uso de agua contaminada registrados en los 38 municipios considerados en el estudio de diagnóstico y planeación integral para el saneamiento en los Ríos Atoyac y Salado.



Los padecimientos registrados se relacionan con la carencia de agua potable o con una calidad deficiente de la misma, sin embargo, es complicado vislumbrar la causa específica de las enfermedades, ya que la información proporcionada por parte de la SSO no menciona información sobre la temporalidad ni la intensidad de los eventos. Y la distribución geográfica se conoce sólo a nivel de municipio.

-Determinación de cloro residual

La calidad del agua es un factor determinante para contribuir a mantener estable la salud pública. La cloración es un proceso empleado en los tratamientos de aguas para desinfectarla de los microorganismos patógenos que puedan haber sobrevivido a los procesos de potabilización, desalación o depuración. La cloración garantiza la calidad del agua ante posibles contaminaciones accidentales o durante su recorrido a través de la red de abastecimiento o saneamiento. Además de lograr la destrucción de patógenos, también sirve para eliminar sólidos minerales y orgánicos no deseados.

Se resumen los resultados obtenidos respecto a la calidad del agua de los Municipios que la trataron con cloro, durante los meses de junio a diciembre del año 2020 en los siguientes seis Cuadros.

Cuadro 4.62. Determinación de cloro residual en el mes de junio del 2020.

Municipio	No. de habitantes	Total	Debajo de norma 0 A <0.2	%	Norma 0.2-1.5	%	>1.5	%	Dentro y por arriba de norma	%
Ánimas Trujano	3,759	8	0	0	8	100	0	0	8	100
Ciénega de Zimatlán	2,785	10	0	0	9	90	1	10	10	100
San Andrés Zautla	4,405	5	0	0	5	100	0	0	5	100
San Bartolo Coyotepec	8,684	4	0	0	4	100	0	0	4	100
San Francisco Telixtlahuaca	11,893	3	0	0	3	100	0	0	3	100
San Pablo Huixtepec	9,025	10	0	0	10	100	0	0	10	100
San Sebastian Tutla	16,241	4	0	0	4	100	0	0	4	100
Santa Ana Zegache	3,592	8	0	0	7	87.5	1	12.5	8	100
Santa Catarina Quiané	1,847	6	0	0	6	100	0	0	6	100
Santa Cruz Amilpas	10,120	9	0	0	9	100	0	0	9	100
Santa María Coyotepec	2,772	2	0	0	2	100	0	0	2	100
Santa María del Tule	8,165	10	0	0	10	100	0	0	10	100
Soledad Etla	5,025	6	0	0	6	100	0	0	6	100
Villa de Etla	9,280	5	0	0	5	100	0	0	5	100
Villa de Zaachila	34,101	8	0	0	8	100	0	0	8	100
Zimatlán de Álvarez	19,215	10	0	0	10	100	0	0	10	100
Total	150,909	108	0	0	106		2		108	

Cuadro 4.63. Determinación de cloro residual en el mes de julio del 2020.

Municipio	No. de habitantes	Total	Debajo de norma 0 A <0.2	%	Norma 0.2-1.5	%	>1.5	%	Dentro y por arriba de norma	%
Ánimas Trujano	3,759	2	2	100	0	0	0	0	0	0
Ciénega de Zimatlán	2,785	10	0	0	8	80	2	20	10	100
San Andrés Zautla	4,405	6	0	0	6	100	0	0	6	100
San Bartolo Coyotepec	8,684	4	0	0	4	100	0	0	4	100
San Francisco Telixtlahuaca	11,893	6	0	0	6	100	0	0	6	100
San Pablo Huixtepec	9,025	8	0	0	8	100	0	0	8	100
San Sebastian Tutla	16,241	4	0	0	4	100	0	0	4	100
Santa Ana Zegache	3,592	5	0	0	5	100	0	0	5	100
Santa Catarina Quiané	1,847	4	0	0	4	100	0	0	4	100
Santa Cruz Amilpas	10,120	6	0	0	6	100	0	0	6	100
Santa María del Tule	8,165	9	0	0	9	100	0	0	9	100
Soledad Etla	5,025	4	0	0	4	100	0	0	4	100
Villa de Etla	9,280	4	0	0	4	100	0	0	4	100
Villa de Zaachila	34,101	8	0	0	8	100	0	0	8	100
Zimatlán de Álvarez	19,215	8	0	0	8	100	0	0	8	100
Total	148,137	88	2		84		2		86	

Cuadro 4.63. Determinación de cloro residual en el mes de agosto del 2020.

Municipio	No. de habitantes	Total	Debajo de norma 0 A <0.2	%	Norma 0.2-1.5	%	>1.5	%	Dentro y por arriba de norma	%
Ánimas Trujano	3,759	4		0	4	100		0	4	100
Ciénega de Zimatlán	2,785	9		0	9	100		0	9	100
San Andrés Zautla	4,405	6		0	6	100		0	6	100
San Bartolo Coyotepec	8,684	4		0	4	100		0	4	100
San Francisco Telixtlahuaca	11,893	6		0	6	100		0	6	100
San Pablo Huixtepec	9,025	8		0	8	100		0	8	100
Santa Ana Zegache	3,592	5		0	5	100		0	5	100
Santa Catarina Quiané	1,847	4		0	4	100		0	4	100
Santa Cruz Amilpas	10,120	6		0	6	100		0	6	100
Santa María del Tule	8,165	9		0	9	100		0	9	100
Soledad Etlá	5,025	4		0	4	100		0	4	100
Tlaxiáctac de Cabrera	9,417	2	1	50	1	50		0	1	50
Villa de Etlá	9,280	4		0	4	100		0	4	100
Villa de Zaachila	34,101	11	2	18.18	9	81.81		0	9	81.81
Zimatlán de Álvarez	19,215	8		0	8	100		0	8	100
Total	141,313	90	3		87		0		87	

Cuadro 4.64. Determinación de cloro residual en el mes de septiembre del 2020.

Municipio	No. de habitantes	Total	Debajo de norma 0 A <0.2	%	Norma 0.2-1.5	%	>1.5	%	Dentro y por arriba de norma	%
Ánimas Trujano	3,759	4		0	4	100		0	4	100
Ciénega de Zimatlán	2,785	9		0	8	88.88	1	11.11	9	100
Reyes Etlá	3,568	2	2	100		0		0	0	0
San Andrés Zautla	4,405	6		0	6	100		0	6	100
San Bartolo Coyotepec	8,684	4		0	4	100		0	4	100
San Francisco Telixtlahuaca	11,893	6		0	6	100		0	6	100
San Lorenzo Cacaotepec	13,704	2	2	100		0		0	0	0
San Pablo Huixtepec	9,025	8		0	8	100		0	8	100
San Sebastián Tutla	16,241	4		0	4	100		0	4	100
Santa Ana Zegache	3,592	5		0	5	100		0	5	100
Santa Catarina Quiané	1,847	4		0	4	100		0	4	100
Santa Cruz Amilpas	10,120	6		0	6	100		0	6	100
Santa María del Tule	8,165	9		0	9	100		0	9	100
Soledad Etlá	5,025	5		0	5	100		0	5	100
Tlaxiáctac de Cabrera	9,417	1		0	1	100		0	1	100
Villa de Etlá	9,280	5		0	5	100		0	5	100
Villa de Zaachila	34,101	10		0	9	90	1	10	10	100
Zimatlán de Álvarez	19,215	10		0	8	80	2	20	10	100
Total	174,826	100	4		92		4		96	

Cuadro 4.65. Determinación de cloro residual en el mes de octubre del 2020.

Municipio	No. de habitantes	Total	Debajo de norma 0 A <0.2	%	Norma 0.2-1.5	%	>1.5	%	Dentro y por arriba de norma	%
Ánimas Trujano	3,759	3	3	100		0		0		0
Ciénega de Zimatlán	2,785	10		0	10	100		0		0
Reyes Etna	3,568	3		0	3	100		0		0
San Andrés Zautla	4,405	6		0	6	100		0		0
San Bartolo Coyotepec	8,684	4		0	4	100		0		0
San Francisco Telixtlahuaca	11,893	6		0	6	100		0		0
San Lorenzo Cacaotepec	13,704	2	2	100		0		0		0
San Pablo Huixtepec	9,025	8		0	8	100		0		0
San Sebastián Tutla	16,241	4		0	4	100		0		0
Santa Ana Zegache	3,592	5		0	5	100		0		0
Santa Catarina Quiané	1,847	4		0	4	100		0		0
Santa Cruz Amilpas	10,120	6		0	6	100		0		0
Santa María del Tule	8,165	9		0	9	100		0		0
Soledad Etna	5,025	5		0	5	100		0		0
Tlalixtac de Cabrera	9,417	1		0	1	100		0		0
Villa de Etna	9,280	5		0	5	100		0		0
Villa de Zaachila	34,101	9		0	9	100		0		0
Zimatlán de Álvarez	19,215	8		0	8	100		0		0
Total	174,826	98	5		93		0		0	

Cuadro 4.66. Determinación de cloro residual en el mes de noviembre del 2020.

Municipio	No. de habitantes	Total	Debajo de norma 0 A <0.2	%	Norma 0.2-1.5	%	>1.5	%	Dentro y por arriba de norma	%
Ánimas Trujano	3,759	3		0	3	100		0		0
Ciénega de Zimatlán	2,785	11		0	10	90.9	1	9.09		0
Reyes Etna	3,568	3		0	3	100		0		0
San Andrés Zautla	4,405	6		0	6	100		0		0
San Bartolo Coyotepec	8,684	4		0	4	100		0		0
San Francisco Telixtlahuaca	11,893	6		0	6	100		0		0
San Lorenzo Cacaotepec	13,704	4		0	4	100		0		0
San Pablo Huixtepec	9,025	8		0	8	100		0		0
Santa Ana Zegache	3,592	5		0	5	100		0		0
Santa Catarina Quiané	1,847	4		0	4	100		0		0
Santa María del Tule	8,165	9		0	9	100		0		0
Santiago Suchilquitongo	9,542	2	2	100		0		0		0
Soledad Etna	5,025	5		0	5	100		0		0
Tlalixtac de Cabrera	9,417	1		0	1	100		0		0
Villa de Etna	9,280	5		0	5	100		0		0
Villa de Zaachila	34,101	9		0	9	100		0		0
Zimatlán de Álvarez	19,215	8		0	8	100		0		0
Total	158,007	93	2		90		1		0	

Cuadro 4.67. Determinación de cloro residual en el mes de diciembre del 2020.

Municipio	No. de habitantes	Total	Debajo de norma 0 A <0.2	%	Norma 0.2-1.5	%	>1.5	%	Dentro y por arriba de norma	%
Ánimas Trujano	3,759	5		0	5	100		0		0
Ciénega de Zimatlán	2,785	10		0	10	100		0		0
Reyes ETLA	3,568	3		0	3	100		0		0
San Andrés Zautla	4,405	6		0	6	100		0		0
San Bartolo Coyotepec	8,684	4		0	4	100		0		0
San Lorenzo Cacaotepec	13,704	5		0	5	100		0		0
San Pablo Huixtepec	9,025	8		0	8	100		0		0
San Sebastián Tutla	16,241	4		0	4	100		0		0
Santa Ana Zegache	3,592	5		0	5	100		0		0
Santa Catarina Quiané	1,847	4		0	4	100		0		0
Santa Cruz Amilpas	10,120	6		0	6	100		0		0
Santa María del Tule	8,165	9		0	9	100		0		0
Soledad ETLA	5,025	5		0	5	100		0		0
Tlaxiáctac de Cabrera	9,417	1		0	1	100		0		0
Villa de ETLA	9,280	5	2	40	3	60		0		0
Villa de Zaachila	34,101	9		0	9	100		0		0
Zimatlán de Álvarez	19,215	8		0	8	100		0		0
Total	162,933	97	2		95		0		0	

De igual forma, otros compuestos nos indican que hay actividades claramente nocivas para la calidad del agua, como el Nitrógeno amoniacal N-NH₃ que sus valores se encuentran elevada en las tres zonas de estudio. Esto está indicando que hay una alta cantidad de materia orgánica, derivada de heces fecales, que se están arrojando continuamente a los afluentes Atoyac y Salado.

Este aspecto requiere atención inmediata porque la morbilidad para el estado de Oaxaca del año 2010 al 2014 a causa de las infecciones intestinales por otros organismos y las definidas incorrectamente ha sido de mayor incidencia en la población. Las enfermedades infecciosas intestinales y las enfermedades bacterianas son la que más muertes han causado. Es importante considerar que se desconoce que otras enfermedades están asociadas a este tipo de contaminación, sin embargo, se estima que miles de ciudadanos se pudieron haber enfermado de tifoidea y afecciones a la piel.

Se sugiere realizar estudios en los que se especifiquen la temporalidad, la distribución geográfica y la intensidad de los eventos registrados por la Unidad de Epidemiología de la Dirección de Prevención y Promoción de los SSO para estimar la ocurrencia de un fenómeno de salud en la población, la proporción de la población que experimenta un proceso patológico en un momento determinado de tiempo, el ritmo al que aparecen nuevos casos de padecimientos, el riesgo de desarrollar una enfermedad en un periodo dado, la tasa de incidencia y velocidad de aparición de un determinado padecimiento en la población, entre otros.

La identificación de la relación entre un factor de exposición y una enfermedad permitiría valorar la relevancia clínica de los padecimientos que la población experimenta y en consecuencia la posibilidad de preverlos y atenderlos de una manera eficiente por lo que sería muy importantes que los SSO generará información que permitiera la correlación con las causas, ya que con los datos proporcionados y mostrados en el presente estudio no se pueden generar afirmaciones al respecto.

La matriz del GET considera en su eje VII. Salud, líneas estratégicas y líneas de acción que permitan desde las campañas de prevención, monitoreo de enfermedades asociadas al agua y a un ambiente contaminado, y capacitación a la población, esquemas para disminuir la afectación a la salud de la población desde lo preventivo, que es en términos económicos más barato que corregir afectaciones. Hay que considerar además que las campañas de combate a agentes vectores que propician enfermedades, se enfocan en un estadio avanzado de los insectos, y que, debido a la elevada contaminación de los ríos Atoyac y Salado encuentran en estas aguas negras un ambiente adecuado para su desarrollo, por lo que la implementación del Plan Integral impactará positivamente entre la población al disminuir la afectación a la salud por la ingesta y producción de alimentos con agua contaminada, y por la propagación de enfermedades por vectores asociados al agua.

4.2.21. Características del entorno urbano

De acuerdo con SINFRA (2021) la Región de Valles Centrales puede ser considerada como una de las primeras comunidades desarrolladas en Mesoamérica, con un asentamiento a nivel regional con un desarrollo civilizado.

El constante incremento poblacional en la región ha genera la necesidad de estructurar espacios y proporcionar servicios, esta situación y la subsecuente cadena de desarrollo generada ha llevado a que, de los 570 municipios que conforman el estado, hay 104 municipios en los que existen 56 centros urbanos caracterizados por su número de habitantes, por la diversidad de usos de suelo, disponibilidad de servicios, transporte y actividades económicas consolidadas o en proceso (SINFRA, 2021).

La Región de Valles Centrales, con una extensión de 9,480 Km² y 1,033,884 habitantes (SINFRA, 2021), cuenta con 121 municipios y las siguientes localidades urbanas:

1. Zona Metropolitana de Oaxaca
2. Zona Conurbada de Etlá
3. Zona Conurbada de Zimatlán
4. Zona Conurbada de Ocatlán
5. Zona Conurbada de Lachigoló
6. Tlacolula de Matamoros
7. San Francisco Telixtlahuaca
8. Heroica Ciudad de Ejutla de Crespo
9. San Pablo Huixtepec
10. San Pablo Villa de Mitla
11. Santiago Suchilquitongo
12. San Pablo Huitzo
13. San Dionisio Ocotepec

Con el objetivo de planear un desarrollo eficiente y equitativo para la población SINFRA ha desarrollado los siguientes instrumentos de planeación:

- Programa Municipal de Ordenamiento Territorial de Santa Cruz Amilpas (propuesta de 2018)
- Programa Municipal de Ordenamiento Territorial de Oaxaca de Juárez (propuesta de 2017)
- Programa Municipal de Ordenamiento Territorial de Tlaxiaco de Cabrera (propuesta de 2017)
- Plan de Desarrollo Urbano de la Villa de Zaachila (propuesta de 2012)
- Actualización del Plan de Ordenamiento de la Zona Conurbada de la Ciudad de Oaxaca (propuesta de 2011)
- Plan Municipal de Ordenamiento Territorial de Santa Lucía del Camino (propuesta de 2010)
- Plan Municipal de Ordenamiento Territorial de Santa Cruz Xoxocotlán (propuesta de 2010)
- Esquema de Desarrollo Urbano del Centro de Población de Santiago Matatlán (vigente desde 1998)
- Plan de Ordenamiento de la Zona Conurbada de la Ciudad de Oaxaca (vigente desde 1994)

SEFIN (2011) realizó un diagnóstico de los Valles Centrales en el que describe que el desarrollo urbano enfrenta problemas originados en una articulación deficiente de inversiones, proyectos y acciones de dependencias y entidades de los tres niveles de gobierno asociadas al desarrollo urbano y el ordenamiento territorial, los efectos que esto traerá son implicaciones en relación a la dotación de servicios públicos como el agua y saneamiento, comunicaciones, electricidad, telecomunicaciones, transportes, control de crecimiento urbano y ecología entre otros.

La problemática en torno al acceso al agua potable es crítica, la cobertura de agua entubada en la región de los Valles Centrales es de 71.1% en las viviendas, encontrándose por encima de la media estatal de 68.9%. La insuficiente disponibilidad de agua se acentúa en la zona metropolitana y en casi 60% de las viviendas no se recibe dotación diaria de agua potable. Por otro lado, la cobertura de drenaje es baja e insuficiente volumen de aguas residuales tratadas.

El volumen de agua tratada en la región es de 10.1 Mm³, de un total de 26.8 m³ a nivel estatal, que representa 37.7% del volumen de agua residual tratada. Por su parte, los colectores de agua no se encuentran habilitados y requieren de una reconstrucción para la adecuada canalización de aguas negras a las plantas de tratamiento. En la región 76.2% de las viviendas dispone de drenaje y este dato se ubica por encima del promedio estatal de 70.3%, pero se encuentra por debajo de la media nacional de 88.8%.

La región de los Valles Centrales presenta, en relación a las siete regiones restantes de la entidad, como la segunda mejor posición en el resultado del Índice de Rezago Social cuenta con los mejores resultados en: I) Grado promedio de escolaridad; II) Población de 15 años o más, analfabeta; III) Población de 15 años y más con educación básica incompleta; IV) Viviendas que no disponen de escusado o sanitario y V) Viviendas que no disponen de energía eléctrica.

En relación al rezago educativo, esta región tiene el menor porcentaje de población de 15 años o más, analfabeta en el estado (8.7%), más bajo que el promedio estatal (16.3%); sin embargo, se encuentra

casi dos puntos porcentuales por encima del promedio nacional (6.9%). La población de 6 a 14 años que no asiste a la escuela (4.7%) es menor que el promedio estatal (5.6%), lo cual resulta positivo, dado que es mejor que la media nacional (4.8%). Los Valles Centrales ocupan el mejor lugar a nivel estatal en población de 15 años y más con educación básica incompleta (45.5%), que es menor que el promedio estatal (57.8%); sin embargo, es superior a la media nacional (41.1%).

Sobre el acceso a los servicios de salud, Valles Centrales ocupa el segundo mejor lugar a nivel estatal en el porcentaje sin derechohabencia a servicios de salud (41.5%); este porcentaje, inclusive, es levemente menor que el promedio estatal (43.1%); sin embargo, es superior al promedio nacional (33.8%).

La calidad y espacios de la vivienda ocupa la segunda mejor posición a nivel estatal en el porcentaje de viviendas con piso de tierra (15.3%), el cual es menor aun que el promedio estatal (18.7%); sin embargo, es poco más del doble que el promedio nacional (6.1%). Presenta el mejor promedio de porcentaje de viviendas que no disponen de escusado o sanitario (2.8%); superando el promedio estatal (5.4%) y el nacional (4.7%).

Uno de los aspectos primordiales para planificar las estrategias dirigidas a satisfacer las demandas básicas de la población, es el conocimiento de los cambios que ésta experimente a lo largo del tiempo, ya sea que aumente, como es la tendencia, o que disminuya, es necesario predecir en que medida sucederá y en qué áreas es más propicio ampliar las zonas urbanas, como se desglosa en el Capítulo VI. Escenarios en el apartado 6.2. Crecimiento de área urbana.

Es importante mencionar que los instrumentos técnicos y normativos como es el caso del Programa de Ordenamiento Ecológico Regional del Territorio del Estado de Oaxaca (POERTEO) o los diagnósticos y ordenamientos municipales, no están accesibles para su consulta o como en el caso de los Planes de Desarrollo Municipales no cuentan con la información necesaria que permitan conocer las proyecciones a futuro de los aspectos elementales en el desarrollo de la población.

4.2.22. Aspectos sociales

CONABIO y SEMAEDSO (2018) mencionan que de acuerdo a INEGI (2015) la Región de Valles Centrales concentra la mayor proporción de habitantes del Estado de Oaxaca, teniendo entre 2000-2015 el mayor aumento de población, siendo mayor el número de mujeres al de hombres.

Parte de la población total del estado de Oaxaca se conforma por poblaciones indígenas, las cuales suman en el territorio estatal 16 grupos étnicos y varios núcleos importantes de población negra o afroestiza. Las características de las poblaciones indígenas pueden ser indicadores de las condiciones ambientales de una región ya que de acuerdo a los parámetros sociales, culturales y demográficos en que se han desarrollado, mezclando sus raíces prehispánicas, coloniales y contemporáneas, en el territorio donde viven estas poblaciones se resguarda gran parte de la biodiversidad del estado y por otro lado sus usos y costumbres han funcionado adecuadamente en la autogestión de su territorio de manera equilibrada con el ambiente.

La población indígena presente en los Valles Centrales de Oaxaca fue para el 2010 de 270,798 habitantes, este número representa el 28.03% de la población regional y el 16% de la población estatal. En 2015 la población indígena del estado se estimó en 32.2% de la población total, equivalente a 1,034,390 personas, siendo Valles Centrales una de las regiones con el mayor número absoluto.

Uno de los principales problemas que enfrentan de manera constante estas poblaciones es el alto índice de migración, el Instituto Oaxaqueño de la Migración calcula que un millón y medio de oaxaqueños reside de manera temporal o definitiva en Estados Unidos y que más de un 50% están de manera indocumentada.

La población que migra del estado de Oaxaca a Estados Unidos es joven, de entre 15 y 24 años, y conforman el 50% del total de migrantes, esto representa un problema por la pérdida de la población con mayor potencial productivo (Gobierno del Estado de Oaxaca, 2014, citado en CONABIO y SEMAEDSO, 2018). La región de Valles Centrales ocupa el segundo lugar a nivel estatal en el índice de traslado de su población al norte del país, así como a Estados Unidos ya sea de forma temporal o permanente. Por otra parte, existe una migración denominada interna, en la que algunas regiones como Valles Centrales atraen población migrante, especialmente hacia sus centros urbanos.

Uno de los principales problemas diagnosticados en éste y otros estudios, es la falta de educación en temas ambientales por parte de la población, para contribuir a incrementar la participación y sensibilización de los habitantes la Dirección General de Población de Oaxaca (DIGEPO), promueve el desarrollo de programas, proyectos y material didáctico educativo con la intención de impulsar la organización comunitaria y favorezcan la participación de organizaciones y grupos de personas en los municipios como agentes de conservación del medio ambiente. Lo anterior debe derivar en generar bases sólidas para desarrollar una política ambiental para el estado.

Existen organizaciones de carácter civil que promueven procesos que contribuyen a mejorar la condición mencionada, de las más emblemáticas por los esfuerzos que han articulado con objetivos dirigidos a conservar y rehabilitar el entorno natural afectado y al desarrollo comunitario en el área de estudio se encuentran las mencionadas en el presente capítulo en el apartado 4.2. Actores principales en las Zonas de Estudio.

Otra de las problemáticas recurrentes para dar continuidad a los planes, programas, estrategias, entre otros, de desarrollo social y conservación del medio ambiente tiene que ver con la dinámica política presente en el área de estudio. Las facultades y responsabilidades de los diferentes órganos de gobierno, en ocasiones, están en función de programas sujetos a su periodo de administración.

Dentro de los casos que competen a este trabajo se encuentra el Artículo 115 de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos. En el apartado III, incisos a y c se establece que los Municipios tendrán a su cargo las funciones y servicios públicos siguientes:

a) Agua potable, drenaje, alcantarillado, tratamiento y disposición de sus aguas residuales.

c) Limpia, recolección, traslado, tratamiento y disposición final de residuos.

Sin embargo, el tiempo de la administración a nivel municipal tiene una duración de tres años, en el caso de Bandos de Policía y Buen Gobierno tiene una permanencia de hasta por dos años, o el tiempo que determinen sus usos y costumbres. En estos periodos se articulan esfuerzos dirigidos a los incisos mencionados, lo cual, por un lado, puede ser poco tiempo para implementarlo y por otro continuamente se dejan de ejecutar una vez concluida la administración.

4.2.23. Características de las vías de comunicación en el área de estudio

De acuerdo a la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT) la red vial dentro del área de estudio se compone de tres carreteras que la atraviesan en sentido norte sur, desde la parte norte del Alto Atoyac al suroeste en el Bajo Atoyac y sureste en Río Salado, con una longitud total de 1,453 km, representando a los caminos principales tanto del área de estudio como en toda la entidad. Esta red de carreteras es de tipo pavimentada con un mantenimiento preventivo anual.

La carretera Internacional nombrada como “La Panamericana” comunica Oaxaca de Juárez con la Ciudad de México, en el tramo de Cuacnopalan-Nochixtlán cuenta con dos carriles, en el tramo Nochixtlán-Huitzo cuenta con tres carriles y en el tramo de Huitzo-Oaxaca cuenta con 2 carriles. El tiempo de recorrido promedio es de 04:48 hr.

La carretera no. 190 que conecta a Tuxtepec con Oaxaca en el tramo Guelatao-Oaxaca tiene tres carriles del lado izquierdo. El tiempo aproximado de recorrido es de 04:17 hr. Posteriormente, la misma carretera en dirección Oaxaca-Tehuantepec, en la región del Istmo, en el tramo del libramiento Oaxaca-Santa María el Tule cuenta con un carril y en otro tramo del mismo sitio se amplía a tres carriles, los cuales se mantienen hasta el tramo de Teotitlán del Valle con tres carriles, del lado izquierdo, en el tramo de Tlacolula la carretera tiene un carril del lado derecho, el cual se amplía a tres carriles y en Villa de Mitla hay un tramo con un carril del lado izquierdo que se amplían a tres carriles. El tiempo aproximado de recorrido es de 4:34 hr. Finalmente, la carretera no. 175 Oaxaca-Pochutla y Oaxaca-Puerto Escondido cuentan con tres carriles (Cuadro 4.68).

Cabe mencionar que durante los recorridos se observó que los caminos cosecheros son usados clandestinamente como sitios de tiradero de basura. Es necesario generar un esquema de regulación y eficiencia para evitar esta forma de contaminar.

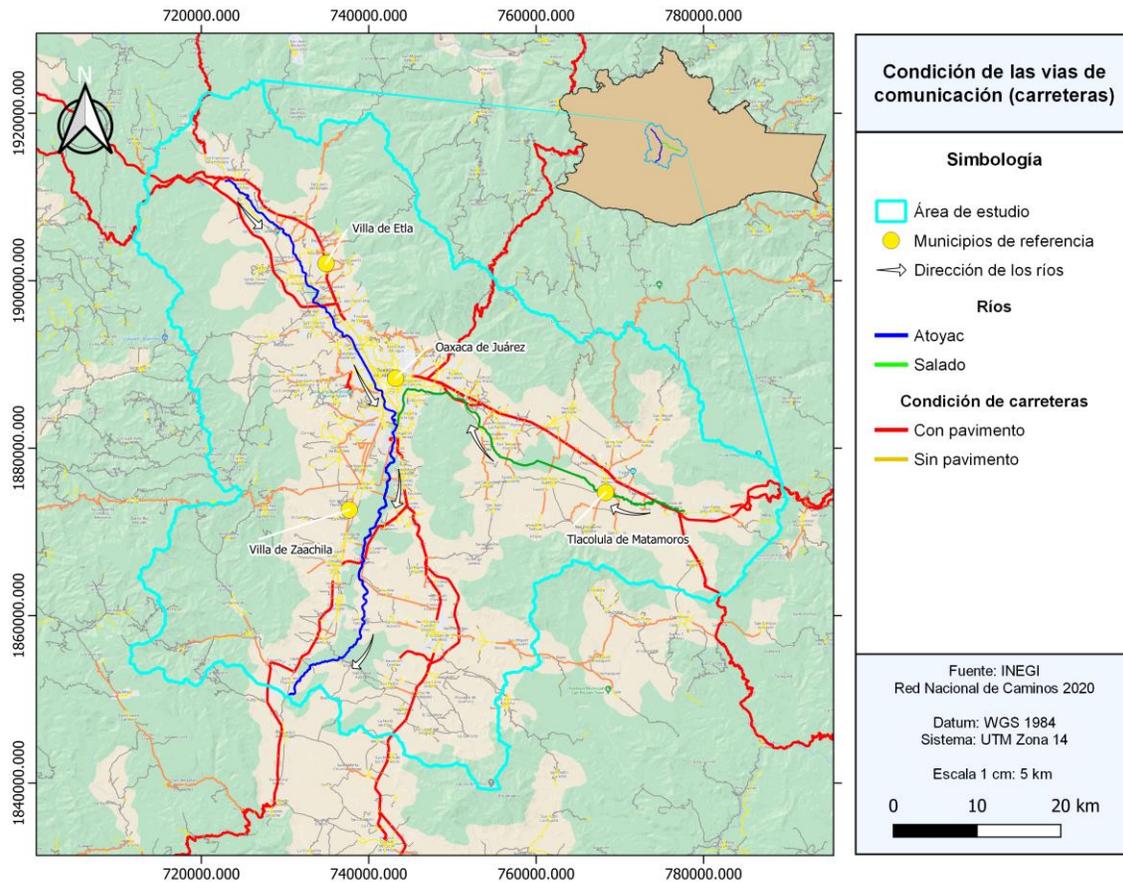
Cuadro 4.68. Características principales de la red vial en el área de estudio.

Nombre tramo carretero	Entidad	Carretera	Caseta	Km
Oaxaca-San Pablo Etla	Oaxaca	Zona urbana		
San Pablo Etla-Entronque Nochixtlán	Oaxaca	Mex 135D	Huitzo	
Entronque Nochixtlán San José Miahuatlán-	Puebla	Mex 135D	Suchixtlahuaca	
San José Miahuatlán-Entronque Tehuacán	Puebla	Mex 135D	Miahuatlán	
Entronque Miahuatlán-Cuacnopalan	Puebla	Mex 135D	Tehuacán	
Cuacnopalan-Entronque Acatzingo	Puebla	Mex 150D		
Entronque Acatzingo-Entronque Puebla	Puebla	Mex 150D	Amozoc	
Entronque Puebla-Entronque San Martín Texmelucan	Puebla	Mex 150D	San Martín	468.14
Entronque San Martín Texmelucan-Santa Martha Acatitla	CdMx	Mex 150D	San Marcos	
Calzada Ignacio Zaragoza (Santa Martha Acatitla-Canal de San Juan)	CdMx	Zona urbana		
Calz. Ignacio Zaragoza (Canal de San Juan-Eje 4 Oriente)	CdMx	Zona urbana		
Calzada Ignacio Zaragoza (Eje 4 Oriente-Blvd. Puerto aéreo)	CdMx	Zona urbana		
Calzada Ignacio Zaragoza (Blvd. Puerto aéreo-Zócalo)	CdMx	Zona urbana		
Oaxaca-Tehuantepec	Oaxaca	Mex 190		253
Oaxaca-Tuxtepec	Oaxaca	Mex 190		223
Oaxaca-Pochutla	Oaxaca	Mex 175		248
Total				1,453

Las zonas de estudio se encuentran comunicadas por la supercarretera de cuota Oaxaca-Cuacnopalan, la carretera 190 Panamericana o Internacional, que atraviesa toda la entidad, desde los límites con el estado de Puebla en la parte del Distrito de Huajuapán de León-Nochixtlán-Oaxaca-Tlacolula-Tehuantepec y de la Ventosa a los límites con el Estado de Chiapas.

En el Distrito Centro se encuentra el aeropuerto internacional Benito Juárez, y en el Distrito de Tlacolula operan pequeñas pistas para avionetas, todas de terracería. Aunque la región esté privilegiada en cuestión de vías de comunicación, hay que precisar que éstas comunican principalmente los grandes centros económicos y poblacionales. Existen un gran número de localidades rurales que carecen de caminos pavimentados y se comunican con las localidades más cercanas por caminos de terracería, lo cual es complicado en temporadas de lluvias como se puede ver en la siguiente Figura.

Figura 4.100. Red vial en el área de estudio.



Los proyectos de construcción de vías de comunicación son concebidos con el objetivo de proporcionar desarrollo social y derrama económica para las poblaciones, sobre todo para las comunidades rurales. De esta forma, la apertura de caminos tendría que facilitar el progreso de las poblaciones y un correcto establecimiento de los asentamientos humanos, sin embargo, estas obras se han desarrollado sin contemplar el manejo del territorio con una perspectiva integral que incluya los componentes social y ambiental, lo cual ha traído consecuencias de diversa índole. Las más evidentes en las zonas de estudio son el impacto ambiental derivado de las obras, posteriormente la movilización de la población de las zonas metropolitanas hacia las zonas de menor desarrollo, lo cual provoca un impacto ambiental ocasionado por el desarrollo de la población no nativa que ingresa a las comunidades.

La apertura de carreteras, al igual que todas las obras de infraestructura y actividades humanas, causa efectos negativos sobre el ambiente (Arroyave, 2006). Ya que los proyectos viales desarrollados sin la identificación y evaluación precisa de los impactos resultantes, deterioran al medio ambiente y, a mediano y largo plazo, el efecto negativo afecta las condiciones de vida de las poblaciones. Lo anterior es reconocido por SEFIN (2011), citando a MEA (2005), "Los efectos de la pérdida de la biodiversidad no se restringen al aspecto ambiental. Es ampliamente reconocido que el bienestar social y el desarrollo económico de las naciones, y en particular el de los países en desarrollo y el de las comunidades más vulnerables, están fincados en la continuidad de los servicios ambientales que brindan los ecosistemas y su biodiversidad".

Arroyave (2006) menciona que entre los efectos ecológicos más significativos de las carreteras se encuentran la alteración del ciclo hidrológico, cambios microclimáticos, contaminación del agua y del suelo. El efecto negativo de las carreteras y caminos sobre la biodiversidad es alarmante, sobre todo en entidades como el estado de Oaxaca, que cuenta con una gran diversidad de flora y fauna, sin embargo, estas vías son esenciales para la comunicación y el desarrollo de toda población humana. Por ello, es indispensable que el diseño de estas obras tenga presente los procesos ecológicos de los sitios para minimizar sus impactos. La manera de realizar estos diseños de una manera planificada e integral es a través del Ordenamiento Territorial. Este instrumento de carácter técnico y legal para planificar el territorio de una región regulando el uso del suelo, el manejo del patrimonio natural en conjunto con las actividades humanas asociadas. Busca delimitar las zonas de crecimiento urbano, asegurar que los asentamientos humanos cuenten con servicios, proteger cauces de ríos y agua, evitar construcciones en áreas estratégicas como cuencas y manantiales y decretar áreas para proteger recursos naturales.

Un ejemplo de este caso es lo que sucedió con la construcción de la carretera hacia Telixtlahuaca, obra que generó los elementos que se mencionan, una movilización de población de la zona metropolitana de Oaxaca a esos sitios y el subsecuente impacto ambiental.

Por otro lado, este proceso deriva en focos de contaminación por basura, por lo que es importante y urgente planear estrategias para desarrollar un esquema de vigilancia permanente a la infraestructura de la red vial de caminos y transportes ya que los caminos rurales cercano al afluente de los ríos se encuentran contaminados por los residuos sólidos provenientes de las casas habitación en su mayor parte, llevados por los propios habitantes a estos sitios, impactando la calidad del agua y del entorno.

En el 2009 el Cabildo de Oaxaca aprobó instrumentar el Programa Municipal de Ordenamiento Ecológico Territorial (PMOET) del Municipio de Oaxaca de Juárez, capital del estado, el cual busca lograr un balance entre las actividades productivas y la conservación de la naturaleza. La iniciativa, fue desarrollada por el CHPC y el Comité Agenda 21, en coordinación con las autoridades municipales, contó con el apoyo de la Alianza WWF-Fundación Carlos Slim, la Fundación Alfredo Harp, la SEMARNAT, el Gobierno del Estado de Oaxaca y la Secretaría de Turismo (SECTUR) federal y estatal.

4.2.24. Actividades económicas del área de influencia del estudio y niveles de ingreso de la población

En la región de Valles Centrales existe una polaridad en el desarrollo económico de la población rural y urbana. A excepción del Distrito Centro, la población de la región se dedica y depende fundamentalmente de las labores agrícolas. Actualmente la agricultura en la región es de subsistencia y comercial.

La actividad económica principal es la prestación de servicios, particularmente en el sector turismo, seguida por la agricultura, con una importante componente de autoconsumo. El sector industrial manufacturero se relaciona con empresas familiares pequeñas y modestos talleres artesanales para la elaboración de productos alimenticios, textiles y artesanías. Así, el sector comercio ocupa un papel importante. Prácticamente las otras actividades económicas son nulas. La agricultura predominante es de cultivos cíclicos con el 90 % de las áreas de temporal dedicadas a cultivos como: maíz, maíz asociado

con frijol o higuera, frijol, cacahuate y cultivos forrajeros. El 10 % de la superficie restante se encuentra con cultivos perennes como: maguey mezcalero, aguacate, café, durazno, níspero, guayaba, manzana, nogal, nopal, limón y toronja (Reyes *et al.*, 2009).

Se practica una agricultura predominantemente de cultivo cíclico. El 90 % de las áreas de temporal se dedican al cultivo de maíz, frijol, calabaza, chile, cacahuate, y cultivos forrajeros (maíz, avena y sorgo). Aparte de la milpa se da gran importancia al cultivo de hortalizas, frutales (aguacate, café, durazno, níspero, guayaba, manzana, nogal, nopales, limón, toronja), café y maguey mezcalero destinados al mercado local que, junto con forrajes, son los principales productos que generen ingresos monetarios. Complemento de las labores agrícolas son la cría y venta de ganado de caprino y bovino.

Una parte importante de la población regional se dedica a la producción de artesanía o de productos artesanales entre los cuales destacan la producción de barro, el tejido de fibras duras como la palma y los textiles de lana y algodón, así como el trabajo de la piedra, la madera, la fabricación de mezcal y el curtido y trabajo de pieles. En mayor o menor medida estas actividades están ya determinadas por los requerimientos de un mercado externo que controla y establece los precios de venta, impone cuotas de producción e influye poderosamente en la paulatina transformación de los sistemas de trabajo tradicionales.

Actualmente, la producción de textiles, de objetos de barro y otros se hace en muchos casos por encargo de compradores a través de los talleres o de la unidad familiar, lo que conlleva a la progresiva pérdida de técnicas tradicionales y el manejo irracional de los recursos naturales. La mayor parte de las actividades artesanales de pequeña escala están realizadas por la población femenina, sin embargo, esto no se refleja en los censos ya que estas actividades suelen ser consideradas social y culturalmente como parte del quehacer de las mujeres y no como un oficio especializado.

Otros sectores productivos de relevancia en la región son el sector forestal y el sector minero que ocupa parte de la mano de obra local, principalmente masculina.

La economía de la región reposa también de manera importante sobre el comercio, el turismo y el sector terciario en general, actividades que se concentran en las principales ciudades de la región que por esta razón representan importantes focos de atracción para la mano de obra no calificada originaria del medio rural. Las estadísticas determinan que existe en la región una población activa de 419,942 personas y la no económicamente activa es de 367,123 personas. Sin embargo, estas cifras deben tomarse con precaución dada la ambigüedad del concepto "económicamente activo". En efecto son frecuentes los casos de mujeres que participan a la economía del hogar mediante diversas estrategias pero que al no contar con un empleo asalariado o una actividad económica socialmente reconocida son consideradas económicamente inactivas (Gobierno Federal *et al.*, 2011).

El turismo en 2010 generó una derrama económica cercana a los 2,400 millones de pesos y empleó directamente 11.5% del personal ocupado. Sin embargo, dichos beneficios se derraman de forma muy limitada hacia el resto de la economía regional (SEFIN, 2010).

De acuerdo al Anuario Estadístico del estado de Oaxaca desarrollado por el INEGI en 2003 y que publica información del censo económico del 2000, la población ocupada (PO) en promedio en los municipios

que integran el acuífero era del 35.5%, respecto a la población total. El 17.44% de la población, se ocupa en el comercio, un 14.09% se ocupa en el sector 1 (agricultura, ganadería, forestal, pesca y caza), un tercer bloque del 13.45% de la población ocupada se dedica a alguna actividad dentro de la industria manufacturera; el cuarto sector ocupado corresponde a la industria de la construcción y a ésta se dedican el 10.19% de la PO; finalmente, la quinta actividad corresponde a las actividades propias de otros servicios, excepto las del gobierno con un 9.22% de la PO (Idem, 2010).

El 66.16% de la población ocupada se encuentra en el Distrito Centro, le sigue ETLA con el 9.84%, después el Distrito de Tlacolula con el 8.85% y el Distrito que menor PO tiene en el área del acuífero es Ejutla con apenas el 0.20%. 48,927 habitantes que representan el 17.4%, se dedican al comercio, por lo que se podría señalar que su nivel de vida, en buena medida, está por arriba de los demás sectores, considerando además que por tratarse de una zona turística es un polo de atracción que ha permitido la sostenibilidad y crecimiento de esta actividad. La población dedicada a la agricultura representa el 14.1% de la población total en el acuífero que corresponde a 39,509 habitantes, siendo el segundo sector en importancia y justamente donde se requiere promover el uso eficiente del agua principalmente en la agricultura de riego (Idem, 2010).

El sector industrial manufacturero, ocupa un porcentaje no menos importante al cual le corresponde el 13.5%, lo que significa la ocupación e ingresos económicos de 37,733 habitantes y; desde el punto de vista de uso de agua, junto con la agricultura, son los sectores de mayor demanda. El sector de la construcción ocupa a 28,583 habitantes que representan el 10.2% de la población, el cual no deja de ser importante y se convierte en una de las fuentes de empleos que significan una importante fuente de ingresos para las familias que los obtienen de esta actividad. De manera específica, es importante promover el uso eficiente del agua en el sector agrícola y en el de la industria manufacturera, ya que el recurso hídrico es uno de los insumos esenciales para el desarrollo y sustentabilidad de ambos sectores, principalmente porque los volúmenes de agua que utilizan provienen de las aguas subterráneas (Idem, 2010).

La productividad del trabajo, medida como la relación entre valor agregado y personal ocupado, en los Valles Centrales es de cerca de 10% menor al promedio estatal por cada persona ocupada. Un empleado promedio en la región produce sólo una tercera parte de lo que genera un trabajador promedio a nivel nacional (SEFIN, 2011).

Por otro lado, se observa en la región una gran proporción de autoempleo y de trabajo informal en relación al total de la población ocupada. Omitiendo por el momento las graves consecuencias sociales que acarrea la precariedad laboral, en términos económicos, existe una correlación positiva entre la formalidad del empleo y la productividad. Es decir, los trabajadores que están empleados formalmente tienen una productividad mayor que aquellos que no lo están.

Si bien en la región de Valles Centrales no hay actividades productivas que no se desarrollen sin la necesidad de agua, algunas generan una mayor alteración en su calidad que otras, así como algunas requieren mayores cantidades de este recurso hídrico. Tanto la matriz del GET como el Plan Integral no buscan restringir las actividades productivas, pero sí se busca que se generen mecanismos de regulación tanto en el agua usada como en su alteración/contaminación y sus descargas hacia los ríos Atoyac y Salado.

Uno de estos ejemplos es el agua usada en las actividades primarias, donde se requiere de grandes cantidades para la producción de alimentos, y si estas se desarrollan usando elevadas cantidades de fertilizantes y agroquímicos propician mayor carga orgánica hacia los afluentes por procesos de escurrimiento, que generan eutrofización de cuerpos de agua limitando la posibilidad de desarrollo de vida acuática.

Por otro lado, una de las actividades de transformación en el área de estudio es la industria mezcalera, la cual despuntó hace algunos años, alcanzando para el 2019 un crecimiento del 173% (Mezcológica, 2020). Esto ha representado un problema ecológico ya que supone un gasto excesivo y contaminación del agua en un territorio ya de por sí impactado por las actividades antropogénicas.

COPLADE (2016) describe que “Durante la destilación existe un alto consumo de agua. En la fase de condensación no se cuenta con un sistema de recirculación de agua para su enfriamiento, así que los productores, para obtener 300 l de mezcal, tiran aproximadamente 6,000 l de agua cuando esta alcanza una temperatura entre 70°C y 80°C. Se calcula que por cada litro producido de mezcal artesanal se utilizan 20 litros de agua y más de 30 litros para producir 1 litro de mezcal industrial.”

Existe un marco jurídico de la cadena de producción maguey-mezcal que considera el cuidado del medio ambiente través de la NOM-001-SEMARNAT-1996, en donde se establecen los Límites Máximos Permisibles de Contaminantes en las Descargas de Aguas Residuales en Aguas y Bienes Nacionales y con la NOM-002-SEMARNAT-1996 que establece los Límites Máximos Permisibles de Contaminantes en las Descargas de Aguas Residuales a los Sistemas de Alcantarillado Urbano o Municipal (COPLADE, 2016).

A pesar de la existencia de los instrumentos legales mencionados, hay productores mezcaleros que hacen uso de las corrientes superficiales y en su mayoría descargan las aguas residuales del proceso en la red de drenaje municipal, en caso de existir una PTAR el agua residual llegará a una infraestructura de saneamiento, pero la realidad es que muchos productores descargan directamente en los afluentes, contaminándolos con el contenido de las aguas sin tratamiento previo que por lo regular contiene sulfato de amonio (fertilizante) adicionado para alimentar a los microorganismos y aumentar el crecimiento población. “Al final del proceso de destilación, el bagazo es tirado en terrenos o incluso en cuerpos de agua. Este producto denominado vinazas (producto de la destilación del mosto) es altamente corrosivo y contaminante del suelo y de las aguas y difícilmente es degradado por microorganismo debido a la acidez que presenta” (*Idem*).

4.2.25. Análisis oferta-demanda agua potable y aportación agua residual

4.2.25.1. Proyección poblacional

La distribución geográfica y el tamaño de la población están vinculadas a los cambios en los procesos de la tasa de mortalidad, natalidad y movimientos migratorios en un territorio. La identificación de estos procesos permite estimar la proyección poblacional y calcular los requerimientos de subsistencia de la población en el futuro. El conocimiento sobre el número de habitantes potenciales para un tiempo dado permite a los distintos órdenes de gobierno planificar las actividades destinadas a brindar servicios de salud, educación, infraestructura vial y seguridad entre otros.

En México la planeación y gestión integrada del agua se basan en el crecimiento demográfico y las actividades económicas; y para el caso del agua potable, únicamente, en la dinámica poblacional

(Montesillo, 2017). La estimación del tamaño más probable de la población en un determinado momento es indispensable para anticipar la futura demanda de agua.

El tamaño estimado de población, para un periodo de años del 2020 al 2035, en los 38 municipios considerados en el estudio de diagnóstico y planeación integral para el saneamiento en los Ríos Atoyac y Salado, fue calculado de acuerdo a los datos generados en el censo de INEGI 2020.

Considerando el periodo del año 2010 al 2035, los municipios con mayor número de habitantes para el 2010 y 2020, son Oaxaca de Juárez, seguido de Santa Cruz Xoxocotlán y en tercer lugar Santa Lucía del Camino. Para el periodo del 2030 al 2035 los municipios con mayor número de habitantes son: Oaxaca de Juárez, seguido de Santa Cruz Xoxocotlán y en tercer lugar Santa María Atzompa. De la misma manera, para el 2010, 2020 y 2030 los municipios con menor población son: Santa María Guelacé, Rojas de Cuauhtémoc y San Sebastián Abasco y finalmente, para el 2035 la menor población se estima en los municipios de Santa María Guelacé, Rojas de Cuauhtémoc y San Sebastián Abasco.

Cuadro 4.69. Proyección poblacional al 2035 de los municipios en la Zona de estudio Alto Atoyac considerados en el estudio de diagnóstico y planeación integral para el saneamiento en los Ríos Atoyac y Salado.

Municipio	Censo INEGI 2010	Censo INEGI 2020	Proyección 2030	Proyección 2035
Guadalupe Etla	2,433	2,929	3,526	3,869
Magdalena Apasco	7,522	7,888	8,272	8,471
Nazareno Etla	3,882	4,293	4,748	4,993
Oaxaca de Juárez	263,357	270,955	278,772	282,765
Reyes Etla	3,568	4,370	5,352	5,923
San Andrés Zautla	4,405	5,326	6,440	7,081
San Francisco Telixtlahuaca	11,893	13,856	16,143	17,424
San Jacinto Amilpas	13,860	16,827	20,429	22,510
San Lorenzo Cacaotepec	13,704	18,339	24,542	28,390
San Pablo Huitzo	6,307	7,035	7,847	8,288
Santa María Atzompa	27,465	41,921	63,986	79,051
Santiago Suchilquitongo	9,542	10,886	12,419	13,265
Soledad Etla	5,025	6,348	8,019	9,013
Villa de Etla	9,280	10,361	11,568	12,223
Total	382,243	421,334	472,063	503,266

Cuadro 4.70. Proyección poblacional al 2035 de los municipios en la Zona de estudio Bajo Atoyac considerados en el estudio de diagnóstico y planeación integral para el saneamiento en los Ríos Atoyac y Salado.

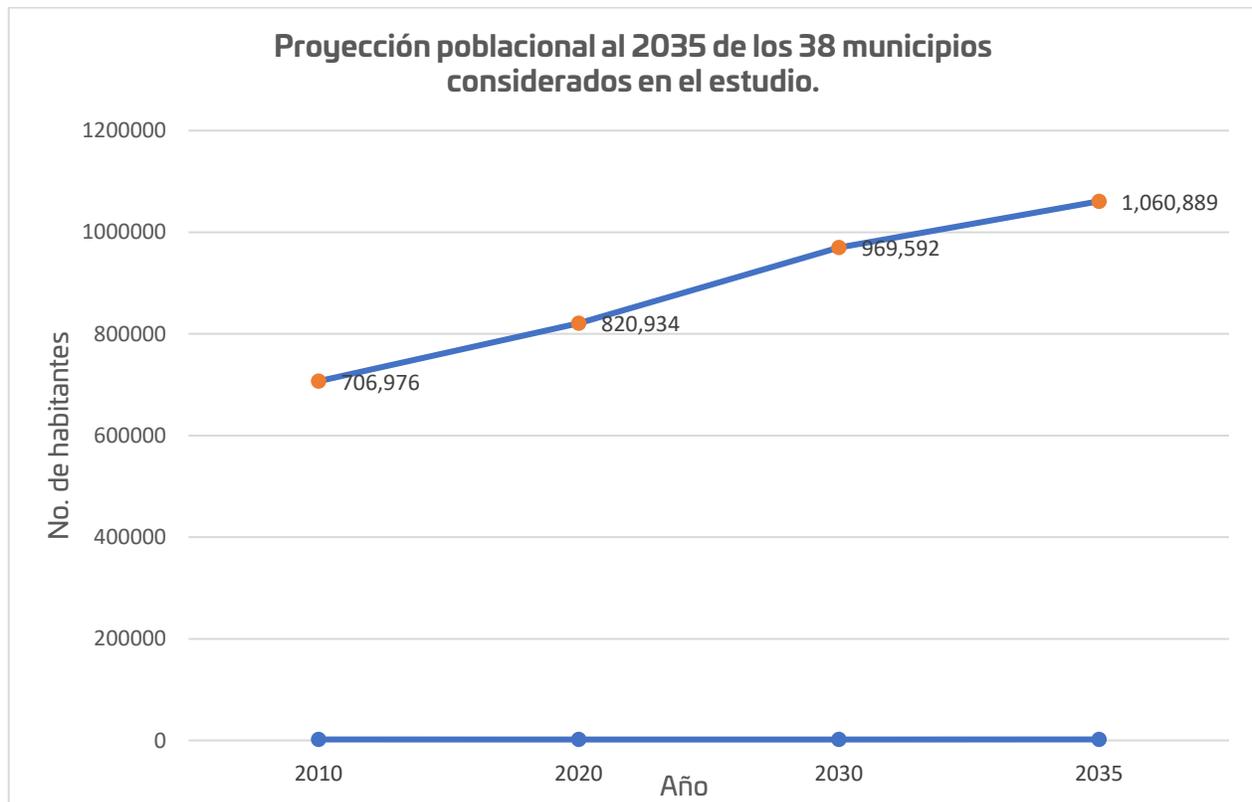
Municipio	Censo INEGI 2010	Censo INEGI 2020	Proyección 2030	Proyección 2035
Ciénega de Zimatlán	2,785	3,043	3,325	3,475
San Agustín de las Juntas	8,089	11,391	16,041	19,035
San Bartolo Coyotepec	8,684	10,391	12,434	13,601
Ánimas Trujano	3,759	4,564	5,541	6,106
San Pablo Huixtepec	9,025	10,020	11,125	11,722
Santa Ana Zegache	3,592	3,981	4,412	4,645
Santa Catarina Quiané	1,847	2,193	2,604	2,837
Santa Cruz Xoxocotlán	77,883	100,402	129,432	146,958
Santa María Coyotepec	2,772	3,751	5,076	5,904
Villa de Zaachila	34,101	46,464	63,309	73,899
Zimatlán de Álvarez	19,215	22,093	25,402	27,238
Total	171,752	218,293	278,700	315,421

Cuadro 4.71. Proyección poblacional al 2035 de los municipios en la Zona de estudio Río Salado considerados en el estudio de diagnóstico y planeación integral para el saneamiento en los Ríos Atoyac y Salado.

Municipio	Censo INEGI 2010	Censo INEGI 2020	Proyección 2030	Proyección 2035
Rojas de Cuauhtémoc	1,092	1,301	1,550	1,692
San Antonio de la Cal	21,456	26,282	32,193	35,631
San Juan Guelavía	3,047	3,288	3,548	3,686
San Pablo Villa de Mitla	11,825	13,587	15,612	16,734
San Sebastián Abasco	1,849	1,999	2,161	2,247
San Sebastián Tutla	16,241	16,878	17,540	17,881
Santa Cruz Papalutla	1,972	2,242	2,549	2,718
Santa Lucía del Camino	47,356	50,362	53,559	55,233
Santa María del Tule	8,165	8,939	9,786	10,240
Santa María Guelacé	816	908	1,010	1,066
Tlacolula de Matamoros	19,625	30,254	46,640	57,909
Tlaxiaco de Cabrera	9,417	12,067	15,463	17,504
Santa Cruz Amilpas	10,120	13,200	17,217	19,664
Total	152,981	181,307	218,829	242,202

De acuerdo a las estimaciones realizadas, la tendencia que siguen los 38 municipios mencionados es un aumento constante de su población. Para el 2020 el tamaño de población total de los 38 municipios considerados en el estudio de diagnóstico y planeación integral para el saneamiento en los Ríos Atoyac y Salado fue de 820,934 habitantes, para el 2030 se contempla que esta cifra ascenderá a 969,592 y para el 2035 alcanzará 1,060,889 habitantes como se ve en la siguiente figura.

Figura 4.101. Proyección poblacional de los 38 municipios considerados en el estudio de diagnóstico y planeación integral para el saneamiento en los Ríos Atoyac y Salado, en el área de estudio correspondiente al periodo 2010-20235.



Estas proyecciones deben ser la base para la toma de decisiones en política pública, así como en el diseño de la infraestructura que se requerirá en el área de estudio, tanto para el suministro de agua como para el manejo eficiente de las aguas residuales, priorizando los componentes que permitan minimizar los problemas de salud pública y medio ambiente.

Esto es posible a través de la elaboración de un Ordenamiento Territorial, este instrumento permite definir estrategias a escala regional y a largo plazo, contemplando el contexto social, económico y como prioridad el ambiental, ya que sólo la recuperación del equilibrio natural es la manera en que se puede asegurar la subsistencia y calidad de vida de la población de las Zonas de estudio, Alto y Bajo Atoyac, y Río Salado.

El análisis a detalle de la proyección poblacional se desglosa en el Capítulo VI. Escenarios. Apartado 6.1. En dicho capítulo se determinó el crecimiento poblacional, el crecimiento del área urbana, la disponibilidad de agua considerando el aumento de la población a futuro y la estimación del agua residual a futuro considerando el crecimiento poblacional, entre otros temas.

Es importante tener en consideración el desarrollo de planes urbanos de crecimiento a nivel municipal, así como del crecimiento comercial y turístico para planificar de la manera más eficiente las necesidades futuras de agua y en general de insumos que la población va a requerir.

4.2.26. Estimación de la demanda de agua en el área de estudio

El tema de la proyección poblacional está ligada directamente al tema de abastecimiento de agua para la población actual y para la que se pronostica requerirá en un futuro el recurso hídrico. Generalmente no se tiene conocimiento de las proyecciones y/o no son contempladas en los planes de administración, esta situación trae consigo conflictos de índole social, económica y ambiental. La posibilidad de prever y realizar proyectos eficientes que atiendan la demanda es posible teniendo en consideración la estimación de la demanda de agua actual y futura de las zonas de estudio.

Las zonas de estudio presentan problemáticas claramente identificadas con la alteración del ciclo hidrosocial y, en general, con un manejo ineficiente del territorio. Lo anterior se deriva de la falta de reconocimiento de las interacciones que ocurren entre las actividades antropogénicas con su entorno natural, así como sus efectos. Los problemas continúan de manera constante en relación con el incremento de habitantes en la región, la consecuente demanda de servicios y el creciente impacto al entorno natural que esto ocasiona. Como menciona Jiménez (2014) "Proveer los servicios de agua a las ciudades es ya un reto, pero más lo será en un futuro debido a la combinación del crecimiento poblacional y la elevada tasa de urbanización".

La presión que la demanda de agua de las Zonas de estudio Alto y Bajo Atoyac, y Salado ejercen sobre el acuífero, así como las tendencias de consumo con la consecuente contaminación del territorio, han incrementado la degradación del medio natural. Lo anterior ha traído la insuficiencia de las fuentes de abastecimiento para satisfacer la demanda poblacional, en cantidad y calidad, de agua. Aunado al impacto ambiental, también se generan problemas de carácter económico y social. La situación en el área de estudio es crítica, requiere una planeación de la administración a través de una visión integral, a nivel de cuenca, en la cual se correlacione el manejo del suelo, subsuelo, bosque, flora, fauna, agua y sociedad.

La CONAGUA menciona en el “Manual de agua potable alcantarillado y saneamiento” publicado en el 2007, la cantidad de agua por habitante al día necesarios para la realización de todas las actividades de la población, es decir, la estimación demanda de agua de uso público urbano del volumen total concesionado por el REPDA para los diversos usos (cuadro 4.72). Consideró el tipo de clima y la condición socioeconómica específica de la Región de Valles Centrales de Oaxaca y determinó que el volumen requerido para esta región es de 144.7 litros por habitante al día (l/hab/día).

Uno de los grandes problemas para atender la demanda de agua de la población de forma eficiente, es la pérdida del recurso hídrico sin haberse aprovechado. El 50% del volumen suministrado para el abastecimiento de agua potable a los domicilios oaxaqueños es desperdiciado en fugas de la infraestructura de la red de distribución y en el derroche con que el agua es utilizada. De esta forma la eficiencia real en el suministro es de apenas un crítico 50%. Esto significa que al considerar estas pérdidas la dotación requerida de agua se incrementa a 289.4 l/hab/día (CONAGUA y UACH, 2010).

Cuadro 4.72. Volumen de agua utilizado para uso doméstico tomado de CONAGUA y UACH (2010).

Uso intradomiciliario	l/hab/día	Porcentaje (%)
Retrete	42	29
Baño	54	37.3
Lavado de ropa	20	13.8
Lavado de trastos	10	6.9
Otros (aseo personal, hogar, automóvil)	18.7	12.9
Subtotal	144.7	100
Dotación requerida	289.3	

Se determinaron los valores del consumo y demanda de agua para cada municipio por un período anual. Es importante tener presente que las proyecciones de la demanda de agua descritas están basadas para la demanda de uso de tipo intradomiciliario, el cual, como se menciona, fue estimado por la CONAGUA en el 2007 (Cuadro 4.73, 4. 74 y 4.75).

Cuadro 4.73. Estimación del consumo y demanda de agua en los 38 municipios considerados en el estudio de diagnóstico y planeación integral para el saneamiento en los Ríos Atoyac y Salado para el año 2020.

Municipios	No. habitantes en 2020	No. habitantes por el consumo diario (144.7 l/día)	Consumo anual del municipio (l/año)	Demanda anual por 2 considerando la eficiencia al 50% (l/año)
Ánimas Trujano	4,564	660,411	241,049,942	482,099,884
Ciénega de Zimatlán	3,043	440,322	160,717,567	321,435,133
Guadalupe Etla	2,929	423,826	154,696,600	309,393,199
Magdalena Apasco	7,888	1,141,394	416,608,664	833,217,328
Nazareno Etla	4,293	621,197	226,736,942	453,473,883
Oaxaca de Juárez	270,955	39,207,189	14,310,623,803	28,621,247,605
Reyes Etla	4,370	632,339	230,803,735	461,607,470
Rojas de Cuauhtémoc	1,301	188,255	68,712,966	137,425,931
San Agustín de las Juntas	11,391	1,648,278	601,621,361	1,203,242,721
San Andrés Zautla	5,326	770,672	281,295,353	562,590,706
San Antonio de la Cal	26,282	3,803,005	1,388,096,971	2,776,193,942

Municipios	No. habitantes en 2020	No. habitantes por el consumo diario (144.7 l/día)	Consumo anual del municipio (l/año)	Demanda anual por 2 considerando la eficiencia al 50% (l/año)
San Bartolo Coyotepec	10,391	1,503,578	548,805,861	1,097,611,721
San Francisco Telixtlahuaca	13,856	2,004,963	731,811,568	1,463,623,136
San Jacinto Amilpas	16,827	2,434,867	888,726,419	1,777,452,837
San Juan Guelavía	3,288	475,774	173,657,364	347,314,728
San Lorenzo Cacaotepec	18,339	2,653,653	968,583,455	1,937,166,909
San Pablo Huitzo	7,035	1,017,965	371,557,043	743,114,085
San Pablo Huixtepec	10,020	1,449,894	529,211,310	1,058,422,620
San Pablo Villa de Mitla	13,587	1,966,039	717,604,199	1,435,208,397
San Sebastián Abasco	1,999	289,255	105,578,185	211,156,369
San Sebastián Tutla	16,878	2,442,247	891,420,009	1,782,840,018
Santa Ana Zegache	3,981	576,051	210,258,506	420,517,011
Santa Catarina Quiané	2,193	317,327	115,824,392	231,648,783
Santa Cruz Amilpas	13,200	1,910,040	697,164,600	1,394,329,200
Santa Cruz Papalutla	2,242	324,417	118,412,351	236,824,702
Santa Cruz Xoxocotlán	100,402	14,528,169	5,302,781,831	10,605,563,662
Santa Lucía del Camino	50,362	7,287,381	2,659,894,211	5,319,788,422
Santa María Atzompa	41,921	6,065,969	2,214,078,576	4,428,157,151
Santa María Coyotepec	3,751	542,770	198,110,941	396,221,881
Santa María del Tule	8,939	1,293,473	472,117,755	944,235,509
Santa María Guelacé	908	131,388	47,956,474	95,912,948
Santiago Suchilquitongo	10,886	1,575,204	574,949,533	1,149,899,066
Soledad Etla	6,348	918,556	335,272,794	670,545,588
Tlacolula de Matamoros	30,254	4,377,754	1,597,880,137	3,195,760,274
Tlaxiaco de Cabrera	12,067	1,746,095	637,324,639	1,274,649,277
Villa de Etla	10,361	1,499,237	547,221,396	1,094,442,791
Villa de Zaachila	46,464	6,723,341	2,454,019,392	4,908,038,784
Zimatlán de Álvarez	22,093	3,196,857	1,166,852,842	2,333,705,683
Total	820,934	118,789,150	43,358,039,677	86,716,079,354

Cuadro 4.74. Estimación del consumo y demanda de agua en los 38 municipios considerados en el estudio de diagnóstico y planeación integral para el saneamiento en los Ríos Atoyac y Salado para el año 2030.

Municipios	No. habitantes en 2030	No. habitantes por el consumo diario (144.7 l/día)	Consumo anual del municipio (l/año)	Extracción demanda por 2 considerando la eficiencia al 50% (l/año)
Ánimas Trujano	5,541	801,783	292,650,686	585,301,371
Ciénega de Zimatlán	3,325	481,128	175,611,538	351,223,075
Guadalupe Etla	3,526	510,212	186,227,453	372,454,906
Magdalena Apasco	8,272	1,196,958	436,889,816	873,779,632
Nazareno Etla	4,748	687,036	250,767,994	501,535,988
Oaxaca de Juárez	278,772	40,338,308	14,723,482,566	29,446,965,132
Reyes Etla	5,352	774,434	282,668,556	565,337,112
Rojas de Cuauhtémoc	1,550	224,285	81,864,025	163,728,050
San Agustín de las Juntas	16,041	2,321,133	847,213,436	1,694,426,871
San Andrés Zautla	6,440	931,868	340,131,820	680,263,640
San Antonio de la Cal	32,193	4,658,327	1,700,289,392	3,400,578,783
San Bartolo Coyotepec	12,434	1,799,200	656,707,927	1,313,415,854
San Francisco Telixtlahuaca	16,143	2,335,892	852,600,617	1,705,201,233

Municipios	No. habitantes en 2030	No. habitantes por el consumo diario (144.7 l/día)	Consumo anual del municipio (l/año)	Extracción demanda por 2 considerando la eficiencia al 50% (l/año)
San Jacinto Amilpas	20,429	2,956,076	1,078,967,850	2,157,935,699
San Juan Guelavía	3,548	513,396	187,389,394	374,778,788
San Lorenzo Cacaotepec	24,542	3,551,227	1,296,198,001	2,592,396,002
San Pablo Huitzo	7,847	1,135,461	414,443,229	828,886,457
San Pablo Huixtepec	11,125	1,609,788	587,572,438	1,175,144,875
San Pablo Villa de Mitla	15,612	2,259,056	824,555,586	1,649,111,172
San Sebastián Abasolo	2,161	312,697	114,134,296	228,268,591
San Sebastián Tutla	17,540	2,538,038	926,383,870	1,852,767,740
Santa Ana Zegache	4,412	638,416	233,021,986	466,043,972
Santa Catarina Quiané	2,604	376,799	137,531,562	275,063,124
Santa Cruz Amilpas	17,217	2,491,300	909,324,464	1,818,648,927
Santa Cruz Papalutla	2,549	368,840	134,626,710	269,253,419
Santa Cruz Xoxocotlán	129,432	18,728,810	6,836,015,796	13,672,031,592
Santa Lucía del Camino	53,559	7,749,987	2,828,745,365	5,657,490,729
Santa María Atzompa	63,986	9,258,774	3,379,452,583	6,758,905,166
Santa María Coyotepec	5,076	734,497	268,091,478	536,182,956
Santa María del Tule	9,786	1,416,034	516,852,483	1,033,704,966
Santa María Guelacé	1,010	146,147	53,343,655	106,687,310
Santiago Suchilquitongo	12,419	1,797,029	655,915,695	1,311,831,389
Soledad Etla	8,019	1,160,349	423,527,495	847,054,989
Tlacolula de Matamoros	46,640	6,748,808	2,463,314,920	4,926,629,840
Tlaxiactac de Cabrera	15,463	2,237,496	816,686,077	1,633,372,153
Villa de Etla	11,568	1,673,890	610,969,704	1,221,939,408
Villa de Zaachila	63,309	9,160,812	3,343,696,490	6,687,392,979
Zimatlán de Álvarez	25,402	3,675,669	1,341,619,331	2,683,238,662
Total	969,592	140,299,962	51,209,486,276	102,418,972,552

Cuadro 4.75. Estimación del consumo y demanda de agua en los 38 municipios considerados en el estudio de diagnóstico y planeación integral para el saneamiento en los Ríos Atoyac y Salado para el año 2035.

Municipios	No. habitantes en 2035	No. habitantes por el consumo diario (144.7 l/día)	Consumo anual del municipio (l/año)	Extracción anual por 2 considerando la eficiencia al 50% (l/año)
Ánimas Trujano	6,106	883,538	322,491,443	644,982,886
Ciénega de Zimatlán	3,475	502,833	183,533,863	367,067,725
Guadalupe Etla	3,869	559,844	204,343,170	408,686,339
Magdalena Apasco	8,471	1,225,754	447,400,101	894,800,201
Nazareno Etla	4,993	722,487	263,707,792	527,415,583
Oaxaca de Juárez	282,765	40,916,096	14,934,374,858	29,868,749,715
Reyes Etla	5,923	857,058	312,826,207	625,652,413
Rojas de Cuauhtémoc	1,692	244,832	89,363,826	178,727,652
San Agustín de las Juntas	19,035	2,754,365	1,005,343,043	2,010,686,085
San Andrés Zautla	7,081	1,024,621	373,986,556	747,973,111
San Antonio de la Cal	35,631	5,155,806	1,881,869,081	3,763,738,161
San Bartolo Coyotepec	13,601	1,968,065	718,343,616	1,436,687,231
San Francisco Telixtlahuaca	17,424	2,521,253	920,257,272	1,840,514,544
San Jacinto Amilpas	22,510	3,257,197	1,188,876,905	2,377,753,810
San Juan Guelavía	3,686	533,364	194,677,933	389,355,866
San Lorenzo Cacaotepec	28,390	4,108,033	1,499,432,045	2,998,864,090

Municipios	No. habitantes en 2035	No. habitantes por el consumo diario (144.7 l/día)	Consumo anual del municipio (l/año)	Extracción anual por 2 considerando la eficiencia al 50% (l/año)
San Pablo Huitzo	8,288	1,199,274	437,734,864	875,469,728
San Pablo Huixtepec	11,722	1,696,173	619,103,291	1,238,206,582
San Pablo Villa de Mitla	16,734	2,421,410	883,814,577	1,767,629,154
San Sebastián Abasco	2,247	325,141	118,676,429	237,352,857
San Sebastián Tutla	17,881	2,587,381	944,393,956	1,888,787,911
Santa Ana Zegache	4,645	672,132	245,327,998	490,655,995
Santa Catarina Quiané	2,837	410,514	149,837,574	299,675,147
Santa Cruz Amilpas	19,664	2,845,381	1,038,563,992	2,077,127,984
Santa Cruz Papalutla	2,718	393,295	143,552,529	287,105,058
Santa Cruz Xoxocotlán	146,958	21,264,823	7,761,660,249	15,523,320,498
Santa Lucía del Camino	55,233	7,992,215	2,917,158,512	5,834,317,023
Santa María Atzompa	79,051	11,438,680	4,175,118,091	8,350,236,181
Santa María Coyotepec	5,904	854,309	311,822,712	623,645,424
Santa María del Tule	10,240	1,481,728	540,830,720	1,081,661,440
Santa María Guelacé	1,066	154,250	56,301,323	112,602,646
Santiago Suchilquitongo	13,265	1,919,446	700,597,608	1,401,195,215
Soledad Etla	9,013	1,304,181	476,026,102	952,052,203
Tlacolula de Matamoros	57,909	8,379,432	3,058,492,790	6,116,985,579
Tlaxiaco de Cabrera	17,504	2,532,829	924,482,512	1,848,965,024
Villa de Etla	12,223	1,768,668	645,563,857	1,291,127,713
Villa de Zaachila	73,899	10,693,185	3,903,012,635	7,806,025,269
Zimatlán de Álvarez	27,238	3,941,339	1,438,588,589	2,877,177,178
Total	1,060,891	153,510,928	56,031,488,611	112,062,977,221

4.2.27. Capacidad de asimilación de contaminantes de los cauces.

En este análisis de la asimilación de contaminantes, es necesario definir algunos conceptos:

Autodepuración La autodepuración de las aguas es un conjunto de fenómenos físicos, químicos y biológicos, que tienen lugar en el curso del agua de modo natural y que provocan la destrucción de materias extrañas incorporadas al flujo. Éstas son, principalmente, bacterias aerobias, que consumen materia orgánica con ayuda del oxígeno disuelto en el agua. Además, hay que añadir las plantas acuáticas, que asimilan algunos componentes en forma de nutrientes, así como mediante otros procesos fotoquímicos. (Structuralia, 2017).

Capacidad de Autodepuración La capacidad de autodepuración de un río dependerá de los siguientes tres aspectos:

1. Caudal
2. Turbulencia
3. Tamaño de la descarga

El caudal, que permitirá diluir el vertido y facilitar su posterior degradación, la turbulencia del agua, que aportará oxígeno diluido al medio, favoreciendo la actividad microbiana y, la naturaleza y tamaño del vertido que se haya producido a lo largo de su curso.

Los mecanismos de autodepuración de un río están representados por cuatro zonas, según el nivel de contaminación y la fase de depuración:

Zona de degradación. Se produce al incorporarse agua residual al río, dando lugar a la presencia principalmente de sólidos suspendidos, turbiedad, se incrementa la demanda bioquímica de oxígeno (DBO), comienza la biodegradación por parte de la flora microbiana y hay reducción de oxígeno; por lo que se altera el entorno ecológico de las formas de vida más delicadas.

En la zona de descomposición activa. Aparecen aguas sucias, ennegrecidas, con espumas, y malolientes. Existe una descomposición anaerobia que provoca un desprendimiento de gases.

La tercera zona es la de recuperación. Reaparecen los vegetales y el agua se clarifica. Todo ello debido a la presencia de oxígeno disuelto o procedente de la actividad fotosintética de los vegetales, que ayuda a degradar los compuestos contaminantes.

Zona de aguas limpias. Se restauran las condiciones de oxígeno disuelto originales de la corriente, puede incluso ser cercana a la concentración de saturación. La flora y la fauna se desarrollan de forma normal (Raquel Teresa Monte Rojas, 2013).

La velocidad de autodepuración depende de:

Movimiento del agua: a mayor velocidad mayor autodepuración, ya que se oxigena más rápidamente.
Profundidad: A más profundidad, menos autodepuración debido a la escasez del oxígeno disuelto vertical.

Superficie: Cuando mayor sea la superficie, mayor será el contacto con el oxígeno del aire y será mayor la transferencia de masa aire/agua.

De acuerdo a los conceptos teóricos definidos anteriormente y considerando como básico para la determinación de un modelo teórico de autodepuración; los indicadores de Caudal y turbulencia y teniendo en cuenta que la turbulencia es un elemento dependiente del gasto y la pendiente del río y no existiendo el gasto no se presenta la turbulencia, además de que los dos ríos, Atoyac y Salado, presentan regímenes estacionales muy definidos, en época de estiaje en la que no se presentan corriente superficial de agua en todos los tramos del río; y régimen de lluvias donde dependiendo de la precipitación que se presentan, existen tramos con corriente superficial; se determinó la presencia o no de estos dos indicadores de acuerdo a identificación de tramos prioritarios en los ríos Atoyac y Salado en la época de estiaje que fue la temporada de estudio.

Nomenglatura del TRAMO		DE	A	Caudal
ZONA ALTO ATOYAC (AA)				
AA1	San Francisco Telixtlahuaca	Puente El Botón		No existe una corriente superficial
AA2	Puente El Botón	Santa María Tenexpan (Pasando por Huitzo)		No existe una corriente superficial
AA3	Santa María Tenexpan (Pasando por Huitzo)	Xochimilco 2a Sección (Pasando por Santiago Suchilquitongo)		No existe una corriente superficial
AA4	Xochimilco 2a Sección	San Lázaro Etlá (Reyes Etlá)		Existe
AA5	San Lázaro Etlá (Reyes Etlá)	Guadalupe Etlá (Entrada)		No existe una corriente superficial
AA6	Guadalupe Etlá (Entrada)	Soledad Etlá		No existe una corriente superficial
AA7	Soledad Etlá	Rancho Hacienda Vieja (San Lorenzo Cacaotepec)		No existe una corriente superficial
AA8	Rancho Hacienda Vieja (San Lorenzo Cacaotepec)	Iniciando Oaxaca de Juárez, Perla de Antequera		Existe
AA9	Iniciando Oaxaca de Juárez, Perla de Antequera	San Jerónimo Yahuiche		Existe (mayor % de gasto aguas residuales)
AA10	San Jerónimo Yahuiche	Puente del ITO (pasando por San Jacinto Amilpas)		Existe (mayor % de gasto aguas residuales)
AA11	Puente Guadalupe Victoria	Puente Cuarto Centenario (Pasando por Central de Abastos)		Existe (mayor % de gasto aguas residuales)
AA12	Puente Cuarto Centenario	Entronque con Río Salado (San Agustín de las Juntas)		Existe (mayor % de gasto aguas residuales)
ZONA RÍO SALADO (S)				
S1	Villa de Mitla	Tlacolula de Matamoros		No existe una corriente superficial continua

Nomenclatura del TRAMO	DE	A	Caudal
S2	Tlacolula de Matamoros	Santa María El Tule	una corriente superficial continua
S3	Santa María El Tule	San Sebastián Tutla	Existe (mayor % de gasto aguas residuales)
S4	Santa Cruz Amilpas	Santa Lucía del Camino	Existe (mayor % de gasto aguas residuales)
S5	Santa Lucía del Camino	San Antonio de la Cal	Existe (mayor % de gasto aguas residuales)
S6	San Antonio de la Cal	Puente San Antonio de la Cal	Existe (mayor % de gasto aguas residuales)
S7	Puente San Antonio de la Cal	Entronque con Río Atoyac	Existe (mayor % de gasto aguas residuales)
ZONA BAJO ATOYAC (BA)			
BA1	San Agustín de las Juntas	Límites entre Ánimas Trujano y Santa María Coyotepec	Existe (mayor % de gasto aguas residuales)
BA2	Santa María Coyotepec	San Bartolo Coyotepec	Existe (mayor % de gasto aguas residuales)
BA3	San Bartolo Coyotepec	Villa de Zaachila	Existe (mayor % de gasto aguas residuales)
BA4	Villa de Zaachila	Santa Ana Zegache	Existe (mayor % de gasto aguas residuales)
BA5	Santa Ana Zegache	Zimatlán de Álvarez	Existe (mayor % de gasto aguas residuales)

De acuerdo a la tabla anterior se puede observar que no se cuenta con los parámetros de gasto y turbulencia necesarios para la integración de un modelo de autodepuración en los dos tramos de ríos por lo cual solo se determinó la cantidad de contaminantes aportados por las descargas de agua residuales. Los cuales se analizan en los apartados correspondientes.