



El Colegio
de Tlaxcala A.C.

investigación • docencia • vinculación

MAESTRÍA EN DESARROLLO REGIONAL

IMPACTO DE LA POLÍTICA AMBIENTAL DE
SANEAMIENTO EN EL TRATAMIENTO DE LAS
AGUAS RESIDUALES MUNICIPALES EN LA
SUBCUENCA DEL RÍO ATOYAC - SAN MARTÍN
TEXMELUCAN, EN EL ESTADO DE TLAXCALA.

TESIS

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE:
MAESTRO EN DESARROLLO REGIONAL

PRESENTA:

MARTÍN ERNESTO MUNIVE DE LEÓN

DIRECTORA

DRA. MARÍA DE LOURDES HERNÁNDEZ RODRÍGUEZ

San Pablo Apetatitlán, Tlaxcala, julio 2025

MAESTRÍA EN DESARROLLO REGIONAL

**IMPACTO DE LA POLÍTICA AMBIENTAL DE
SANEAMIENTO EN EL TRATAMIENTO DE LAS
AGUAS RESIDUALES MUNICIPALES EN LA
SUBCUENCA DEL RÍO ATOYAC - SAN MARTÍN
TEXMELUCAN, EN EL ESTADO DE TLAXCALA.**

TESIS

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE
MAESTRO EN DESARROLLO REGIONAL

PRESENTA

MARTÍN ERNESTO MUNIVE DE LEÓN

DIRECTORA

DRA. MARÍA DE LOURDES HERNÁNDEZ RODRÍGUEZ

San Pablo Apetatitlán, Tlaxcala, julio de 2025.

i

La presente tesis titulada “Impacto de la Política Ambiental de Saneamiento en el Tratamiento de las Aguas Residuales Municipales en la Subcuenca del Río Atoyac-San Martín Texmelucan, en el Estado de Tlaxcala”: realizada por Martín Ernesto Munive de León, ha sido aprobada como requisito parcial para obtener el grado de:

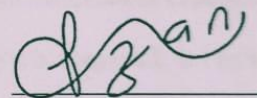
MAESTRO EN DESARROLLO REGIONAL

Bajo supervisión del siguiente Comité Revisor:

Directora Dra. María de Lourdes Hernández Rodríguez



Revisor Dr. Ángel David Flores Domínguez



Revisor Dr. Samuel Alejandro Lozano Morales



Revisora Dra. Adriana Isabel Gutiérrez Castro

Agradecimientos

Agradezco al Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías (COHNACYT), hoy Secretaría de Ciencia, Humanidades, Tecnología e Innovación (SECIHTI), por el apoyo brindado para realizar los estudios de maestría y, por ende, esta investigación, así como El Colegio de Tlaxcala, A.C. (COLTLAX), por brindarme un espacio académico de crecimiento y aprendizaje. De igual forma, expreso mi más sincero reconocimiento a la Dra. María de Lourdes Hernández Rodríguez, por su impulso, orientación y acompañamiento, al Dr. Ángel David Flores Domínguez, por su disposición y apoyo, al Dr. Samuel Alejandro Lozano Morales y a la Dra. Adriana Isabel Gutiérrez Castro, por sus aportaciones. Al Dr. Serafín Ríos Elorza por su valioso apoyo y, en general, a los profesores y al personal de El Colegio de Tlaxcala, A.C., por compartir su experiencia y saberes, siempre fui gratamente sorprendido en el mundo del Desarrollo Regional, del mismo modo a mis compañeros de clase, todos ellos aportaron sus conocimientos, por lo que les extiendo mi agradecimiento. Finalmente, aunque siempre está en primer término... a Dios.

Dedicatoria

A mi madre, Martha. †

A mi suegra, Irene. †

Dedico este trabajo a Zulma, mi compañera de vida; a Marco y Mauro, mis hijos, quienes han sido fuente constante de motivación y aliento. A mi familia -Munive, Bonilla, de León y Rodríguez- y a mis amigos, cuya presencia ha sido invaluable. De manera especial, a la generación 29 de Oceanólogos (inolvidable) que me han brindado fuente constante de espíritu de vida.

Este logro es reflejo de todos.

Índice general

Índice general.....	iv
Índice de tablas	vii
Índice de figuras	viii
Acrónimos y siglas	x
Resumen	1
Introducción	2
CAPÍTULO I. DISEÑO DE INVESTIGACIÓN.....	7
1.1 Antecedentes de Investigación	7
1.2 El problema de Investigación	15
1.3 Justificación.....	29
1.4 Preguntas de Investigación	34
1.4.1 Pregunta General.....	34
1.4.2 Preguntas particulares	34
1.5 Objetivos de Investigación	34
1.5.1 Objetivo General.....	34
1.5.2 Objetivos particulares	35
1.6 Hipótesis	35
CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL.....	36
2.1. La política ambiental y la política de saneamiento.....	37
2.1.1. Bases conceptuales de la política de saneamiento ambiental	38
2.2. Aguas residuales: características y necesidad de su tratamiento	43
2.3 La región natural.....	44
2.3.1 La región hidrológica.....	45
2.3.2 La cuenca y la región hidrográfica	46
2.3.3 La región a estudiar, la subcuenca	48
2.4 Aplicación de la gobernanza colaborativa en la gestión de aguas residuales.....	48
2.4.1 La gobernanza colaborativa	50
2.4.2 El papel de la gobernanza colaborativa en el saneamiento de las aguas residuales	51
2.5 La gestión integrada de los recursos hídricos (GIRH).....	53

2.6 La percepción social como complemento para la gobernanza	55
CAPÍTULO III. METODOLOGÍA.....	57
3.1 Marco situacional.....	57
3.1.1 Marco contextual	57
3.2 Diseño de la investigación	80
3.2.1. La población y la muestra	80
3.2.2 Técnicas e instrumentos de trabajo	82
3.3 Análisis de datos	84
3.3.1 Q-gis.....	84
3.3.2 Análisis estadísticos.....	87
CAPÍTULO IV. RESULTADOS	89
4.1 El contexto espacio territorial y sociodemográfico de la subcuenca	91
4.1.1 Delimitación de la zona poniente de la Subcuenca del Río Atoyac-SMT.....	91
4.1.2 Características generales de la población de estudio.....	94
4.1.3 Características generales de las actividades productivas en la subcuenca de estudio	95
4.2 Evaluación del impacto de las aguas residuales en el río Atoyac, permisos de descarga, estrategias de saneamiento y calidad del agua en Tlaxcala.....	98
4.2.1 Impacto de las descargas de aguas residuales en el río Atoyac dentro del área de estudio	98
4.2.2 Autorizaciones para la descarga de aguas residuales en la subcuenca de estudio	100
4.2.3 Diagnóstico de los sistemas de tratamiento y control de las aguas residuales en la subcuenca de estudio	104
4.2.4 Diagnóstico de la calidad del agua en el tramo del río Atoyac analizado	107
4.3 Percepción de la contaminación del río Atoyac por parte de la población ribereña.....	112
4.4 Percepciones institucionales sobre la intervención de los tres niveles de gobierno en la problemática de contaminación del río Atoyac.....	118
4.5 Discusiones	123
4.6 Propuesta de modelo de gobernanza colaborativa para el saneamiento de aguas residuales en la subcuenca del Río Atoyac-SMT	138
CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	141
Referencias Bibliográficas.....	152

Anexos	163
Anexo 1: Guía para la aplicación de la encuesta en las poblaciones ribereñas del río Atoyac en el estado de Tlaxcala	163
Anexo 2: Guía de entrevista a actores clave (servidores públicos federales, estatales y municipales)	168
Anexo 3: Códigos del SCIAN seleccionados del DENUE para el análisis de establecimientos que pueden generar descargas de aguas residuales	170

Índice de tablas

<i>Tabla 1. Cobertura de Saneamiento en Países de América Latina en el 2018.</i>	<i>17</i>
<i>Tabla 2. Listado de cuencas que integran la RHA IV Balsas.</i>	<i>67</i>
<i>Tabla 3. Cuencas secundarias o subcuencas del Río Atoyac.</i>	<i>73</i>
<i>Tabla 4. Muestreo Probabilístico estratificado por comunidad</i>	<i>81</i>
<i>Tabla 5. Actores locales institucionales seleccionados para la aplicación de entrevista semiestructurada (informantes clave).</i>	<i>84</i>
<i>Tabla 6. Estados con territorio en la zona poniente de la subcuenca del Río Atoyac-SMT.</i>	<i>91</i>
<i>Tabla 7. Municipios que componen la zona poniente de la subcuenca del Río Atoyac-SMT y su área en la cuenca.</i>	<i>93</i>
<i>Tabla 8. Establecimientos en la cuenca de estudio por estado, clasificados por el número de personas que laboran.</i>	<i>97</i>
<i>Tabla 9. Permisos de descarga de aguas residuales autorizados por CONAGUA y su volumen de descarga, clasificados por uso y entidad federativa en la zona de estudio.</i>	<i>102</i>
<i>Tabla 10. Permisos de descarga de aguas residuales otorgados por CONAGUA, organizados por municipio en la zona de estudio.</i>	<i>103</i>
<i>Tabla 11. PTAR municipales por estado en la zona de estudio, capacidad instalada y caudal tratado al 31 de diciembre de 2022.</i>	<i>104</i>
<i>Tabla 12. Relación de PTARs no municipales instaladas y en operación en la subcuenca de estudio al 31 de diciembre de 2022.</i>	<i>106</i>
<i>Tabla 13. Listado de PTAR's no municipales, organizadas por municipio en la subcuenca de estudio, con información al 31 de diciembre de 2022.</i>	<i>107</i>
<i>Tabla 14. Listado de estaciones de monitoreo de la RENAMECA consideradas en el análisis dentro de la subcuenca de estudio.</i>	<i>108</i>

Índice de figuras

<i>Figura 1. Número de PTARs municipales en México por quinquenio (1996- 2022).</i>	20
<i>Figura 2. Gasto (Q) de las PTAR's municipales en México por quinquenio (1996 – 2021).</i>	22
<i>Figura 3. Materia orgánica, determinada mediante DBO₅, en las descargas de aguas residuales de fuentes municipales y no municipales en México durante 2020.</i>	26
<i>Figura 4. Materia orgánica, medida como DBO₅, contenida en las aguas residuales descargadas, en las aguas recolectadas y la removida en PTAR s municipales y no municipales.</i>	27
<i>Figura 5. Remoción de materia orgánica, expresado en términos de Demanda Bioquímica de Oxígeno a cinco días (DBO₅), durante el tratamiento de las aguas residuales, tanto municipales como no municipales.</i>	28
<i>Figura 6. Modelo de interacción colaborativa en procesos de gobernanza.</i>	53
<i>Figura 7. Cuencas Hidrográficas en el País (1471).</i>	58
<i>Figura 8. Cuencas Hidrológicas en el país (757).</i>	59
<i>Figura 9. División Hidrológica de México (37 Regiones Hidrológicas).</i>	60
<i>Figura 10. División Hidrológica Administrativa de México (13 Regiones Hidrológicas Administrativas).</i>	61
<i>Figura 11. Delimitación territorial de la Cuenca hidrográfica del río Balsas.</i>	63
<i>Figura 12. Ubicación y delimitación espacial de la RH 18 Balsas.</i>	64
<i>Figura 13. Entidades federativas comprendidas en la RH 18 Balsas.</i>	65
<i>Figura 14. Relación territorial entre la RHA IV Balsas y la RH 18 Balsas.</i>	66
<i>Figura 15. Delimitación Hidrológica Multiescalar de la Región Balsas.</i>	68
<i>Figura 16. Organización espacial para la gestión y planeación en la RHA IV Balsas.</i>	69
<i>Figura 17. Ubicación y delimitación de la cuenca del Río Atoyac en la RH 18 Balsas.</i>	71
<i>Figura 18. Delimitación y localización de las subcuencas en la cuenca del Río Atoyac.</i>	72
<i>Figura 19. Delimitación geográfica de la cuenca del Alto Atoyac y sus subcuencas.</i>	75
<i>Figura 20. Ubicación geográfica del estado de Tlaxcala.</i>	76
<i>Figura 21. Territorio de los estados de Puebla, Tlaxcala y México en la subcuenca del Río Atoyac-SMT.</i>	77
<i>Figura 22. División municipal del estado de Tlaxcala.</i>	79
<i>Figura 23. Cuenca de estudio, zona poniente de la subcuenca del Río Atoyac-SMT.</i>	90
<i>Figura 24. Municipios ubicados en la zona poniente de la subcuenca del Río Atoyac-SMT.</i>	92
<i>Figura 25. Plantas de tratamiento de aguas residuales municipales, descargas de aguas residuales y los principales parques industriales en la zona poniente de la subcuenca del Río Atoyac-SMT.</i>	99

<i>Figura 26. Comportamiento de los valores de DQO en la estación RENAMECA (DLTLA2576) AF-2 PTAR DM Villa Alta, en el periodo 2012 a 2020, con línea de tendencia y coeficiente (R^2).....</i>	<i>109</i>
<i>Figura 27. Comportamiento de los valores de DQO en la estación RENAMECA (DLTLA2581) RA-7, Río Atoyac antes de su confluencia con el Río Xochiac, en el periodo 2012 a 2020, con línea de tendencia y coeficiente (R^2).....</i>	<i>110</i>
<i>Figura 28. Comportamiento de los valores de DQO en la estación RENAMECA (DLTLA2547) RA-12 Río Atoyac, antes de la confluencia con el Río Zahuapan, en el periodo 2012 a 2020, con línea de tendencia y coeficiente (R^2).....</i>	<i>111</i>
<i>Figura 29. Proporción de género de la población encuestada.....</i>	<i>112</i>
<i>Figura 30. Percepción de la contaminación del río Atoyac.....</i>	<i>114</i>
<i>Figura 31. Percepción de la población del origen de la contaminación del río Atoyac</i>	<i>114</i>
<i>Figura 32. Percepción de la población sobre la existencia de PTARs municipales.....</i>	<i>116</i>
<i>Figura 33. Percepción de la población sobre la operación de las PTARs municipales.....</i>	<i>117</i>

Acrónimos y siglas

CCRB	Consejo de Cuenca del Río Balsas
CF	Coliformes Fecales
COFEPRIS	Comisión Federal para la Protección contra Riesgos Sanitarios
CONAGUA	Comisión Nacional del Agua
CONAHCYT	Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías
CPD's	Condiciones Particulares de Descarga
CPEUM	Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos
DBO ₅	Demanda Bioquímica de Oxígeno al quinto día
DOF	Diario Oficial de la Federación
DQO	Demanda Química de Oxígeno
INE	Instituto Nacional de Ecología
INECC	Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático
INEGI	Instituto Nacional de Estadística y Geografía
LAN	Ley de Aguas Nacionales
LGEEPA	Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente
MDI	Modelo Digital de Elevación
msnm	metros sobre el nivel del mar
NOM	Norma Oficial Mexicana
OD	Oxígeno Disuelto
ONU	Organización de las Naciones Unidas
OSC	Organizaciones de la Sociedad Civil
PNH	Programa Nacional Hídrico
PROAGUA	Programa de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento en comunidades Urbanas y Rurales
PROFEPA	Procuraduría Federal de Protección al Ambiente
PTAR	Planta de Tratamiento de Aguas Residuales
PTARs	Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales
RENAMECA	Red Nacional de Medición de la Calidad del Agua
RH	Región Hidrológica
RHA	Región Hidrológica Administrativa
SEMARNAT	Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales

SECIHTI	Secretaría de Ciencia, Humanidades, Tecnología e Innovación
SIG	Sistemas de Información Geográficas
SST	Sólidos Suspendidos Totales
Subcuenca del río Atoyac-SMT	Subcuenca del Río Atoyac-San Martín Texmelucan
UNESCO	Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura

Impacto de la Política Ambiental de Saneamiento en el Tratamiento de las Aguas Residuales Municipales en la Subcuenca del Río Atoyac - San Martín Texmelucan, en el Estado de Tlaxcala. fue realizada por Martín Ernesto Munive de León.

martin.munidel@gmail.com

Resumen

Este estudio analiza cómo la política ambiental de saneamiento ha influido en el tratamiento de las aguas residuales municipales en la subcuenca del Río Atoyac-San Martín Texmelucan, en Tlaxcala. A pesar del incremento de la infraestructura de saneamiento, el problema persiste: los cuerpos de agua siguen contaminados, lo que evidencia que la centralización en la administración hídrica ha limitado la capacidad operativa y financiera de los municipios. El objetivo es entender esta dinámica y desarrollar una propuesta de gobernanza colaborativa que mejore la gestión del saneamiento. Para ello, se caracteriza el contexto territorial y sociodemográfico y se analiza cómo la política ambiental ha impactado la calidad del agua. Como metodología se utilizó un enfoque cualitativo basado en revisión documental, análisis normativo y estadístico de fuentes oficiales, complementado con una encuesta en la población y entrevistas a actores clave. El marco teórico se basa en la teoría de la gobernanza colaborativa con enfoque de política ambiental.

Los resultados muestran que, aunque el número de plantas de tratamiento ha aumentado, su funcionamiento es deficiente: 35 % no opera, mientras que las restantes trabajan al 70 % de su capacidad, logrando remover apenas 20 % de la materia orgánica de las descargas municipales. Como consecuencia, los niveles de contaminación continúan siendo elevados, con impactos negativos en la salud pública y los ecosistemas. La conclusión principal es que la estrategia nacional se ha centrado en incrementar el volumen de tratamiento, sin asegurar que las plantas funcionen de manera adecuada. Por ello, se plantea la necesidad de una gestión descentralizada, incluyente y colaborativa, en la que participen diferentes niveles de gobierno, sociedad civil y usuarios del agua, permitiendo soluciones más efectivas.

Palabras clave: saneamiento ambiental, aguas residuales, política hídrica, gobernanza colaborativa, contaminación hídrica.

Introducción

El manejo sustentable del recurso hídrico y el adecuado tratamiento de las aguas residuales representan aspectos fundamentales dentro de las prioridades ambientales y de desarrollo, tanto a nivel nacional como internacional, porque afectan directamente la salud de las personas, la productividad económica y la sustentabilidad ambiental. En México, a pesar de contar con políticas públicas e importantes inversiones en infraestructura de saneamiento, las medidas adoptadas para el saneamiento hídrico han resultado insuficientes en términos de impacto real. La subcuenca del Río Atoyac-SMT, localizada regiones de Puebla, Tlaxcala y México, y que forma parte de la Cuenca del río Alto Atoyac, constituye uno de los puntos más críticos en relación con esta problemática, y se caracteriza por altos índices de contaminación del agua y una preocupante incidencia de enfermedades, como problemas renales crónicos y leucemias agudas confirmadas por organismos nacionales y estudios de instituciones académicas y de salud (CNDH, 2017; CONAHCYT, 2023).

El estudio identifica una contradicción fundamental: Durante los últimos años, se ha desarrollado considerablemente la infraestructura destinada al tratamiento de aguas residuales. No obstante, los cuerpos de agua que reciben estas descargas aún presentan altos niveles de contaminación. Se estima que aproximadamente 35 % de las plantas de tratamiento municipales no se encuentran operando, mientras que aquellas que sí están en funcionamiento, lo hacen en promedio, al 70 % de su capacidad (CONAGUA, 2023a). Además, muchas de ellas no alcanzan a cumplir con los límites máximos permisibles de contaminantes establecidos por la normativa ambiental vigente ya sea en los permisos de descarga donde se establecen las condiciones particulares de descarga o en la norma oficial mexicana (NOM-001-SEMARNAT-2021) (CNDH, 2017; CONAGUA, 2020c).

Esta situación se agrava por un modelo de gestión hídrica centralizado, en el que la autoridad federal concentra la toma de decisiones estratégicas, la planeación, la autorización de proyectos y la supervisión, mientras que la operación y el mantenimiento recaen en los municipios, que enfrentan limitaciones presupuestales, técnicas y administrativas (Domínguez, 2010).

Este trabajo de investigación tiene como propósito analizar la relación entre la centralización de la administración del agua y la efectividad de la política ambiental de saneamiento en el tratamiento de aguas residuales municipales en México, centrándose en la subcuenca del Río Atoyac-SMT en Tlaxcala. Además, se busca formular una propuesta basada en los principios de la gobernanza colaborativa, que permita integrar la participación de los diferentes niveles de gobierno, sectores sociales y usuarios del agua para enfrentar de manera efectiva la problemática de contaminación.

El contenido de esta investigación se organiza en cinco capítulos, cada uno aportando elementos que ayudan a entender la complejidad del problema y plantear alternativas de solución.

En el Capítulo I se presenta el diseño de la investigación y se revisan los antecedentes del problema; se documenta la evolución histórica de la política de saneamiento en México, los esfuerzos institucionales realizados y los resultados sobre la cobertura de saneamiento y calidad del agua. Se delimita el problema estableciendo que la centralización de la administración del agua y los bajos niveles de efectividad en el tratamiento de las descargas municipales son la raíz de la situación. Además, se formulan las preguntas y objetivos de la investigación, apoyándose en la hipótesis de que la centralización limita la capacidad de los municipios para colaborar de manera efectiva en la implementación de políticas ambientales, afectando negativamente la calidad del agua. Se resalta la importancia social, ambiental y académica del estudio para mejorar la salud pública y la sustentabilidad hídrica.

En el Capítulo II se desarrolla el marco teórico y conceptual, revisando los conceptos clave de política ambiental y de saneamiento, así como la normativa y las instituciones que regulan la gestión de aguas residuales en México. Se analiza, de manera especial, la teoría de la gobernanza colaborativa como una alternativa a los modelos centralizados, destacando su potencial para fomentar decisiones compartidas, coordinación interinstitucional, transparencia y corresponsabilidad social. También se abordan conceptos como región hidrológica, cuenca y subcuenca, y se exploran las particularidades territoriales de la subcuenca del Río Atoyac-SMT para contextualizar los desafíos en la gestión local.

Por su parte, en el Capítulo III se expone la metodología utilizada, de carácter cualitativo, en la que se combinan técnicas de revisión documental, análisis normativo y estadístico, además de la encuesta levantada en las localidades a la ribera del río Atoyac en Tlaxcala, así como, entrevistas semiestructuradas a actores clave en el ámbito institucional. Se describe el proceso para recopilar y analizar datos oficiales sobre infraestructura de saneamiento, la operatividad de las plantas y los niveles de contaminación reportados por la CONAGUA, así como la estrategia para seleccionar a los informantes y las categorías de análisis.

El Capítulo IV expone los resultados obtenidos. A pesar del incremento en el número de plantas de tratamiento municipales, se evidencia que una parte significativa no opera y que, cuando lo hacen, funcionan por debajo de su capacidad de diseño. Además, se destaca que la cobertura de saneamiento reportada se basa únicamente en el volumen de agua tratada, sin considerar la eficacia en la remoción de contaminantes, lo que distorsiona la evaluación de la política ambiental. Los hallazgos indican que el modelo centralizado ha limitado la participación efectiva de los municipios y de la sociedad civil, al concentrar la toma de decisiones en la autoridad federal y desconectar la planificación de la infraestructura de su operación local. Frente a esto, se propone

avanzar hacia un modelo de gobernanza colaborativa que involucre a los tres niveles de gobierno, sectores sociales y usuarios del agua en un esquema de corresponsabilidad, concertación y seguimiento conjunto.

En el Capítulo V se concluye y se realizan algunas recomendaciones de este trabajo, dejando claro que la subcuenca del Río Atoyac-San Martín Texmelucan (SMT) atraviesa una crisis socioambiental, resultado de años de contaminación, falta de coordinación entre instituciones y una gestión del agua que ha dejado fuera a las comunidades locales. Aunque existen plantas de tratamiento de aguas residuales (PTARs) y un marco legal que habla de cuidado integral del recurso hídrico, en la realidad la contaminación sigue siendo alta, y las PTARs, en su mayoría, no funcionan como deberían. Más allá de los problemas técnicos, el capítulo reconoce que el verdadero origen de esta situación está en la forma en que se organiza y decide el manejo del agua, altamente centralizado y alejado de las realidades del territorio.

Uno de los hallazgos más evidentes es que muchas de las plantas de tratamiento no operan por falta de presupuesto, mantenimiento o porque en su diseño nunca se consideraron las dinámicas reales de las comunidades. Además, la calidad del agua del río Atoyac sigue sin mostrar mejoría, lo que refleja problemas en el saneamiento. El capítulo señala que la política ambiental de saneamiento se ha aplicado de forma reactiva, respondiendo a conflictos o presiones sociales, sin un diagnóstico técnico y una planeación que oriente las acciones.

También se hace evidente la falta de espacios reales de participación para la gente de las comunidades ribereñas, quienes padecen las consecuencias de la contaminación y, sin embargo, rara vez son escuchados. Aunque en el discurso oficial se habla de participación ciudadana, en la práctica estos espacios son limitados y poco incidentes. Por eso, en este capítulo se concluye que enfrentar este problema no solo es tomar acción en construir más PTARs o aplicar más sanciones;

sino por replantear por completo la manera en que se gestiona el agua en la región. Además, se propone una gestión compartida, donde las comunidades, los municipios, los estados y la federación trabajen en conjunto, con reglas claras, recursos suficientes y respeto por los saberes locales. Asimismo, se recomienda crear indicadores que midan no solo cuánta agua se trata, sino su calidad pos tratamiento y cumplimiento normativo, qué tan sanos están los ecosistemas y qué tan justo es el acceso al recurso. Solo así, reconoce, se podrá pensar en una solución de fondo, que garantice no solo agua limpia, sino también dignidad y futuro para quienes habitan la cuenca.

CAPÍTULO I. DISEÑO DE INVESTIGACIÓN

1.1 Antecedentes de Investigación

Según la Agencia Europea de Medio Ambiente (EEA, 1999), el estrés hídrico ocurre cuando la disponibilidad de agua no es suficiente para cubrir las necesidades en un tiempo determinado o cuando su calidad disminuye al grado de limitar sus posibles usos. Esta problemática repercute negativamente en los cuerpos de agua dulce, tanto en términos de cantidad -mediante la sobreexplotación de acuíferos y la reducción de caudales- como de calidad, expresándose en procesos de eutrofización, contaminación por descargas orgánicas y salinización

De este modo, el estrés hídrico es una de las preocupaciones primordiales en tiempos de crisis ambiental, con la finalidad de garantizar el acceso al agua, no sólo en términos de disponibilidad, sino también en lo que respecta a su calidad, ya que el agua es un recurso esencial para la vida, y guarda una estrecha relación con el desarrollo de la humanidad (UNESCO, 2020), lo que impulsa al ser humano a la búsqueda, desde diversas perspectivas, de soluciones que den respuesta a los desafíos relacionados con el agua, tales como escasez y contaminación.

En este sentido, la escasez del agua, su mala calidad y el tratamiento deficiente, -cuando éstas ya son residuales- se convierten en un conjunto de problemáticas para la salud, la productividad y el desarrollo, además del entorno ambiental, se ven afectados, desencadenando impactos desfavorables en la salud y el bienestar de la población (Cosgrove y Loucks 2015; ONU, 2018).

Las descargas de aguas residuales municipales e industriales constituyen una de las principales fuentes de contaminación en los ríos a escala mundial, las cuales son utilizadas para riego agrícola, afectando negativamente la producción de alimentos, y a pesar de existir políticas

de saneamiento en diversos países, los procesos de tratamiento suelen ser inadecuados o deficientemente operados, calculando que cerca del 80 % de las aguas residuales generadas por actividades urbanas e industriales a nivel global, no son tratadas antes de ser descargadas, perjudicando a los ecosistemas, la salud de las personas y la seguridad alimentaria (ONU, 2016; UNESCO, 2021).

México no es ajeno a este fenómeno, aunque existen políticas de saneamiento y se ha desarrollado la infraestructura para el tratamiento de las aguas residuales, los resultados obtenidos siguen siendo insatisfactorios, de tal forma, se ha planteado que los problemas ambientales son intrínsecamente sociales y existe la necesidad de considerar espacios, territorios y regiones en el análisis para la búsqueda de respuestas para resolver la problemática de contaminación del agua, destacando la importancia de la naturaleza para la subsistencia humana y la preservación ambiental (Velasco, 2017).

Por ello, la sociedad en su conjunto ha emprendido una búsqueda activa para contrarrestar la contaminación del agua mediante el desarrollo de tecnologías que tienen la capacidad de remover los contaminantes generados tanto en la industria, las descargas urbanas y otros usos. Estas tecnologías tienen como finalidad tratar las aguas residuales, dando lugar a la obtención de dos productos principales: agua tratada y materiales recuperados –lodos- (UNESCO, 2017); dichos productos se presentan como recursos valiosos, susceptibles de ser utilizados. Este enfoque positivo crea un círculo virtuoso que promueve el bienestar general.

En el caso del agua tratada presenta la posibilidad de ser reutilizada en diversos usos o diferentes finalidades, como el riego agrícola, la generación de energía o en servicios que no demandan una calidad del agua extremadamente alta. Por ejemplo, en riego de jardines, que contribuye a la reducción de la demanda de agua de primer uso. De tal forma que, al reducir las

descargas de contaminantes, se pueden lograr beneficios significativos para los cuerpos receptores de agua, sus ecosistemas y, en última instancia, para la salud humana (UNESCO, 2017). Para ello la norma NOM-001-SEMARNAT-2021 regula las descargas de aguas residuales en cuerpos receptores de propiedad nacional, e incluye límites máximos permisibles en las aguas residuales tratadas que sean descargadas en terrenos de cultivo.

Para el caso de lodos residuales, de acuerdo con su calidad y al tratamiento al que se sometan, pueden ser usados como fertilizantes orgánicos, para composta, mejoradores de suelos degradados, producción de energía o como materiales de construcción, en aras de impulsar la productividad y, al mismo tiempo, preservar el entorno medioambiental.

En México, como en el resto del mundo, la tecnología habitualmente empleada para el saneamiento de aguas residuales consiste en la construcción y operación de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales (PTARs). Estas instalaciones se han consolidado como el pilar de la política ambiental en materia de saneamiento hídrico, con el objetivo de reducir la carga contaminante de las aguas residuales y, en consecuencia, mitigar la contaminación de los cuerpos de agua donde son vertidas (Maya y Pineda, 2018; Pacheco-Vega, 2007).

Es importante señalar que, en julio de 2010, La Asamblea General de las Naciones Unidas declaró el acceso al agua y al saneamiento como un derecho humano fundamental (ONU, 2013) y, en concordancia con ello, en febrero de 2012 México realizó una modificación al artículo cuarto de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos (CPEUM), mediante la incorporación de un sexto párrafo en el que se establece:

Toda persona tiene derecho al acceso, disposición y saneamiento de agua para consumo personal y doméstico en forma suficiente, salubre, aceptable y asequible. El Estado garantizará este derecho y la ley definirá las bases, apoyos y modalidades para el acceso y uso equitativo y sustentable de los recursos hídricos, estableciendo la participación de la federación, las entidades federativas y los municipios, así como la participación de la ciudadanía para la consecución de dichos fines (Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión, 2012, p. 5)

En este contexto, el gobierno mexicano, a través de sus tres niveles de administración pública (federal, estatal y municipal), ha emprendido esfuerzos considerables para cumplir con la política ambiental y asegurar el saneamiento del agua en México; esto se ha materializado en el incremento periódico de la construcción de PTARs, las cuales, durante los primeros años de la segunda década del siglo XXI, existían 4,231 (CONAGUA, 2021, p. 100).

Sin embargo, ese esfuerzo tecnológico y presupuestal ha sido insuficiente y se refleja en niveles persistentemente elevados de contaminación del agua; pues tan sólo en 2021 la Red Nacional de Medición de la Calidad del Agua (RENAMECA), administrada por la CONAGUA, monitoreó 4,233 sitios en ríos, arroyos, lagos, lagunas, presas y zonas costeras a nivel nacional (CONAGUA, 2024a), encontrando que en el territorio mexicano “El 30.0 % (rojo) no cumplen con DBO, DQO, Toxicidad y/o Enterococos; el 29.1 % no cumple con *Escherichia coli*, Coliformes Fecales, Sólidos Suspendidos Totales y/o porcentaje de Saturación de Oxígeno Disuelto” (CONAGUA, 2020d, p. 5), calificando estos cuerpos de agua como contaminados o fuertemente contaminados.

En este sentido, corresponde a la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), en su calidad de órgano descentralizado encargado de la gestión de las aguas nacionales en México, proponer a la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) las Normas Oficiales Mexicanas en materia hídrica, conforme a lo dispuesto en el artículo 9, fracción XXXI de la Ley de Aguas Nacionales (LAN). Dichas normas, una vez autorizadas y publicadas en el Diario Oficial

de la Federación (DOF), adquieren carácter obligatorio. De igual forma, conforme a lo establecido en el artículo 86, fracción V de la LAN, es responsabilidad de la CONAGUA vigilar que las descargas de aguas residuales se realicen conforme a la normativa aplicable, con el propósito de conservar la calidad de las aguas nacionales.

Más aún, la misma CONAGUA, junto con los gobiernos estatales, cuando se trata de aguas residuales de origen público urbano, aporta recursos financieros para la construcción de las plantas de tratamiento municipales, autoriza los proyectos de cada obra y otorga los permisos para su construcción. Y una vez concluidas las obras, las PTARs son entregadas a las autoridades municipales para que las operen y den el mantenimiento correspondiente, sin que se les otorguen recursos para ello.

Finalmente, la propia dependencia federal se encarga de verificar que las descargas de aguas residuales cumplan con las Condiciones Particulares de Descarga (CPDs) señaladas en los permisos correspondientes o, en su caso, con lo dispuesto en la Norma Oficial Mexicana NOM-001-SEMARNAT-2021, la cual establece los límites máximos permitidos de contaminantes para las descargas vertidas en cuerpos de agua de propiedad nacional.

De tal forma la CONAGUA tiene una doble función, que la posiciona como juez y parte en la gestión del agua: por un lado, establece y propone normativas para la regulación de los recursos hídricos, por otro, supervisa y verifica el cumplimiento de dichas regulaciones. También controla la planeación, autorización y financiamiento de las plantas de tratamiento de aguas residuales, para luego transferir su operación a los municipios sin proporcionar los recursos suficientes para su operación y mantenimiento, que es el principal problema con las PTARs municipales, por lo cual se reportan, en un alto porcentaje, fuera de operación (CONAGUA, 2022a; OCDE, 2013).

Por otra parte, el primer informe estratégico del Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías (CONAHCYT) indica que las condiciones ambientales de la Cuenca del río Alto Atoyac están afectadas por la industria y el crecimiento demográfico, perjudicando la salud de la población, y con ello informa sobre la presencia, frecuencia y mortalidad asociada a enfermedades prevenibles, como son las enfermedades renales crónicas (ERC) y leucemias (CONAHCYT, 2023).

Lo anterior, de acuerdo con el propio CONAHCYT (2023, pp. 99-100), que menciona que la media nacional de mortalidad por enfermedades renales crónicas (ERC) se estima en 7.10 por cada 100,000 habitantes; en tanto que, en la Cuenca del Alto Atoyac, la tasa de mortalidad asociada a este mismo grupo de enfermedades es significativamente más alta, con varios municipios superando este promedio nacional, tales como: Santa Isabel Cholula, San Jerónimo Tecuanipan y San Gregorio Atzompa (Pue.) con 15.99, Santa Isabel Xiloxoxtla y Tepeyanco (Tlax.), 15.16; Ocoyucan (Pue.), 13.97; Tocatlán y Xaloztoc (Tlax.), 13.45; San Francisco Tetlanohcan y Teolochoholco (Tlax.), 13.39.

En cuanto a las leucemias agudas, la media nacional de mortalidad es de 2.51 personas por cada 100,000 habitantes. Dentro de la Cuenca del Alto Atoyac, la tasa de mortalidad atribuida a leucemias agudas también es más alta, con municipios como: Santa Isabel Xiloxoxtla y Tepeyanco (Tlax.) con 4.52; Santa Cruz Quilehtla y Santa Catarina Ayometla (Tlax.), 4.13; Chiautzingo (Pue.), 4.13; Tepetitla de Lardizábal (Tlax.), 3.77 y Ocoyucan (Pue.) con 3.67 (CONAHCYT, 2023, p. 101).

Estas estadísticas reflejan un panorama preocupante en la Cuenca del Alto Atoyac, debido a las elevadas tasas de mortalidad tanto por enfermedad renal crónica (ERC) como por leucemias agudas, significativamente superiores a las medias nacionales. Esta situación evidencia la

necesidad de examinar no solo las condiciones ambientales de la región, sino también las estrategias institucionales y de gobernanza que se han implementado para atender esta problemática.

Con el propósito de recabar información y conocer el estado actual de las investigaciones vinculadas con la teoría de la gobernanza colaborativa y la implementación de políticas públicas, se llevó a cabo una revisión bibliográfica de diversas fuentes. A partir de esta revisión, se presentan descripciones sintéticas de los principales enfoques y hallazgos identificados en torno a modelos de gestión ambiental aplicados en contextos similares.

En este sentido, destaca el estudio realizado por Del Barrio et al. (2020), quienes analizaron las políticas de saneamiento mediante gobernanza ambiental en la cuenca del río Negro, en Argentina, derivado de su elevada contaminación. Los autores detectaron la necesidad de establecer acciones bajo un modelo público-privado, presentando iniciativas de prevención y saneamiento que incluyeran a los actores involucrados y fomentaran esquemas de gobernanza ambiental participativa.

Continuando en el plano internacional en España, Barandiaran (2021) investigó sobre el modelo de *Gobernanza Colaborativa* en la innovación pública y social para estimular la reflexión colectiva e identificar prioridades, generando líneas de actuación. Como resultado encontró que el modelo es más valioso cuando hay mayor disposición de las personas involucradas.

Por su parte, Calderón-Llaguento (2022), con la finalidad de encontrar la causa de las carencias del servicio de saneamiento en Lima y Callao, Perú, realizó un estudio sobre el impacto de la Política Nacional de Saneamiento y las inversiones públicas en ese sector. De lo que concluyó que dicha escasez se debe, en parte, a la carencia de un diagnóstico apropiado de la política pública sobre el marco legal y técnico para la ejecución de las inversiones públicas.

En el contexto nacional, Pacheco-Vega (2009) desarrolló un estudio centrado en la estructura institucional encargada del tratamiento de aguas residuales en México, prestando particular atención al caso de la cuenca Lerma-Chapala. Con ello, donde destaca la complejidad de organización por parte de las instituciones en los diferentes niveles de gobierno y su organización y, en consecuencia, es necesaria una delimitación precisa de las atribuciones de los distintos niveles de gobierno y entidades involucradas en el saneamiento de aguas residuales de origen municipal e industrial en el ámbito nacional.

A su vez, Martínez-Ruiz (2022) estudió el impacto que han tenido los proyectos de mejora del entorno urbano y del saneamiento del río Querétaro, en el estado del mismo nombre e identificó que no hay compatibilidad de la política de mejoramiento urbano y de saneamiento del río, por lo que se carece de acciones de desarrollo sostenible de los tres niveles de gobierno, además del distanciamiento que existe con los habitantes de las márgenes del río.

Casiano (2022) analizó la gobernanza de la política de saneamiento en México, donde los principales actores en el tema son el gobierno federal y los municipios. Sin embargo, el autor destaca la importancia de los gobiernos estatales en la política de saneamiento de las aguas residuales en el país.

En relación con el estado de Tlaxcala, Rodríguez (2010), llevó a cabo una investigación sobre la gobernanza del saneamiento en la cuenca Atoyac-Zahuapan, en la cual, identificó que la gestión aún no se había adoptado un modelo democrático e inclusivo que incluyera el proceso de gobernanza, cuatro años después, la autora realizó un estudio sobre el rol de la participación social en el saneamiento del río Atoyac en el municipio de Tepetitla de Lardizábal, Tlaxcala, ahí se dio cuenta de que la participación social es manejada por las instituciones y que a pesar de que han

logrado avances en la participación abierta, aún no existe una representación que incida en la elaboración y establecimiento de las políticas de saneamiento (Rodríguez, 2014).

Posteriormente, Escobar (2015) realizó una investigación sobre Gobernanza Colaborativa entre estado, comunidades y comités de agua de tres localidades de Tlaxcala. En el estudio observó que las comunidades cuentan con capacidad de gestión del agua a través de los comités, además de que las asambleas comunitarias y la gobernanza colaborativa contribuyen a mejorar las condiciones de esas localidades.

Por su parte, Casiano et al. (2016) investigaron sobre la descentralización de la gobernanza del agua en la política de tratamiento de aguas en la subcuenca del Río Atoyac en Tlaxcala. Concluyendo que la implementación de la política de saneamiento se apoya en parte en la gobernanza, lo que permitió incrementar la cantidad de aguas residuales tratadas, pero sin lograr los objetivos planteados en la publicación en el DOF de la clasificación del río Atoyac y algunos de sus afluentes.

Así mismo, Zamora (2020) llevó a cabo una investigación orientada a identificar los factores que inciden en la conformación y dinámica de las redes de gobernanza en siete municipios pertenecientes a la Zona Metropolitana Puebla-Tlaxcala. Con lo que identificó que los municipios con factores y dinámicas determinadas construyen redes específicas.

1.2 El problema de Investigación

Con lo referido líneas arriba, se observa que la federación, a través de la CONAGUA, actúa como regulador, planificador y ejecutor, lo que puede generar un conflicto de interés en la gestión

del proceso de saneamiento de las aguas residuales generadas en las localidades, tanto urbanas como rurales.

Por otro lado, es fundamental reconocer que el agua se contamina debido a los residuos generados por actividades antropogénicas. Se estima que aproximadamente el 80 % de las aguas residuales son vertidas en cuerpos receptores —como ríos— sin ningún tipo de tratamiento. Esto ocurre a pesar de que en 1990 se reportaba que 2,100 millones de personas contaban con acceso a servicios de saneamiento. Sin embargo, para 2017, se estimaba que 2,400 millones de personas aún carecían de este servicio básico y que alrededor de 1,000 millones continuaban practicando la defecación al aire libre (UNESCO, 2017, 2021). Por ello, el medio ambiente y el ser humano se ven severamente afectados, y aunque el desarrollo de la tecnología en materia de saneamiento de las aguas residuales permite eliminar los contaminantes, no se ha logrado tener la calidad necesaria para evitar o mitigar los efectos negativos para los ecosistemas y las sociedades.

Tal como se mencionó en apartados anteriores, el saneamiento de aguas residuales es una problemática de alcance mundial, de ello, la UNESCO (2017) dio cuenta al señalar que existe una marcada vinculación entre el desarrollo económico de los países y su capacidad para sanear aguas residuales, observándose que aquellos con altos ingresos alcanzan un promedio de tratamiento del 70 % en sus descargas municipales e industriales, mientras que en los países de ingresos medios-altos, el porcentaje baja considerablemente, alcanzando 38 %; y en las naciones con ingresos medios-bajos ese promedio alcanza 28 %, en tanto que en los países pobres este porcentaje es de sólo 8 % (p. 2).

En este mismo contexto, en Europa y América del Norte el acceso al saneamiento para 2017 presentaba 95 % de cobertura, contrastando con las estimaciones para América Latina y el Caribe, que oscilaban entre 20 % y 30 %. Sin embargo, como se observa en la Tabla 1, Chile es

un país que para 2018 destacó por su cobertura de saneamiento con 72 %, que se encuentra por encima de lo reportado para México del 51 % para ese mismo año y en el extremo inferior se encuentra Argentina, con sólo 22 % de cobertura (UNESCO, 2017, pp. 5-6).

Tabla 1.

Cobertura de Saneamiento en Países de América Latina en el 2018.

País	Cobertura de saneamiento (%)
Chile	72
México	51
Ecuador	43
Perú	39
Brasil	34
Colombia	23
Argentina	22
Promedio regional	40

Fuente: UNESCO, 2021, p. 127.

Por otra parte, para poder comprender la política ambiental de saneamiento de las aguas residuales, es importante analizar las reformas constitucionales y normativas en la materia.

De este modo, en febrero de 1982 se incorporó el inciso a) a la fracción III del artículo 115 de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos (CPEUM), mediante el cual se otorgó a los municipios la facultad de encargarse de la prestación de los servicios de agua potable y alcantarillado (Carabias y Landa, 2005), y, por tanto, prestar estos servicios a los habitantes asentados en su territorio, además de recolectar las aguas residuales de cada localidad.

Posteriormente, en enero de 1989, se constituyó la CONAGUA como órgano desconcentrado de la entonces Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos (SARH), responsable de administrar las aguas nacionales conforme a lo dispuesto en el quinto párrafo del

artículo 27 de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos. Más adelante, el 1 de diciembre de 1992, se promulgó la Ley de Aguas Nacionales (LAN), ratificando a esta dependencia como órgano normativo encargado de la administración, gestión y preservación de las aguas nacionales (Rolland y Vega, 2010), lo que llevó a concentrar el poder sobre el agua en el ámbito federal.

Por otro lado, la responsabilidad en materia de tratamiento de aguas residuales aún no se encontraba considerada en la constitución, por lo que a partir de diciembre de 1999 la federación otorga la responsabilidad de los servicios de saneamiento a los mismos municipios con otra reforma al artículo 115 (Carabias y Landa, 2005), disponiendo en la tercera fracción 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” (Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión, 2025, pp. 117-118); y con ello son garantes de tratar las aguas residuales municipales generadas en su territorio y de la disposición de su descarga.

Ahora bien, los tres niveles de gobierno tienen alguna atribución en la aplicación y seguimiento de la política ambiental de saneamiento, sin embargo, la CONAGUA dispone de un presupuesto superior al de los gobiernos estatales y municipales para la construcción y rehabilitación de plantas de tratamiento de aguas residuales (Lezama, 2010), además se debe considerar que este órgano desconcentrado planifica las obras junto con los gobiernos estatales, quienes aportan un porcentaje de los recursos¹. Aunque los municipios o comunidades pueden

¹ Los recursos federales pueden variar de acuerdo con el tipo de obra, prioridad, tamaño de la localidad, y si esta es rural o urbana. Para el año 2024, los porcentajes se ubicaron entre el 50 % y el 80 % (DOF, 2024).

aportar recursos y ejecutar las obras, generalmente no lo hacen debido a su capacidad limitada o porque los estados deciden ejecutar dichas obras.

No obstante, es necesario considerar que, si bien, los municipios, conforme al artículo 115 constitucional, deberían ser los responsables de construir, operar y mantener las plantas de tratamiento, ellos no cuentan con un presupuesto específico para esta función, ya que solamente operan con la recaudación que su ámbito de gobierno les permite, vinculado a la prestación de los servicios públicos. Siendo que en materia de agua y saneamiento recaudan recursos insuficientes, pues se estima que a nivel nacional sólo se cobra 40 % del agua distribuida, ya sea, por pérdidas del líquido en fugas, por fallas en el padrón de usuarios o en la facturación (CONAGUA, 2020b).

La situación anterior, se ve agravada porque en la mayoría de las comunidades no se contempla una cuota de alcantarillado y saneamiento, además de que, normalmente el personal carece de capacitación para operar estos sistemas y existe una alta rotación, lo que hace complicado operar los sistemas.

Con relación a los gobiernos estatales, estos no cuentan con una atribución explícita establecida en la CPEUM, sin embargo, en las reglas de operación del programa federalizado denominado Programa de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento en comunidades Urbanas y Rurales (PROAGUA), se establece su participación junto con la CONAGUA, quienes acuerdan la ejecución de las obras en cada una de las entidades (DOF, 2024).

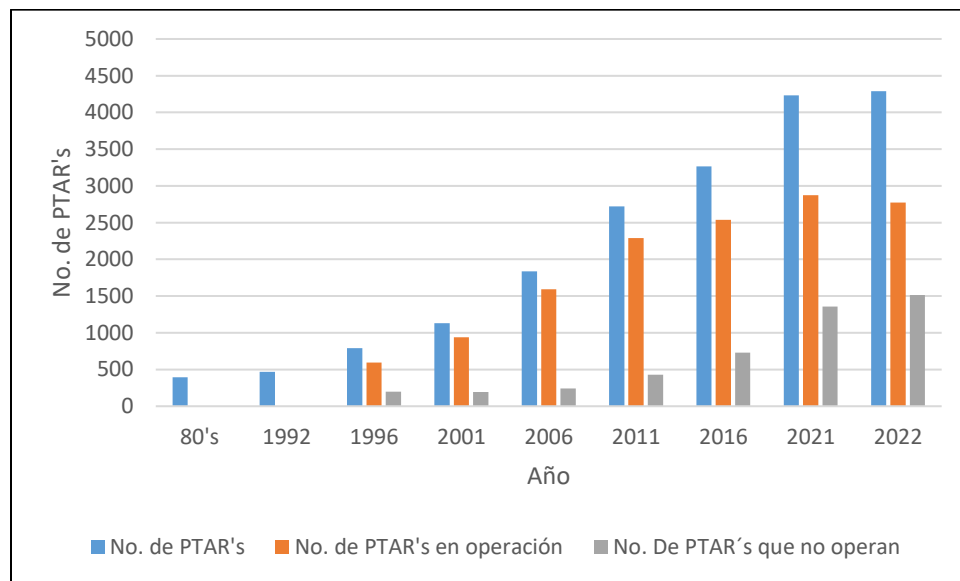
De este modo, los recursos son transferidos a los gobiernos estatales, y una vez concluidas las obras, son entregadas a los municipios o a las comunidades para su operación y mantenimiento (CONAGUA, 2020b), los cuales, como se hizo notar líneas arriba, no cuentan con un presupuesto y capacitación para tal fin y, por tanto, con los recursos suficientes para sostener la infraestructura.

Por otro lado, es importante analizar que en México en la década de los ochenta del siglo XX existían 256 PTARs, para 1992 se incrementaron a 394 y en 1996 ya se contaba con 793 PTARs (CONAGUA, 2022a, págs. 53 y 55), posteriormente, el Inventario de plantas de tratamiento de aguas residuales, da cuenta que para el año 2022 ya existían 4,289 PTARs municipales (CONAGUA, 2022b). De tal forma que se construyeron en promedio 134.5 PTARs cada año en el periodo 1996 a 2022.

En la Figura 1 se puede observar que para el 2022 se encontraban en operación 2,774 PTARs, que significa que 64.7 % estaban operando, y 35.3 %, equivalente a 1,515 PTARs, no operaban (CONAGUA, 2022b).

Figura 1.

Número de PTARs municipales en México por quinquenio (1996- 2022).



Fuente: Integración y representación propias con datos de CONAGUA (2021; 2022b).

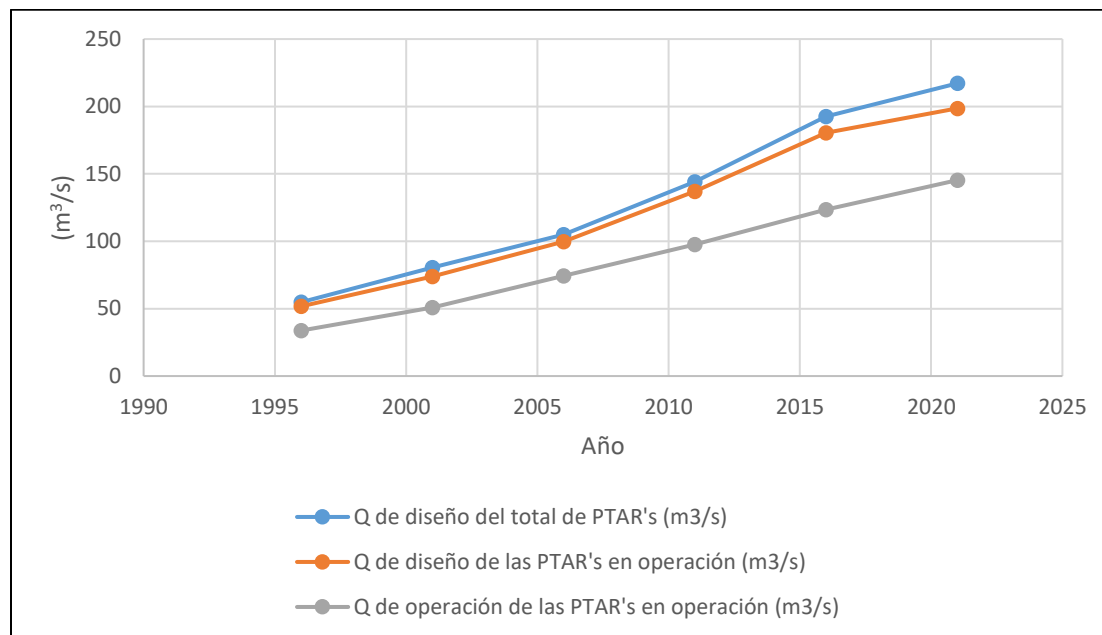
Con relación a los gastos de diseño y operación, el mismo inventario de plantas de tratamiento, reporta para 1996 un gasto de diseño de 54.8 m³/s de las 793 PTARs existentes en ese momento, sin embargo sólo estaban operando 595 PTAR's, las que fueron proyectadas con un gasto de diseño de 51.7 m³/s, y en ese momento su gasto de operación fue de 33.7 m³/s. de tal forma que estaba operando 61.6 % del gasto total de diseño, y de las PTARs que se encontraban en operación, en promedio, funcionaban al 65.3 % de su capacidad instalada (CONAGUA, 2022b, p. 102).

De tal forma, el gasto de diseño se fue incrementando año con año, hasta el último reporte de 2022, que fue 216.5 m³/s de las 4,289 PTARs existentes en ese momento, y de estas, 2,774 PTAR's se encontraban operando con una capacidad instalada de tratamiento de 195.54 m³/s, sin embargo, sólo estaba operando un gasto de 143.8 m³/s (CONAGUA, 2022b, p. 102).

Durante 2022, 64.7 % de las PTARs construidas o instaladas a nivel nacional permanecían en operación, y de las que estaban operando, sólo fue a 73.6 % de su capacidad. Lo anterior, a pesar de que la tendencia del gasto de diseño de las PTARs ha ido en aumento, con un incremento promedio anual de 6.5 m³/s (Figura 2) (CONAGUA, 2022b), sin embargo, el gasto de operación fue 66.4 % del gasto de diseño total, y para cada año reportado los datos son similares.

Figura 2.

Gasto (Q) de las PTAR's municipales en México por quinquenio (1996 – 2021).



Nota: Q es el gasto; m³/s son metros cúbicos por segundo.

Fuente: Integración y representación propias con datos de CONAGUA (2021).

De este modo, se constató que el número de plantas destinadas al tratamiento de aguas residuales municipales si se ha incrementado durante las últimas décadas, lo mismo que el gasto de diseño o gasto instalado. Sin embargo, los datos de gasto de operación encontrados son reveladores, dado que las plantas de tratamiento, o son sobredimensionadas, y/o no son operadas adecuadamente, y/o no se cuenta con la infraestructura de conducción adecuada que conduzca las aguas residuales al lugar de tratamiento, o simplemente se desvían las aguas residuales antes de ingresar a la PTAR por no contar con los recursos necesarios para la correcta operación de la infraestructura. Lo que hace que operen, en promedio, por cerca del 70 % de su capacidad, aunado a que 1,515 PTARs (en el año 2022) no se encontraban en funcionamiento (CONAGUA, 2022b), situación que se observa en todos años de los que se tienen datos. Lo que deriva en pérdida de recursos en infraestructura que no funciona, y la que lo hace, no es a toda su capacidad.

Cabe señalar que la tendencia de incremento de número de PTAR's y el gasto de operación, llegó a su máximo en el año 2021, para 2022 tuvo un ligero descenso, dado que se reportó que dejaron de operar 98 PTARs con un gasto de operación de 1.6 m³/s. Ello, a pesar de que el número de PTARs construidas ese mismo año fue de 58, lo que significa que dejaron de operar más PTARs de las que se construyeron (CONAGUA, 2022b).

De tal forma, es importante hacer notar situaciones en las que es evidente que el problema no está resuelto y las acciones no tienden a mejorar las condiciones de los cuerpos de agua, por ello la conclusión que hace Casiano (2022) “El tratamiento de aguas residuales está fallando en todo el mundo y es importante identificar enfoques contextualizados que puedan mejorar el saneamiento en México y América Latina” (p. 8), revela que no sólo es una situación en el país.

A pesar de ello, a lo largo de su historia, la política ambiental en México ha enfocado sus acciones en ampliar la cobertura de infraestructura destinada a su tratamiento, privilegiando la cantidad de obras construidas como indicador principal de avance, dejando a un lado su operación y mantenimiento, confiando ello al artículo 115 constitucional, que establece que los municipios son los responsables de éstas acciones, sin embargo, dichas entidades, en su mayoría, carecen de los recursos económicos, materiales y de personal, además del poco interés de las autoridades en dicho tema, situación que provoca que las plantas de tratamiento de aguas residuales municipales permanezcan fuera de operación o funcionen de manera deficiente.

Por otra parte, al examinar la composición de las aguas residuales, se obtiene una perspectiva diferente en relación con los resultados que se han alcanzado mediante la estrategia nacional para la construcción y operación de PTARs.

Para este análisis, se toma como indicador la concentración de materia orgánica, evaluada a través de la DBO₅, debido a que representa uno de los principales constituyentes en las descargas

de aguas residuales municipales y es responsable de diversos efectos negativos sobre los cuerpos de agua.

Para ello, es importante dar cuenta que los principales estudios que se hacen sobre la contaminación del agua, cuando se alude a la cobertura de saneamiento, se realiza en función del volumen de aguas residuales que se generan, recolectan y tratan, tal como lo señalan la ONU-Habitat (2020), la UNESCO (2017; 2021) y la propia CONAGUA (2014, 2022c).

Asimismo, la legislación ambiental mexicana contempla en la NOM-001-SEMARNAT-2021 los parámetros máximos aceptables de contaminantes permitidos en las descargas de aguas residuales hacia cuerpos de agua de acuerdo con sus características (cauces, embalses o zonas marinas), al tipo de suelo y su uso (áreas verdes o infiltración), donde los contaminantes que se consideran son:

Temperatura, Grasas y Aceites (GyA), Sólidos Suspendidos Totales (SST), Demanda Química de Oxígeno (DQO), Carbón Orgánico Total (COT), Nitrógeno Total (N), Fósforo Total (P), Huevos de Helminto, *Escherichia coli*, Enterococos Fecales, Potencial Hidrógeno (pH), Color verdadero y Toxicidad Aguda (UT), Cianuro (CN), Arsénico (As), Cadmio (Cd), Cobre (Cu), Cromo (Cr), Mercurio (Hg), Níquel (Ni) Plomo (Pb), Zinc (Zn). (SEMARNAT, 2022, pp. 7-8)

Estableciendo en sus tablas 1 y 2, las concentraciones de cada uno de los parámetros según el tipo de muestreo a realizar, donde los límites más laxos son los Valores Instantáneos (VI), seguido del Promedio Diario (PD) y finalmente el valor más estricto es en el Promedio Mensual (PM) (SEMARNAT, 2022, pp. 7-8).

Cabe señalar que en la norma no se establece un límite en el volumen o gasto de descarga, esta condición se presenta en los permisos de descarga de aguas residuales emitidos por la CONAGUA con el simple hecho que el usuario reporte el volumen y su gasto (Q l/s). De tal forma, existe una discrepancia entre los indicadores de avance en materia de saneamiento de aguas

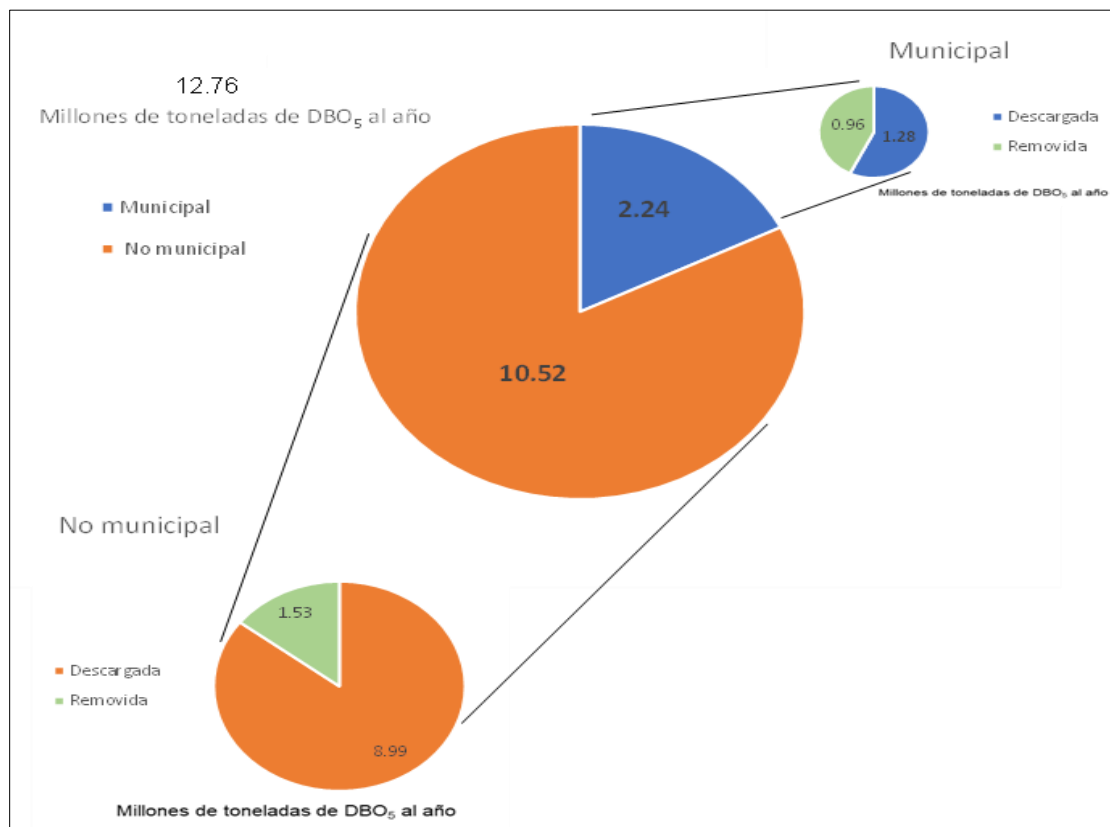
residuales y los criterios que marca la normativa, dado que es necesario contar con el volumen que se puede descargar en un determinado cuerpo receptor y la concentración del contaminante en esa descarga, para así obtener el total del contaminante descargado en determinado tiempo.

Si bien, CONAGUA (2022c, p. 127) reporta una cobertura de saneamiento para México, basada en los volúmenes de aguas residuales, de 67.2 %, es conveniente considerar que para 2020 la cantidad de materia orgánica (DBO_5) descargada en México, ascendió a 2.24 millones de toneladas al año de DBO_5 en el ámbito municipal (Figura 3), con una capacidad para remover 0.96 millones de toneladas del contaminante, lo que significa que el porcentaje de remoción de DBO_5 fue de 43 %.

En este mismo sentido, en el año 2020 la materia orgánica en descargas no municipales, que incluyen las descargas industriales (Figura 3), fue de 10.52 millones de toneladas de DBO_5 al año y la removida es de solo 1.53 millones de toneladas, equivalente a una remoción de 15 %.

Figura 3.

Materia orgánica, determinada mediante DBO_5 , en las descargas de aguas residuales de fuentes municipales y no municipales en México durante 2020.

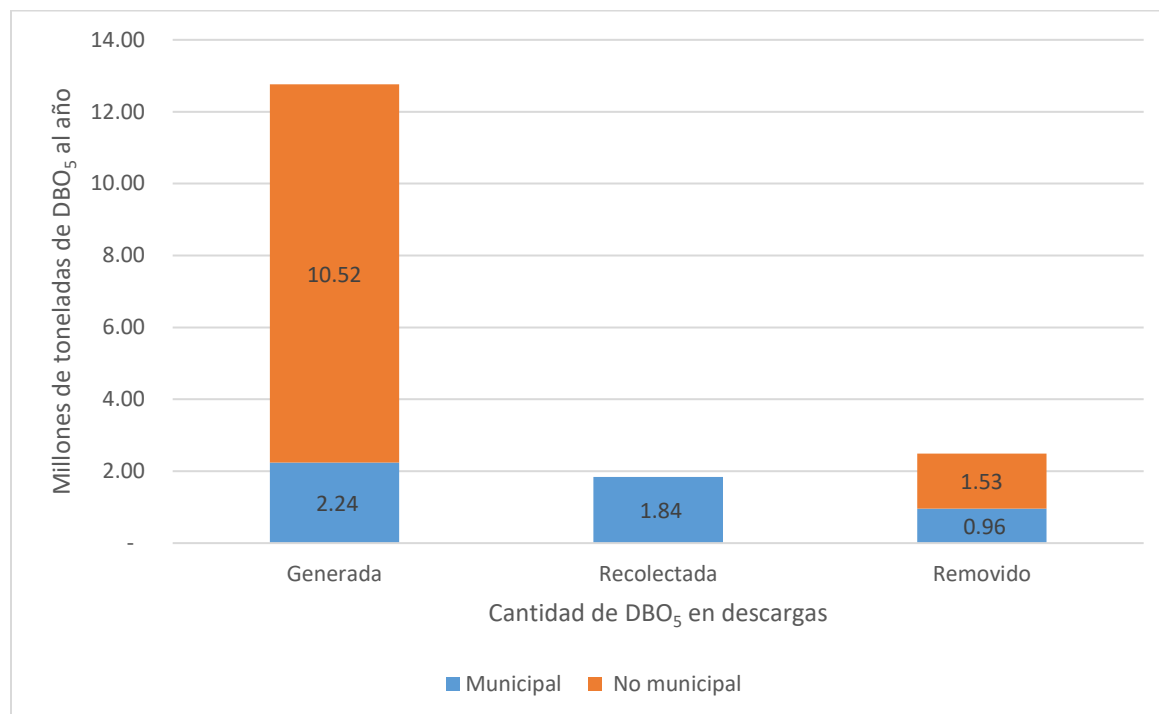


Fuente: integración y representación propias con datos de CONAGUA (2022c, p. 126).

Es importante señalar que el total de materia orgánica en las descargas de origen municipal y no municipal es de 12.76 millones de toneladas de DBO_5 al año, y la eliminación de este contaminante registra únicamente un valor de 2.49 millones de toneladas de DBO_5 por año (Figura 4), equivalente a remover el 19.5 % del contaminante.

Figura 4.

Materia orgánica, medida como DBO₅, contenida en las aguas residuales descargadas, en las aguas recolectadas y la removida en PTAR s municipales y no municipales.

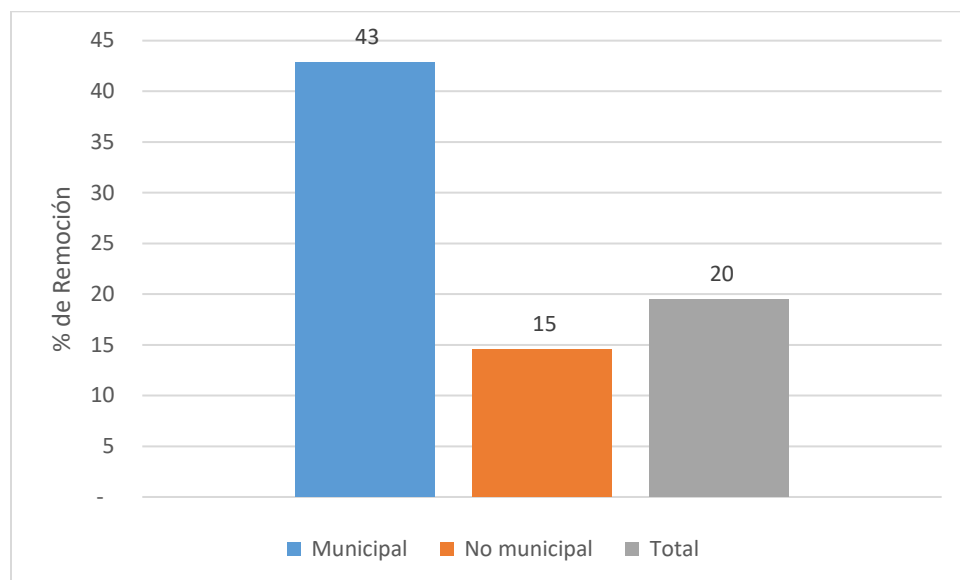


Fuente: Integración y representación propias con datos de CONAGUA (2022c, p. 126).

Por tanto, la cobertura de saneamiento no alcanza a remover el 80 % de la materia orgánica generada, y a pesar de que los reportes indican que la cobertura es de 67.2 % del volumen de descarga (CONAGUA, 2022c, p.127), sólo se alcanza a remover 20 % de este contaminante contenido en el total de las descargas generadas, como se observa en la Figura 5.

Figura 5.

Remoción de materia orgánica, expresado en términos de Demanda Bioquímica de Oxígeno a cinco días (DBO₅), durante el tratamiento de las aguas residuales, tanto municipales como no municipales.



Fuente: integración y representación propias con datos de CONAGUA (2022c).

Con esto, se puede observar que la estrategia tomada para el saneamiento de las aguas residuales, en México y a nivel internacional, ha incrementado considerablemente el número de plantas de tratamiento y el volumen de agua tratada, estrategia que no necesariamente implica remover la mayor cantidad de contaminantes, por esto es importante diferenciar la cobertura basada en el volumen, dado que esta implica que el principal interés es incrementar el volumen de aguas tratadas, sin considerar necesariamente remover los contaminantes.

De tal forma, al tomar en cuenta la cantidad de contaminante que se remueve de las aguas residuales, como cobertura de saneamiento, la estrategia de saneamiento sería diferente, con un interés en remover contaminantes, que finalmente lo que se busca es descargar menor cantidad de contaminantes a los cuerpos receptores y que el uso de los recursos financieros se optimicen.

Aunado a lo anterior, referente a la materia orgánica, la mayor contaminación (82 %) es generada por descargas no municipales, lo que hace que las principales políticas establecidas sean

para solventar sólo 18 % del problema, cuando (con las políticas ambientales actuales y con menos recursos), se puede tener personal para realizar visitas de inspección y si fuera necesario sancionar y/o clausurar (temporal, parcial o definitivamente) las instalaciones que no cumplan con la normatividad. Sin embargo, es posible modificar las políticas ambientales, de tal forma que, si no es de interés el clausurar a los principales generadores de contaminación, puedes apoyar la construcción de infraestructura de saneamiento y supervisar constantemente el cumplimiento de la normatividad.

Las descargas no municipales, donde se comprende a la industria, merecen una investigación por sí sola, sin embargo, esta investigación se centrará en las descargas municipales en la subcuenca del río Atoyac-SMT, en el estado de Tlaxcala.

1.3 Justificación

Debido a la problemática ambiental que representa la contaminación de los cuerpos de agua en la cuenca del río Alto Atoyac, esta investigación delimita su atención en la subcuenca del Río Atoyac-SMT. El área de estudio abarca la zona poniente de dicha subcuenca, hasta el punto previo a su confluencia con el río Zahuapan, donde el río Atoyac constituye el cauce principal.

Para la cuenca del Río Alto Atoyac, la CONAGUA (2020a) indica que la contaminación de los cuerpos de agua a causa de las descargas de aguas residuales constituye la problemática sustantiva en materia hídrica, situación, que de alguna manera se ha buscado atenuar al construir infraestructura de tratamiento, sin embargo, otro problema, señala el mismo documento, es la existencia de plantas de tratamiento construidas que no operan. Con ello, no hay forma de eliminar los contaminantes de las descargas y evitar la afectación de los cuerpos receptores.

Lozano (2022) considera que la cuenca Alto Atoyac es una de las más contaminadas de México, lo que ocasiona severos problemas de salud humana (como cáncer y leucemia) y graves afectaciones ambientales y agrícolas. Esta problemática se debe a la acumulación de diversos contaminantes, que incluyen metales pesados, compuestos orgánicos, agroquímicos, farmacéuticos y microplásticos, derivados principalmente de descargas industriales (textil, petroquímica) y municipales sin tratar en la cuenca.

Lo anterior concuerda con los resultados presentados por el CONAHCYT, los cuales evidencian que el crecimiento poblacional y las actividades industriales han intensificado la contaminación de los cuerpos de agua en la cuenca del río Alto Atoyac, generando riesgos para la salud de la población. Se ha documentado que esta situación está asociada a la exposición constante a contaminantes y sustancias tóxicas, tales como metales pesados y metaloides, compuestos orgánicos-sintéticos, plaguicidas, de las emisiones o descargas de la industria en la cuenca, principalmente del ramo automotriz, eléctrico, químico y textil (CONAHCYT, 2023, p. 17).

Por su parte, Hernández-Rodríguez (2022) advierte que la contaminación del río Atoyac incide de manera adversa en la salud de las personas, la productividad agrícola y el ecosistema, y propone soluciones transdisciplinarias con la participación de la población y los agricultores afectados.

En este punto es importante mencionar que previamente a los estudios enunciados, en julio de 2011, se publicó en el Diario Oficial de la Federación la Declaratoria de Clasificación aplicable a los ríos Atoyac, Xochiac o Hueyapan y sus afluentes, derivado de la problemática ambiental detectada en la cuenca (DOF, 2011a). Para ello, previamente se elaboró un estudio de clasificación de las aguas superficiales del río Atoyac y sus tributarios, el cual identificó una condición de alta contaminación atribuible a las descargas de aguas residuales tanto de origen industrial como

municipal y conforme a los registros de la CONAGUA, estas descargas contienen concentraciones de materia orgánica, nutrientes, metales pesados y coliformes que rebasan los límites establecidos en la Norma Oficial Mexicana NOM-001-SEMARNAT-1996 vigente en ese momento² (SEMARNAT, 1997).

Derivado de los hallazgos obtenidos en el diagnóstico, se determinó procedente establecer la declaratoria de clasificación que permitiera regular de manera diferenciada las descargas de aguas residuales en los cuerpos de agua de propiedad nacional dentro de la cuenca. Dicha declaratoria contempló la definición de Condiciones Particulares de Descarga (CPD's), incorporando parámetros adicionales y estableciendo límites máximos permisibles más estrictos que los previstos en la normativa ambiental vigente, con el propósito de reforzar los instrumentos de control y protección de la calidad del agua. Sin embargo, a pesar de estos esfuerzos, esta medida ha resultado ser insuficiente para abordar eficazmente el problema de la contaminación del agua en la cuenca del río Alto Atoyac (CONAGUA, 2020c).

La problemática ambiental generada por la contaminación del río Atoyac y la presión social ejercida por organizaciones civiles —que documentaron el incremento de enfermedades en comunidades ribereñas expuestas a esta situación (CAV, 2022)— propiciaron la intervención de la Comisión Nacional de Derechos Humanos [CNDH]. Como resultado, el 21 de marzo de 2017 se emitió la recomendación 10/2017, en la que se reconocen violaciones a los derechos humanos relacionados con un medio ambiente sano, el saneamiento del agua y el acceso a la información pública, derivadas de la contaminación de los ríos Atoyac, Xochiac y sus afluentes.

² La Norma Oficial Mexicana NOM-001-SEMARNAT-1996 fue actualizada, publicación se realizó en el DOF en marzo de 2022 como NOM-001-SEMARNAT-2021.

Esta recomendación señaló que los habitantes y personas en tránsito en los municipios de San Martín Texmelucan y Huejotzingo, en el estado de Puebla, así como en Tepetitla de Lardizábal, Nativitas e Ixtacuixtla de Mariano Matamoros, en Tlaxcala, se han visto afectados por esta situación. Asimismo, se identificó la responsabilidad de servidores públicos de los tres niveles de gobierno, quienes, ya sea por omisión o por falta de acciones efectivas, no han garantizado las condiciones necesarias para el saneamiento adecuado de estos cuerpos de agua (CNDH, 2017).

El río Atoyac es un recurso hídrico vital para ambos estados, sin embargo, derivado de la contaminación que afecta la calidad del agua para riego y, por ende, a la agricultura, la vida acuática del cauce y la vida en la ribera del río, se ha asociado con el incremento de enfermedades dermatológicas, respiratorias y cancerígenas entre la población que vive cerca del río o que consume productos regados con sus aguas. De tal forma que Trejo (2020) señala que es el segundo río más contaminado del país.

Es importante señalar que la contaminación de la cuenca del Alto Atoyac se categoriza principalmente como un problema social derivado de conflictos socioambientales e interacciones entre diversos agentes sociales a lo largo de la historia de la región. El deterioro es causado principalmente por actividades antropogénicas, incluyendo el crecimiento poblacional, la urbanización y la industrialización, que han dado lugar a la descarga de aguas residuales municipales e industriales sin tratar. genera importantes impactos económicos y conflictos sociales al afectar la productividad agrícola, reducir el valor de los cultivos irrigados con agua contaminada y crear tensiones por el acceso a los recursos hídricos (Altieri, 2019; IMTA-SEMARNAT, 2007).

Esta situación exige una estrategia holística que involucre a todos los actores sociales—gobierno, industria, comunidades y academia—para su mitigación y eventual restauración. La falta de gestión integrada del agua y la escasa participación pública han sido factores clave en la

perpetuación del problema, demostrando que las soluciones no pueden limitarse a aspectos técnicos, sino que deben abordar las dimensiones políticas, económicas y socioculturales subyacentes en el deterioro de la cuenca y el bienestar social (Altieri, 2019; Rodríguez, 2014).

Con relación al tema social, hay una necesidad de los usuarios de las aguas del río Atoyac de saber de la existencia de infraestructura de tratamiento y de su operación, cuáles son las políticas ambientales que se aplican en la cuenca para solucionar el problema, si los diferentes niveles de gobierno están tomando acción para sanear las aguas del cauce, y cuál es su participación en la toma de acciones.

Por ello, se considera necesario analizar la participación de los actores involucrados en la resolución de la problemática de la contaminación, dado que la política ambiental de saneamiento implementada en la cuenca del río Alto Atoyac, no ha logrado incidir de manera significativa en la reducción de los niveles de contaminación del agua en el río. Por ello, Casiano (2022) señala que los problemas asociados al tratamiento de aguas residuales obedecen principalmente a debilidades en la gestión y gobernanza del recurso hídrico.

El presente estudio se propuso analizar la relación entre la centralización de la administración del agua y la efectividad de la política ambiental de saneamiento en el tratamiento de aguas residuales municipales. Empleando una metodología mixta (cualitativa y cuantitativa), basada en la revisión documental, análisis normativo y estadístico de fuentes oficiales, complementada con la aplicación de encuestas a la población ribereña, y entrevistas a actores clave de los tres niveles de gobierno. Los resultados obtenidos indican que, si bien ha aumentado la infraestructura de tratamiento, su funcionamiento es deficiente. Como consecuencia, los niveles de contaminación en el río Atoyac permanecen elevados, superando los límites aceptables y sin una tendencia clara de mejora entre 2012 y 2020, lo que genera impactos negativos significativos

en la salud pública y los ecosistemas. Esta situación se atribuye a un modelo de gestión hídrica centralizado que limita la capacidad operativa y financiera de los municipios, así como la aplicación efectiva de la normatividad ambiental.

1.4 Preguntas de Investigación

1.4.1 Pregunta General

¿Cuál ha sido la relación entre la centralización de la administración del agua y la efectividad de la implementación de la política ambiental en el saneamiento de las aguas residuales municipales en México y su efecto en la subcuenca del río Atoyac-SMT en el estado de Tlaxcala?

1.4.2 Preguntas particulares

¿Cuál es el contexto espacio territorial y sociodemográfico de la subcuenca del Río Atoyac-SMT y su zona de incidencia en el estado de Tlaxcala?

¿Cómo ha impactado la política ambiental mexicana en materia de saneamiento de aguas residuales municipales vertidas a aguas superficiales y su efecto en la subcuenca del Río Atoyac-SMT en el estado de Tlaxcala?

1.5 Objetivos de Investigación

1.5.1 Objetivo General

Analizar la relación entre la centralización de la administración del agua y la efectividad de la implementación de la política ambiental en el saneamiento de las aguas residuales municipales mediante Plantas de Tratamiento de Agua Residual en México y su efecto en la subcuenca del Río Atoyac-SMT en el estado de Tlaxcala, para la elaboración de una propuesta de gobernanza colaborativa que atienda la contaminación de las aguas superficiales de la región.

1.5.2 Objetivos particulares

- I. Caracterizar el contexto espacio territorial y sociodemográfico de la subcuenca del Río Atoyac-SMT y su zona de incidencia en el estado de Tlaxcala.
- II. Analizar el impacto de la política ambiental mexicana en el saneamiento de las aguas residuales municipales vertidas en cuerpos de agua superficial, y su efecto en la subcuenca del Río Atoyac-SMT en el estado de Tlaxcala.

1.6 Hipótesis

La centralización de la administración del agua en México vulnera las atribuciones y la capacidad de colaboración efectiva de los gobiernos municipales en la implementación de políticas ambientales de saneamiento de las aguas residuales vertidas al río Atoyac, con un impacto negativo en la calidad de su agua.

CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL

En el desarrollo de una investigación científica y la formulación del problema de investigación, es fundamental sustentarlo teóricamente. Para ello, se requiere elaborar un marco teórico que se articule con los objetivos y la metodología (Hernández et al., 2014). Este marco se caracteriza por ser la base del pensamiento con diferentes niveles de abstracción, donde el conocimiento científico está compuesto principalmente por conceptos interrelacionados que conforman sistemas (Bunge, 2004). Un marco teórico está compuesto por un corpus de conceptos que orientan la forma de aprehender la realidad. El nivel más abstracto es el paradigma, interpretado como creencias básicas que determinan la forma de percibir la realidad; el segundo nivel es la teoría general, que son concepciones generales de la sociedad; y el tercer nivel de abstracción es la teoría sustantiva, que incluye conceptos e ideas específicas del tema a investigar (Sautu, 2005).

Elaborar un marco teórico implica sustentar adecuadamente el problema en un cuerpo de conocimientos y reflexiones sobre teorías, elementos teóricos y conceptualizaciones que se consideran adecuados para dar orden al proceso de investigación (Rojas, 2013).

De tal forma que en este capítulo se presentan los principales conceptos y teorías que sustentan y dan orden a la investigación sobre el impacto de las políticas públicas en el tratamiento de las descargas de aguas residuales municipales en la subcuenca del Río Atoyac-SMT, en el estado de Tlaxcala.

2.1. La política ambiental y la política de saneamiento

La política es un término multívoco con diferentes significados según el contexto, pero es el elemento que une a los grupos a pesar de las diferencias entre las personas. De acuerdo con Vallés (2007) la política se entiende como una práctica colectiva realizada por los miembros de una comunidad, cuya finalidad es regular los conflictos que surgen entre distintos grupos sociales, y cuyo resultado consiste en la adopción de decisiones obligatorias para todos los integrantes de dicha comunidad, incluso mediante el uso de la fuerza, si fuera necesario

La política regula los conflictos sociales mediante el establecimiento de prácticas y decisiones vinculantes que se formalizan en leyes, reglamentos y constituciones, que son reglas obligatorias para estructurar la interacción humana. La comunidad debe cumplir estas decisiones políticas, que son obligatorias y se respaldan con el uso de la fuerza que el Estado monopoliza (Vallés, 2007). Por su parte, Boneti (2017) señala que las políticas públicas son acciones nacidas en un contexto social, donde el Estado interviene para regular o realizar inversiones. Las políticas públicas son el resultado de la dinámica de las relaciones de poder entre grupos políticos, económicos, clases sociales y organizaciones de la sociedad civil, y reflejan intereses predominantes, pero no unánimes.

Las políticas públicas pueden entenderse como el resultado de la acción política, o como "un conjunto interrelacionado de decisiones y no-decisiones, que tienen como foco un área determinada de conflicto o tensión social" (Vallés, 2007, p. 395). Estas políticas deben considerar la participación de los diferentes actores involucrados. Para que una política sea pública, debe resultar de un acuerdo entre el gobierno y los actores involucrados; de lo contrario, serían solo políticas gubernamentales. La legitimidad de las políticas depende del diálogo o la negociación con los actores implicados (Jardón et al., 2017). De tal forma que la política pública se interpreta

como las decisiones tomadas para atender una problemática específica, decisiones que deben ser cumplidas, y para ello las instituciones públicas pueden obligar a su cumplimiento. Así, considerando que existen problemas ambientales y para que se puedan atender, entonces se genera una política pública a la que se le denomina política ambiental.

En este contexto, la política ambiental es interpretada por Barbieri (2006, citado en Braga y Lira, 2014, p. 54) como "un conjunto de directrices, objetivos e instrumentos de acción que el poder público utiliza para producir efectos deseables sobre el medio ambiente".

Por otra parte, Lezama (2010, p. 25) señala que "La política ambiental emerge como la posibilidad de prevenir, encausar o corregir el impacto humano sobre el medio ambiente natural". Así mismo, Benson y Jordan (2015, p. 778) interpretan que la política ambiental "se ocupa esencialmente de cómo gobernar mejor la relación entre los seres humanos y el medio ambiente natural para su beneficio mutuo".

Así mismo, según Günter y Gutiérrez (2017), la política ambiental se constituye como un conjunto de disposiciones orientadas a regular la interacción entre la sociedad y el entorno natural, con el propósito de conservar los recursos naturales y prevenir o reducir los efectos adversos de las acciones humanas sobre los ecosistemas.

2.1.1. Bases conceptuales de la política de saneamiento ambiental

La política de saneamiento ambiental, definida por Agramont et al. (2022) y Challenger et al, (2018), tiene como objetivo principal el prevenir y reducir los impactos negativos en la salud humana y en el medio ambiente, mejorando la calidad del agua, suelo, aire y ecosistemas mediante la prevención, control y mitigación de los efectos adversos de las actividades humanas.

Esta política es esencial para la salud pública, el desarrollo socioeconómico y la conservación de los ecosistemas; y en materia de agua se consideran al conjunto de normas, planes, programas y acciones destinadas a garantizar el acceso al agua potable, la gestión adecuada de las aguas residuales y la protección de los recursos hídricos frente a procesos de contaminación, sin embargo, su implementación enfrenta desafíos significativos, como la escasez de infraestructura, la falta de coordinación institucional, la baja participación ciudadana y los conflictos relacionados con el uso y manejo del agua (Torregrosa, 2017).

De la misma forma, Lezama y Graizbord (2010) plantean que la política de saneamiento ambiental tiene como objetivo mejorar la calidad del agua, aire y suelo, así como prevenir y mitigar los efectos de la contaminación sobre la salud humana y los ecosistemas. Se basa en tres principios generales: a) el principio de prevención, que implica evitar o reducir las emisiones de contaminantes antes de causar daños irreversibles; b) el principio de precaución, que implica actuar con prudencia ante la incertidumbre científica sobre los riesgos ambientales; y c) el principio de responsabilidad, que implica que los agentes causantes de la contaminación deben asumir los costos de su reparación o compensación.

2.1.1.1. El marco legal de la política de saneamiento ambiental

A mediados del siglo XX, tanto en México como en el mundo, la conciencia sobre los problemas ambientales era inexistente, sin embargo, en los años sesenta se empieza a reconocer la interdependencia entre el hombre y la naturaleza, motivada por los efectos de la industrialización y urbanización, principalmente en zonas metropolitanas (Lezama, 2010).

Para atender la problemática ambiental generada, surgen las políticas ambientales con el fin de prevenir o corregir la afectación de la sociedad y su sistema de producción sobre la naturaleza. Estas políticas buscan proyectar un orden social, proponer una guía y crear propuestas

para el futuro. No se trata solo de un asunto técnico o burocrático, sino de diseñar y operar programas que establecen leyes, reglamentos y normas para limitar los contaminantes emitidos a los ecosistemas, y construir, operar y mantener la infraestructura necesaria (Lezama, 2010).

De tal forma, el saneamiento se define como un conjunto de acciones destinadas a mejorar la calidad de vida de la sociedad y mantener un medio ambiente sano, e implica prevenir enfermedades y proporcionar mayor higiene mediante prácticas planificadas y preventivas, utilizando conocimientos de química e ingeniería ambiental para reducir o eliminar la contaminación (Pérez, 2011, citado en Peña, 2016; Dhein, 2021).

Así, una parte de la política ambiental de saneamiento busca proteger y mejorar la calidad del agua y prevenir los efectos de la contaminación en la salud humana y el ecosistema, y en este contexto, la gestión del agua en México se ha caracterizado por un modelo centralizado que otorga a la federación la responsabilidad principal de planificar, regular y ejecutar políticas hídricas, relegando a estados y municipios a un papel secundario (Domínguez, 2010).

De este modo, la política de saneamiento de las aguas residuales de origen municipal en México se sustenta en lo establecido por los artículos 4º, 27 y 115 de la CPEUM (Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión, 2025).

El artículo cuarto establece que las personas tienen derecho al acceso, disposición y saneamiento del agua y quien debe garantizar este derecho es el estado, con la intervención de la federación, las entidades federativas, los municipios y la participación de la ciudadanía.

El 27 establece que la nación es propietaria de las aguas de lagos, lagunas, presas, ríos, arroyos, barrancas, corrientes y acuíferos subterráneos dentro del territorio nacional, y tiene el

derecho de regular su uso y aprovechamiento a través de otorgar concesiones para el uso y explotación de las aguas nacionales.

Y el artículo 115 de la Constitución delega a los municipios la responsabilidad de prestar los servicios públicos de agua potable, drenaje, alcantarillado, tratamiento y disposición final de sus aguas residuales (Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión, 2025).

De igual forma, la política de saneamiento encuentra sustento en la LGEEPA, la cual plantea como ejes fundamentales la prevención y el control de la contaminación de los cuerpos de agua, con el objetivo de garantizar su uso racional, equitativo y sostenible, así como la protección de los ecosistemas y la disponibilidad del recurso. Asimismo, dicha legislación impulsa la participación corresponsable de la ciudadanía y de las autoridades en las tareas de preservación y recuperación del equilibrio ecológico (Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión, 2024).

Por su parte, la LAN, en materia de saneamiento, establece que cualquier persona o entidad puede verter aguas residuales en los cuerpos receptores de propiedad de la nación (como cauces de ríos, arroyos, barrancas, vasos, presas o zonas marinas), para lo cual debe obtener un permiso de descarga, donde se detallan las CPD's, las cuales determinan los parámetros de contaminación y los límites máximos permisibles para las descargas de aguas residuales (Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión, 2023).

De tal manera que, para cumplir con las especificaciones de los permisos, las aguas residuales deben ser tratadas adecuadamente antes de su descarga.

Mediante decreto del 29 de abril de 2004, se realizaron modificaciones sustanciales a esta ley, orientadas al fortalecimiento de la política hídrica nacional, al establecer un sistema de planificación para estructurar la gestión integral del agua. Así, se reconocieron nuevos usos del

agua, como el uso en acuacultura y aprovechamientos no consuntivos, que no implican consumo de volúmenes de agua.

De manera paralela, se incorporaron mecanismos orientados a reforzar el control y seguimiento sobre el uso, aprovechamiento y explotación de las aguas nacionales, con la finalidad de propiciar un manejo equilibrado y justo de este recurso estratégico. Además, se impulsaron esquemas de participación social para involucrar a la ciudadanía en las decisiones relacionadas con su gestión.

Por otro lado, existen las Normas Oficiales Mexicanas (NOM) que disponen límites máximos permisibles de parámetros contaminantes de acuerdo con el uso de la descarga y el tipo de cuerpo receptor.

La Norma Oficial Mexicana NOM-001-SEMARNAT-2021 fija los parámetros de concentración máxima de contaminantes que pueden contener las descargas de aguas residuales, con el objetivo de proteger la calidad de los cuerpos de agua nacionales (SEMARNAT, 2022).

La Norma Oficial Mexicana NOM-002-SEMARNAT-1996 determina los valores límite de contaminantes que pueden contener las aguas residuales descargadas en los sistemas de alcantarillado municipal o urbano, con el propósito de prevenir daños a la infraestructura, proteger los procesos de tratamiento y evitar riesgos a la salud pública y al ambiente (SEMARNAT, 1998a).

La NOM-003-SEMARNAT-1997 fija los niveles máximos de contaminantes permitidos en las aguas residuales que, tras someterse a procesos de tratamiento, son reutilizadas en servicios de uso público, tales como riego de áreas verdes, limpieza de calles o recarga de cuerpos de agua, a fin de garantizar condiciones seguras para la salud y el medio ambiente (SEMARNAT, 1998b).

Entre los instrumentos que integran la política ambiental en México, se encuentran los Programas Nacionales Hídricos (PNH), los cuales, en cada periodo gubernamental, han definido metas específicas relacionadas con el saneamiento de aguas residuales municipales. Para alcanzar dichos objetivos, se han puesto en marcha iniciativas como el PROAGUA, a través del cual el gobierno federal destina recursos financieros y asistencia técnica para apoyar a estados, municipios y comunidades en la construcción de infraestructura de saneamiento (Casiano, 2022; Maya y Pineda, 2018).

2.2. Aguas residuales: características y necesidad de su tratamiento

Las aguas residuales están compuestas por contaminantes de naturaleza orgánica e inorgánica y provienen de fuentes domésticas, industriales, comerciales, agrícolas o pluviales, representando un riesgo potencial para la salud humana y el medio ambiente, si no son sometidas a procesos de tratamiento apropiados antes de su disposición final (Metcalf y Eddy, 1995).

El proceso de tratamiento de aguas residuales es un componente estratégico dentro de las acciones de gestión de los recursos hídricos y la protección ambiental, derivado a que estas aguas contienen contaminantes como: materia orgánica, fertilizantes, patógenos, metales pesados, compuestos tóxicos, parásitos, entre otros; por lo que el objetivo de su tratamiento es reducir o eliminar estos contaminantes para cumplir con los estándares de calidad del agua establecidos por las autoridades (Romero-Aguilar et al., 2009), situación que debería estar emparejada con los ecosistemas, sin embargo, los estándares de calidad pocas veces se establecen en base a ello.

Para su tratamiento, las aguas residuales son sometidas a procedimientos que combinan métodos físicos, químicos y biológicos, de acuerdo con el tipo de contaminantes presentes en el

agua, y con ello se busca reducir su concentración, donde además el nivel de tratamiento requerido depende del uso del agua tratada, ya sea para su reúso, para recargar de acuíferos, para uso en riego, para recreación u otros fines (Cáñez-Cota, 2022).

2.3 La región natural

La región natural se define como un concepto geográfico que abarca un territorio definido por rasgos físicos, biológicos y socioculturales compartidos. Estas regiones no se establecen según límites políticos o administrativos, sino a partir de la interacción entre los procesos ecológicos, sociales y territoriales. Según Vidal de la Blache, estas zonas se determinan por similitudes en aspectos como la geología, la fisiología, el régimen de lluvias, las temperaturas y la hidrología, convirtiéndose así en una construcción histórica y cultural que refleja la relación de las personas con su entorno (Escobar, 2008).

El estudio de las regiones naturales comenzó con la comparación de mapas geológicos y topográficos. En el siglo XVII, Bauche destacó la relevancia de las cadenas montañosas, estableciendo la orografía como un criterio fundamental para la división territorial y la conceptualización de la cuenca hidrográfica (Espejo, 2003). De esta manera, el caudal de los ríos está directamente influido por la altura de las cadenas montañosas. Viqueira (2001) clasifica los ríos en tres categorías: a) ríos caudalosos provenientes de grandes montañas que conservan su nombre hasta desembocar en el mar; b) ríos medianos originados en montañas menores que pierden su nombre al confluir con ríos más grandes; y c) ríos pequeños que, aunque no nacen en montañas, logran llegar al mar.

Un tratamiento eficiente de las aguas residuales es indispensable para promover el manejo responsable de los recursos hídricos y proteger los ecosistemas. En este contexto, las características físicas, biológicas y culturales de las regiones naturales influyen directamente en la disponibilidad y calidad de los recursos hídricos. Un enfoque integrado que considere tanto la ingeniería ambiental como la planificación territorial es esencial para garantizar prácticas sostenibles. Además, la correcta gestión del saneamiento no solo protege la salud pública y fomenta el desarrollo sostenible (García-Searcy et al., 2022), sino que también contribuye a la preservación de los procesos ecológicos y sociales que dan identidad y diversidad a estas regiones (Escobar, 2008).

2.3.1 La región hidrológica

La política ambiental de saneamiento es importante para gestionar el uso y la protección de los recursos hídricos, que son esenciales para la vida humana y la biodiversidad. Sin embargo, para entender la complejidad de los problemas y desafíos relacionados con el agua, es necesario adoptar una perspectiva integral que reconozca la interrelación entre los componentes físicos, biológicos, sociales y económicos del sistema hídrico. En este sentido, el concepto de región hidrológica se presenta como una herramienta útil para analizar y planificar la gestión del agua en función de las características naturales, históricas y culturales de cada territorio.

Así, la LAN en el inciso a de la fracción XVI, del artículo tercero, define la región hidrológica como:

Área territorial conformada en función de sus características morfológicas, orográficas e hidrológicas, en la cual se considera a la cuenca hidrológica como la unidad básica para la gestión de los recursos hídricos, cuya finalidad es el agrupamiento y sistematización de la información, análisis, diagnósticos, programas y acciones en relación con la ocurrencia del agua en cantidad y calidad, así como su explotación, uso o aprovechamiento. Normalmente una región hidrológica está integrada por una o varias cuencas hidrológicas. (Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión, 2023, p. 3)

Por otra parte, Flores-Domínguez y Priego-Santander, (2022) señalan que, para analizar y estudiar los ríos se requiere ver la región de estudio desde un marco geográfico amplio, donde se contemple el enfoque de cuenca, dado a que nos permite comprender los componentes físicos, naturales y humanos, en toda la región que de alguna manera conforma y forma el río.

De esta manera, tanto la región como la cuenca hidrológica se encuentran determinadas por el ciclo hidrológico en función de sus características morfológicas, orográficas e hidrológicas, suelen tener límites diferentes a los de la división política por estados y municipios (CONAGUA, 2022c).

2.3.2 La cuenca y la región hidrográfica

La cuenca es un espacio geográfico que está delimitado por cadenas montañosas que definen la división de las aguas, una poligonal se traza desde los puntos geográficos más elevados, denominada parteaguas, donde las aguas fluyen en dirección opuesta, considerándose cuencas colindantes (Sepúlveda, 2002), y se diferencian una de otra. Así, el agua de lluvia que cae en un lado u otro escurre hasta un punto de salida correspondiente y diferenciado, a un cauce mayor o el mar (cuenca exorreica), o se almacena en alguna laguna (cuenca endorreica), espacio que se considera el sostén de las diferentes partes de la tierra (Viqueira, 2001; Sepúlveda, 2002; Sánchez et al., 2003; Gutiérrez y Emanuelli, 2010).

De tal forma, una cuenca *hidrográfica* es un área de terreno delimitada por una divisoria de agua superficial configurado por las zonas más altas de las montañas en la cual todos los escurrimientos convergen a un mismo punto o cauce principal, así las aguas se van concentrando en ríos y arroyos hasta un afluente principal (SEMARNAT, 2013), y se diferencia de una cuenca *hidrológica*, dado que como unidad morfológica, incluye la cuenca *hidrográfica* y la estructura hidrogeológica subterránea del acuífero (CEMDA, 2006).

Es relevante enunciar que los procesos ecológicos, sociales, productivos y económicos se relacionan de forma natural en la cuenca hidrográfica, lo que hace que cada cuenca tenga sus propias particularidades, siendo un espacio idóneo para planificar, acordar y colaborar con todos los elementos que conviven en ella (CEMDA, 2006).

Las regiones hidrográficas agrupan una o más cuencas hidrográficas, que son las unidades fundamentales para la gestión del agua. Su delimitación se hace considerando factores geográficos, geomorfológicos, climáticos, hidrológicos e hidrogeológicos, además de aspectos socioeconómicos, demográficos, culturales y jurídicos (Cotler, 2010).

Así mismo, Carrillo (2002) comenta que existen dos categorías de la relación espacio-región-sociedad, donde la primera ve lo regional o espacial de un fenómeno social, definiendo el fenómeno social de inicio y luego la dimensión espacial o regional, así como la segunda categoría, que tiene como base el espacio geográfico, y se refiere a los fenómenos sociales que suceden en un espacio con fronteras. Definiendo un espacio o región, y posteriormente se busca el fenómeno social; por lo que comenta que sólo existe un espacio, el geográfico, aunque diferentes fenómenos sociales se manifiesten.

2.3.3 La región a estudiar, la subcuenca

La cuenca hidrográfica, que se definió anteriormente como una unidad morfológica superficial con un parteaguas que delimita el flujo de las aguas superficiales, puede dividirse en unidades más pequeñas dentro de ella. Estas unidades tienen sus propios parteaguas y sistemas hidrológicos que aportan caudal de agua a la cuenca principal y se llaman subcuencas, cuencas secundarias o de nivel inferior. Asimismo, cada subcuenca tiene sus propios sistemas hidrológicos que contribuyen al caudal de agua. Estas son cuencas de tercer orden y así sucesivamente, hasta llegar a los territorios muy pequeños por donde el agua solo corre durante las épocas de lluvia y por periodos muy breves, denominadas microcuencas (CEMDA, 2006; INEGI et al., 2007).

2.4 Aplicación de la gobernanza colaborativa en la gestión de aguas residuales

Los procesos de globalización y regionalización han generado cambios profundos en las relaciones entre los actores locales, nacionales e internacionales, así como en las formas de producción, intercambio y regulación de bienes y servicios. Estos cambios han puesto en evidencia la insuficiencia de los modelos de gobierno basados en la soberanía territorial y la intervención estatal, y han impulsado la búsqueda de nuevas formas de cooperación, coordinación y articulación entre actores públicos y privados, que trasciendan las fronteras y los niveles de gobierno (Porrás, 2007).

Con ello, ha surgido el concepto de gobernanza, que su uso se extendió a partir de la década de 1980, y a pesar de que se ha empleado en el ámbito académico y en política, aún hay ambigüedades sobre su significado. Según el contexto, gobernanza puede tener el mismo significado o el opuesto al de noción de gobierno. Incluso para algunos autores, gobernanza sugiere

una etapa posterior a los modelos convencionales de actuación del gobierno y, para otros, la gobernanza solo es una opción o estilo de gestión de las organizaciones, entre otras posibilidades (Barandarian, 2021).

Así, Porras (2007) y Casiano (2008) señalan que gobernanza es un concepto polisémico y multidimensional que se ha utilizado para describir diferentes fenómenos sociales, políticos y económicos, que surgió como una respuesta teórica y práctica a nuevos escenarios, proponiendo un enfoque más flexible, dinámico e inclusivo de la acción pública.

De tal forma, el concepto surge como una respuesta a las limitaciones del gobierno tradicional, que se basa principalmente en la autoridad y el control jerárquico, y que no es capaz de enfrentar los desafíos de la realidad social, económica, política y ambiental (Barandarian, 2021), buscando dar soluciones efectivas a la problemática que día con día se ha complejizado.

De ahí que la gobernanza implica la participación de actores sociales, políticos y económicos, que interactúan entre sí y con las instituciones públicas, con transparencia y rendición de cuentas en la gestión de los asuntos colectivos, buscando, a través de la deliberación, consensos y soluciones a los problemas comunes con una mayor eficiencia, efectividad y equidad en la consecución de los resultados esperados. También, supone el reconocimiento de la diversidad, la complejidad y la interdependencia de los fenómenos que afectan a la sociedad, así como la necesidad de adoptar enfoques multidisciplinarios, multisectoriales y multinivel (Tortajada, 2010; Aguirre-Sala, 2019).

Así, gobernanza se puede entender como el proceso de toma de decisiones y gestión de asuntos públicos que involucra a múltiples actores con intereses diversos, tanto del sector público como del privado y la sociedad civil, en un marco de normas, valores, principios e instituciones compartidos.

De tal forma que la gobernanza es una forma en que se mejora la manera de gobernar, donde el gobierno es más incluyente, y la sociedad establece y ordena las acciones que debe realizar el gobierno, lo que hace evidente la relevancia del desarrollo del capital social, la demanda de una participación comprometida, constructiva y responsable por parte de la sociedad civil (Martínez et al., 2017).

Sin embargo, la gobernanza tiene varios derivados, como la buena gobernanza, la gobernabilidad, la gobernanza democrática, la gobernanza multinivel, la gobernanza colaborativa, la gobernanza participativa, la gobernanza adaptativa, la gobernanza electrónica, entre otros, que reflejan las distintas dimensiones, criterios, niveles, modalidades y herramientas de la gobernanza (Barandarian, 2021).

2.4.1 La gobernanza colaborativa

La gobernanza colaborativa constituye una forma específica de gobernanza, caracterizada por la implicación activa y voluntaria de múltiples actores con intereses, recursos y capacidades complementarias, que se asocian para diseñar e implementar soluciones innovadoras, sostenibles y de alto impacto a los problemas públicos compartidos, mediante procesos de co-creación, coproducción y cogestión que se basan en la confianza, el diálogo y la inteligencia colectiva (Barandarian, 2021).

La gobernanza colaborativa comprende un enfoque en el cual la creación, ejecución y administración de políticas públicas se lleva a cabo mediante mecanismos participativos que incorporan a actores diversos y relevantes en la toma de decisiones (Ansell y Gash, 2008; Emerson et al., 2012; Douglas et al., 2020), y también se debería usar para administrar programas o activos

públicos (Ansell y Gash, 2008) contemplando la participación de los diferentes niveles de gobierno y las instancias de cada uno de ellos que se vean involucradas en el tema, así como los actores sociales y del sector privado (Emerson et al., 2012) con la finalidad de crear los elementos necesarios para resolver de manera conjunta, de acuerdo con los ámbitos de cada uno los problemas presentados (Douglas et al., 2020).

2.4.2 El papel de la gobernanza colaborativa en el saneamiento de las aguas residuales

En la gestión de los recursos hídricos y particularmente en los procesos de saneamiento, es fundamental promover mecanismos de coordinación entre los distintos actores involucrados. La Gobernanza Colaborativa se presenta como una alternativa que facilita la toma de decisiones colectivas y el diseño de estrategias compartidas para atender problemas de esta naturaleza. Desde esta perspectiva, Ansell y Gash (2008) proponen la siguiente definición de Gobernanza Colaborativa:

Un acuerdo de gobierno en el que una o más agencias públicas involucren directamente a las partes interesadas no estatales en un proceso colectivo de toma de decisiones que es formal, orientado al consenso y deliberativo y que tiene como objetivo hacer o implementar políticas públicas o administrar programas o activos públicos. (Ansell y Gash, 2008, p. 544)

Con ello la definición resalta los siguientes criterios: un foro que es iniciado por las instituciones públicas, los participantes incluyen actores no estatales, los participantes lo hacen también en la toma de decisiones, el foro es formal y colectivo y el principal objetivo es tomar decisiones consensuadas, y el enfoque de la colaboración está en la política pública, por lo que está orientado a la atención de temas de interés público (Ansell y Gash, 2008).

Para llevar a cabo la gobernanza colaborativa los autores proponen verificar las condiciones de inicio (Figura 6), considerando que la condiciones que se tengan el momento de la colaboración puede impulsarla o desalentarla.

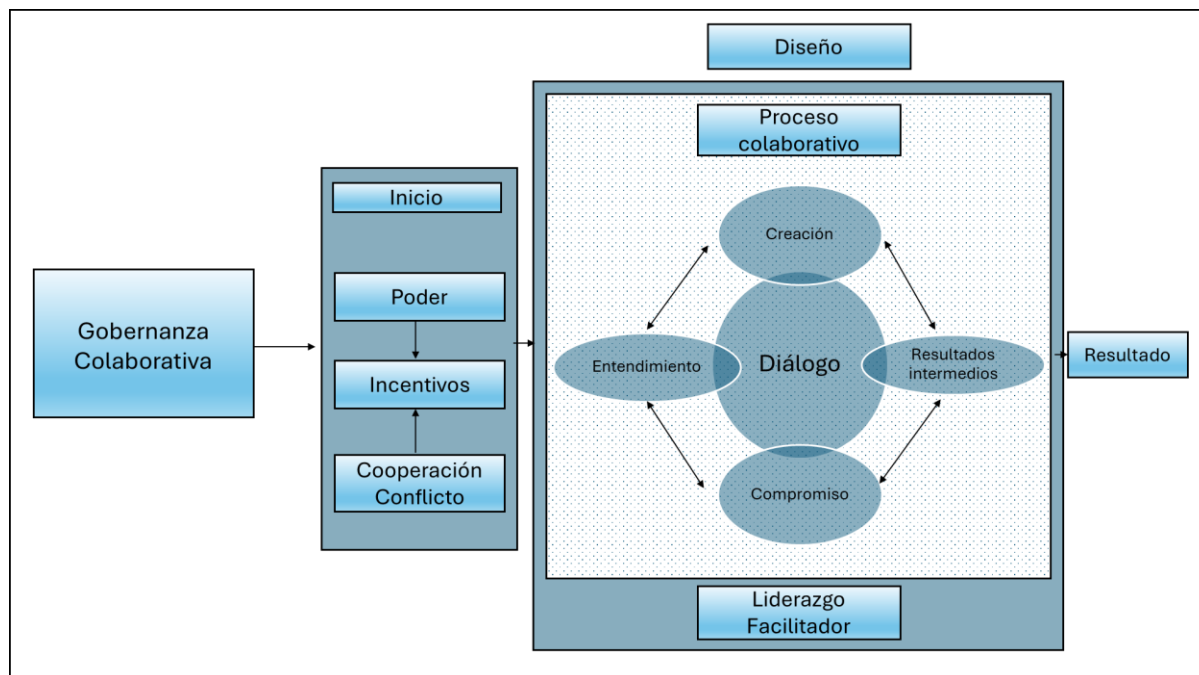
En esta etapa inicial resulta indispensable identificar los desequilibrios existentes en términos de poder, capacidades y recursos entre los actores involucrados, ya que una asimetría significativa podría derivar en la apropiación o direccionamiento del proceso de gobernanza colaborativa por parte de aquellos actores con mayor influencia. En la medida de que la participación en el ejercicio es voluntaria, es necesario comprender los incentivos de las partes y cuáles son los factores que dan forma a esos incentivos; y la prehistoria del antagonismo y la cooperación entre las partes interesadas, dado que esto dificultará o facilitará la colaboración.

Así mismo, es importante contar con un liderazgo facilitador, que es necesario para para negociar con y entre las partes y para guiar el proceso completo en momentos complicados del proceso, y con el diseño institucional o simplemente diseño, tiene que ver con los protocolos y reglas para la colaboración, y así dar legitimidad al proceso colaborativo.

Dentro del proceso colaborativo (Figura 6) hay 4 aspectos importantes que conforman la parte activa del propio proceso: a) diálogo cara a cara, que es en lo que está basado el diálogo entre las partes interesadas, siendo dirigido al consenso; b) fomento de la confianza, dado que si no existiera la confianza entre las partes se considera como una parte inicial, sin embargo lo que se busca es generar confianza entre las partes; c) compromiso con el proceso, el nivel del compromiso con la colaboración es crítica y determina el éxito o el fracaso del proceso; y d) entendimiento compartido, con lo que se considera que las partes desarrollen comprensión compartida de los logros que se pueden construir de forma colaborativa (Ansell y Gash, 2008).

Figura 6.

Modelo de interacción colaborativa en procesos de gobernanza.



Fuente: Modificado de *Ansell y Gash*, 2008.

2.5 La gestión integrada de los recursos hídricos (GIRH)

Al considerar una crisis del agua en el mundo, donde el recurso natural es abundante en ciertos territorios, y la tecnología permite la adecuada extracción, distribución, uso, tratamiento y reuso del agua de forma racional, es claro que la problemática se ha creado desde la administración y el uso del recurso, por lo que se considera que es una crisis de gobernanza. De tal forma que no es un problema natural o técnico, si no de gestión, donde es necesario que las sociedades se interesen en el problema y se involucren determinadamente (Caldera y Torregrosa, 2010).

Para ello, se ha adoptado la GIRH, que es un enfoque que busca lograr una mejor coordinación entre los diferentes actores, sectores y niveles involucrados en el uso, conservación y protección del agua, en función de las necesidades sociales, económicas y ambientales, es un

concepto que “ha sido aceptado como un medio para garantizar la gestión y provisión equitativa, económicamente sólida y ecológicamente sostenible, de los recursos hídricos” (Rogers y Hall, 2006, p. 4).

Dentro de los diversos aportes conceptuales sobre la GIRH, uno de los más citados corresponde al Comité del Consejo Técnico de la Asociación Mundial para el Agua (GWP), que la define: “un proceso que promueve la gestión³ y desarrollo, coordinados del agua, la tierra y los recursos relacionados, con el fin de maximizar el bienestar social y económico resultante de manera equitativa, sin comprometer la sustentabilidad de los ecosistemas vitales” (GWP, 2008, p. 4).

Y por su parte la LAN, en su artículo tercero fracción XXIX, adopta la esencia de la definición internacional de GIRH, pero la adapta y complementa para su aplicación específica en el contexto legal y ambiental de México, enfatizando su vínculo con el desarrollo sustentable y la relación prioritaria entre agua y bosque. Quedando la definición legal como:

Proceso que promueve la gestión y desarrollo coordinado del agua, la tierra, los recursos relacionados con éstos y el ambiente, con el fin de maximizar el bienestar social y económico equitativamente sin comprometer la sustentabilidad de los ecosistemas vitales. Dicha gestión está íntimamente vinculada con el desarrollo sustentable. Para la aplicación de esta Ley en relación con este concepto se consideran primordialmente agua y bosque. (Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión, 2023, p. 5)

³ El documento consultado traduce al español el concepto inglés *management*, como *manejo*, sin embargo, también se puede traducir como *gestión*, que es el uso que se le da en este documento.

2.6 La percepción social como complemento para la gobernanza

La percepción es un proceso esencial a través del cual las personas interpretan la realidad mediante los sentidos. Esta interpretación está influida tanto por experiencias individuales como por los contextos sociales y culturales en los que se encuentran inmersas. Como señala Kant (2005), la percepción no es un reflejo exacto de la realidad objetiva (noúmenos), sino una construcción subjetiva basada en fenómenos que son filtrados y procesados por nuestras capacidades cognitivas.

Comprender la forma en que las personas perciben su entorno resulta fundamental para la toma de decisiones sustentadas en torno al manejo y la conservación de los recursos naturales. Fernández (2008) sostiene que las percepciones ambientales, definidas como la manera en que cada individuo observa y valora su entorno, son fundamentales para diseñar políticas públicas que frenen el deterioro ambiental. Estas percepciones influyen directamente en los juicios, decisiones y conductas de las personas, lo que Pidgeon (1998) describe como un fenómeno con consecuencias reales.

Kant (2005) distingue varios tipos de percepción, como la empírica, que incluye sensaciones directamente relacionadas con la presencia de un objeto, y la percepción pura, que carece de elementos sensoriales. Además, subraya la diferencia entre percepciones claras, que permiten distinguir representaciones con precisión, y percepciones oscuras, cuya distinción es menos consciente. Estas categorías son relevantes para entender cómo las personas procesan la información sobre su entorno.

Según Corbella (1994), la percepción no se desarrolla de manera aislada, sino que está condicionada por diversos factores sociales, económicos y culturales. Se trata de un proceso generalmente involuntario y automático mediante el cual las personas captan e interpretan

información proveniente de su entorno. Este proceso, aunque cotidiano, es uno de los mecanismos psicológicos esenciales para la adaptación al entorno físico.

Por otro lado, Pidgeon (1998) enfatiza que las percepciones ambientales no son estáticas. Estas evolucionan en función de las experiencias personales y colectivas, y están profundamente arraigadas en la personalidad del perceptor. Este vínculo entre percepción y personalidad determina cómo cada individuo interpreta su entorno y reacciona ante él.

La percepción ambiental, a diferencia del conocimiento ambiental, se centra en lo que las personas experimentan directamente a través de sus sentidos en su entorno inmediato. Estas percepciones son cruciales para la vida cotidiana, ya que regulan y dirigen las actividades diarias de las personas (Catalán, 2006). Además, cumplen una función adaptativa al proporcionar la base para que los individuos comprendan su entorno y puedan interactuar eficazmente con él.

La percepción, especialmente en contextos ambientales, es un proceso dinámico y multifacético que va más allá de la simple observación del entorno, está profundamente influenciada por factores internos y externos, y tiene implicaciones directas en la formulación de políticas públicas, la gestión de recursos naturales y la adaptación al cambio ambiental. Como han destacado autores como Fernández (2008) y Pidgeon (1998), comprender estas percepciones es fundamental para abordar los desafíos ambientales contemporáneos.

CAPÍTULO III. METODOLOGÍA

3.1 Marco situacional

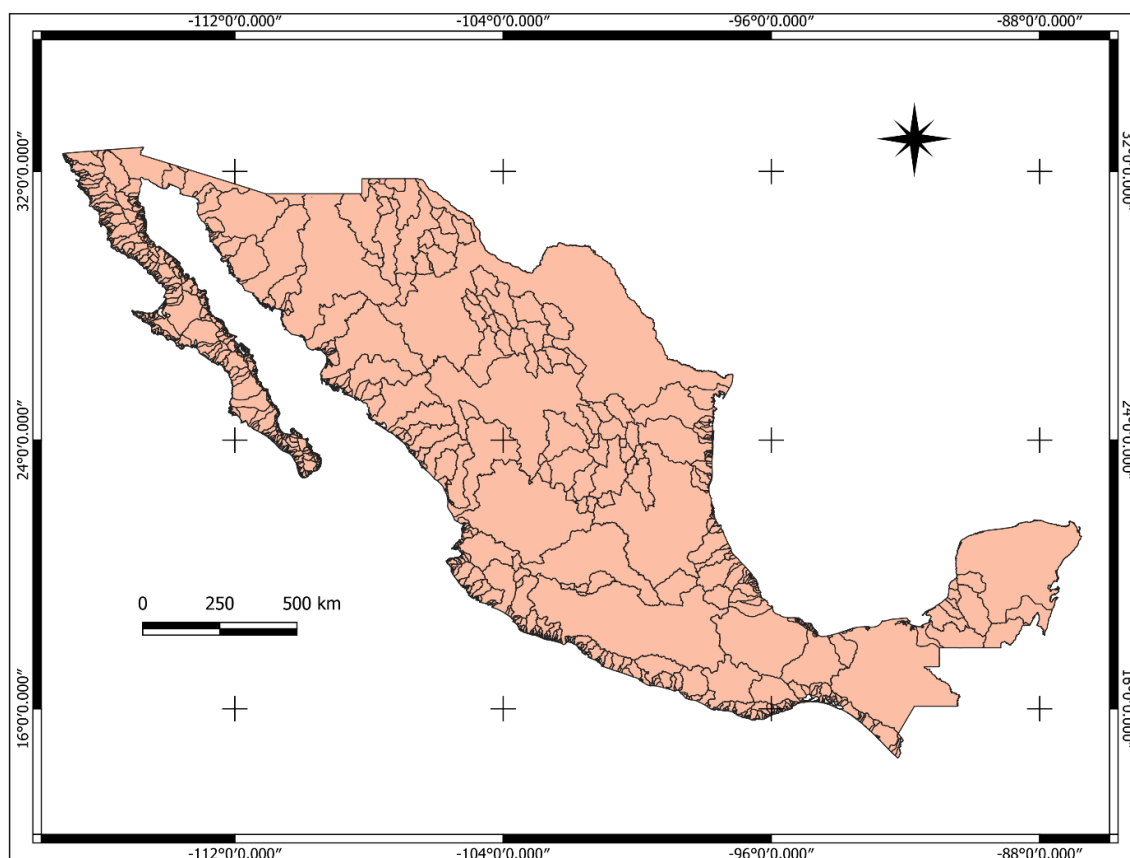
3.1.1 Marco contextual

Con la finalidad de comprender la situación de las cuencas hidrográficas y regiones hidrológicas e hidrológicas administrativas se considera conveniente desglosar estos territorios a nivel nacional y llevarlos a nivel regional, para retomar las cuencas y finalmente las subcuencas.

Como se definió líneas arriba, las cuencas constituyen unidades territoriales delimitadas físicamente por parteaguas, los cuales corresponden a divisiones naturales determinadas por las características del relieve que orientan el escurrimiento superficial del agua. De esta forma, durante el año 2007, el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), en colaboración con el Instituto Nacional de Ecología (INE) y la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), elaboraron y publicaron el mapa oficial de las cuencas hidrográficas en México.

De acuerdo con este registro, se identificaron un total de 1,471 cuencas distribuidas a lo largo del territorio nacional (Figura 7), clasificadas en tres tipos: exorreicas, que descargan sus aguas hacia el mar; endorreicas, cuyos escurrimientos no alcanzan el océano y se concentran en cuerpos de agua interiores; y arreicas, en las cuales el agua se infiltra o se evapora antes de formar corrientes superficiales definidas (INEGI et al., 2007; SEMARNAT, 2013).

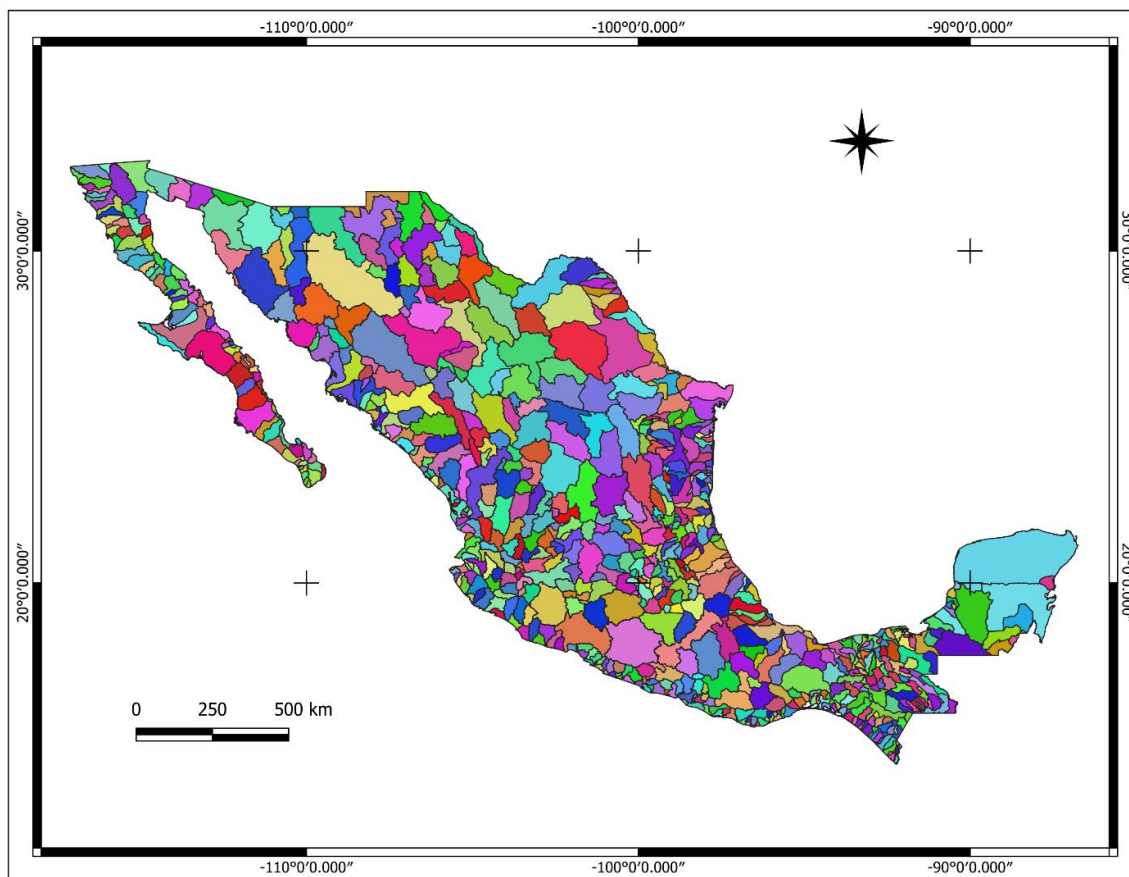
Figura 7.
Cuencas Hidrográficas en el País (1471).



Fuente: Integración y representación propias con datos de INEGI (2022) y CONAGUA (2024b)).

Así mismo, y con el propósito de establecer las disponibilidades de aguas superficiales a nivel nacional, la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) realizó la delimitación de 757 cuencas hidrológicas en el territorio mexicano (Figura 8). Este trabajo permitió organizar territorialmente los escurrimientos superficiales, considerando que algunas de estas unidades corresponden a subcuencas o cuencas secundarias que forman parte de cuencas mayores, mientras que otras representan cuencas terciarias asociadas a sistemas hidrológicos de mayor escala (DOF, 2016).

Figura 8.
Cuencas Hidrológicas en el país (757).



Fuente: Integración y representación propias con datos de INEGI (2022) y CONAGUA (2024b).

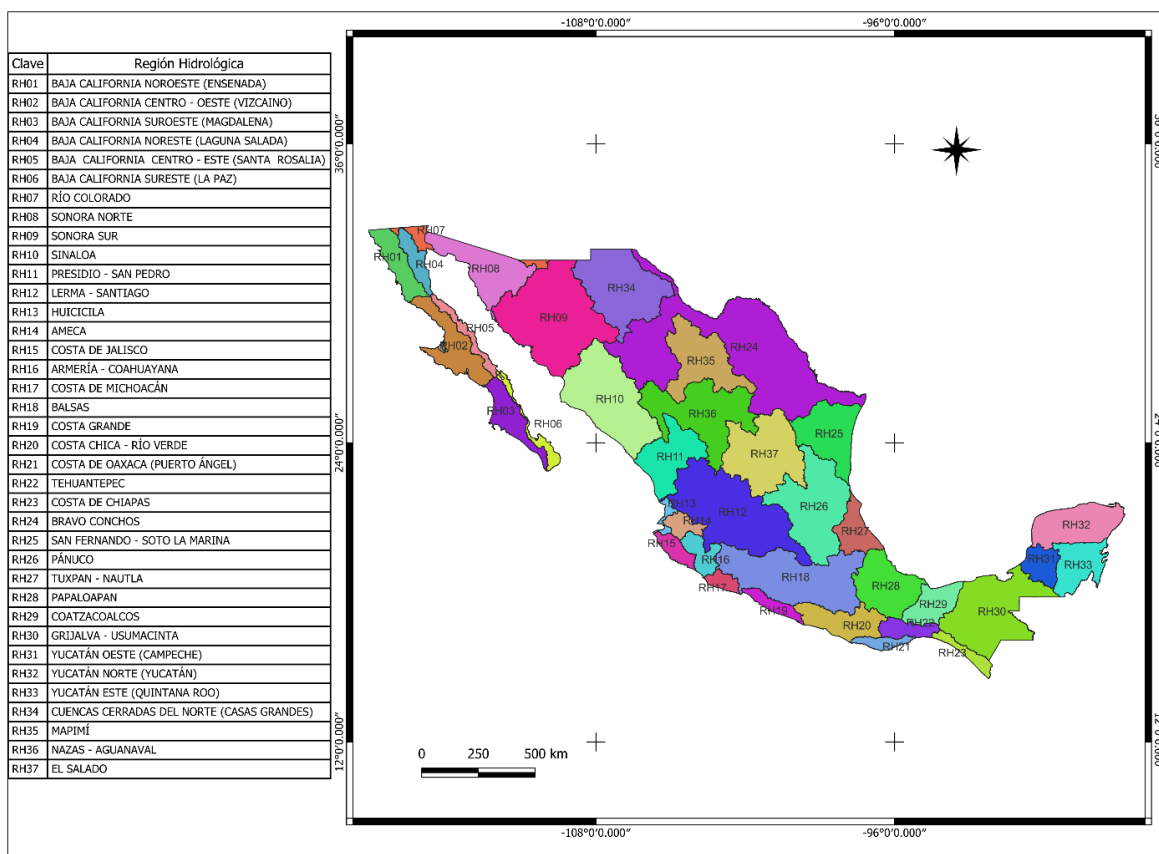
En ciertos casos, se agruparon pequeñas cuencas con características hidrológicas similares para integrarlas en unidades de gestión más amplias, facilitando así el análisis y administración de los recursos hídricos en distintas regiones del país. Esta delimitación constituye una herramienta esencial para la planeación hídrica, el establecimiento de derechos de uso y la definición de políticas de conservación y aprovechamiento sustentable de las aguas superficiales.

Por otra parte, en 1946 la entonces Secretaría de Recursos Hidráulicos (SRH) llevó a cabo una primera organización formal de las cuencas del país mediante su agrupación en 37 Regiones

Hidrológicas (RH) (Figura 9), las cuales se definieron tomando como base criterios hidrológicos relacionados principalmente con los parteaguas y las características de los escurrimientos superficiales (INEGI et al., 2007).

Figura 9.

División Hidrológica de México (37 Regiones Hidrológicas).

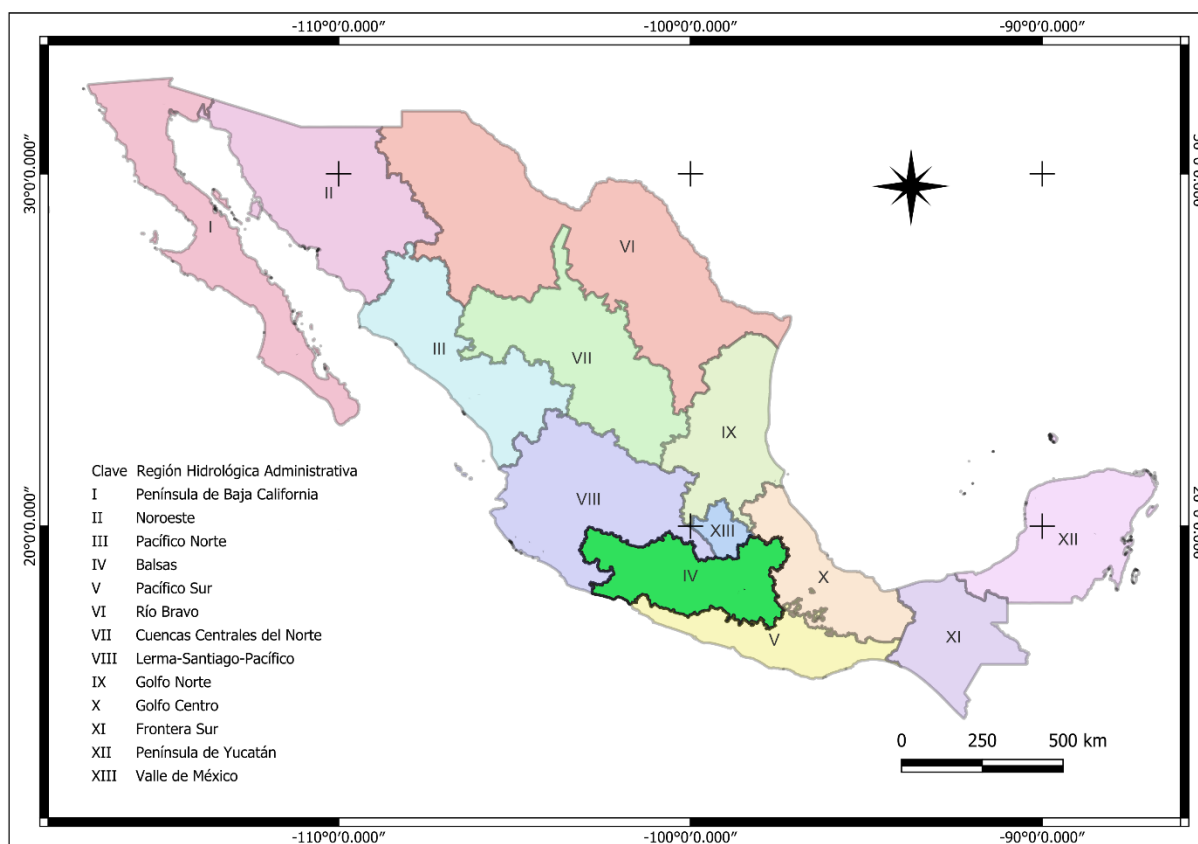


Fuente: Integración y representación propias con datos de INEGI (2022) y CONAGUA (2024b).

Con el objetivo de simplificar la gestión y administración de los recursos hídricos a nivel nacional, la CONAGUA realizó en 1998 una reorganización territorial que consistió en agrupar las cuencas hidrológicas del país en 13 RHA (DOF, 1998) (Figura 10).

Figura 10.

División Hidrológica Administrativa de México (13 Regiones Hidrológicas Administrativas).



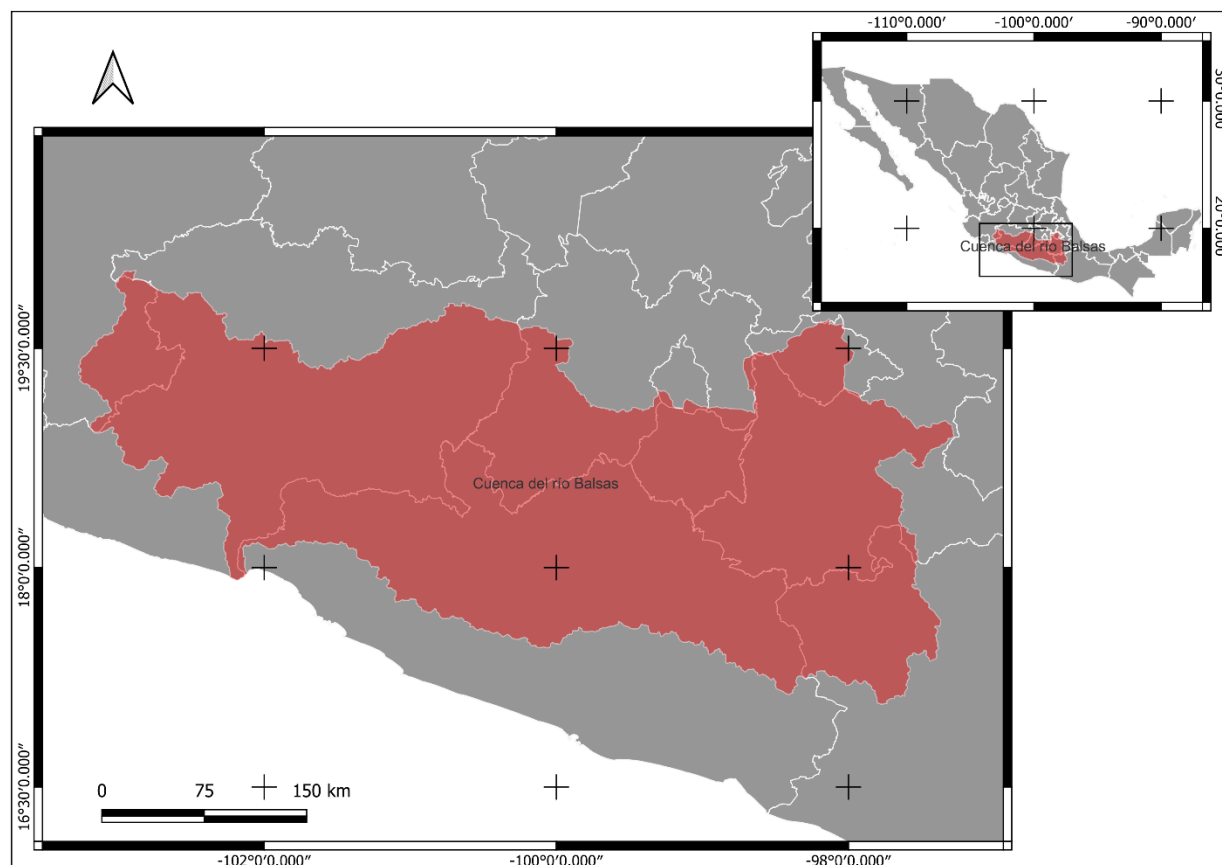
Fuente: Integración y representación propias con datos de INEGI (2022) y CONAGUA (2024b).

A diferencia de las delimitaciones estrictamente naturales basadas en los parteaguas, estas regiones administrativas se trazaron considerando principalmente los límites municipales, con el propósito de facilitar su gestión institucional y operativa. De este modo, aunque se procuró respetar, en la medida de lo posible, las divisiones naturales de las cuencas, en algunos casos se privilegió la congruencia con las demarcaciones político-administrativas, a fin de atender de manera más eficiente las competencias locales y regionales relacionadas con el manejo del agua (SEMARNAT, 2010).

Esta delimitación constituyó un importante avance en la gestión territorial del recurso hídrico, ya que permitió contar con una referencia espacial para planificar obras hidráulicas, regular los usos del agua y orientar las políticas de abastecimiento y control de inundaciones (INEGI et al., 2007). Sin embargo, con el paso del tiempo y a medida que se dispuso de más información hidrométrica y cartográfica, estas regiones han experimentado ajustes y actualizaciones, con el propósito de mejorar su precisión y adecuarlas a las necesidades actuales de gestión integral de los recursos hídricos en México.

Por otra parte, la cuenca del río Balsas es una amplia región hidrográfica que cubre una superficie de 112,035.25⁴ km² (Figura 11) y se clasifica como exorreica, ya que sus escurrimientos superficiales se conducen hacia el océano. Este territorio se caracteriza por una topografía diversa, con altitudes que van desde el nivel del mar hasta los 5,500 msnm. La cuenca se extiende a lo largo de distintas entidades federativas, abarcando partes de Ciudad de México, Guerrero, Jalisco, Estado de México, Michoacán, Morelos, Oaxaca, Puebla y Tlaxcala.

⁴ La delimitación y el cálculo de áreas de la cuenca, RH y RHA se llevó a cabo utilizando herramientas de análisis espacial en QGIS, con base en cartografía oficial de CONAGUA (2024b) e INEGI (2022), generando así, datos de superficie específicos para este trabajo.

Figura 11.*Delimitación territorial de la Cuenca hidrográfica del río Balsas.*

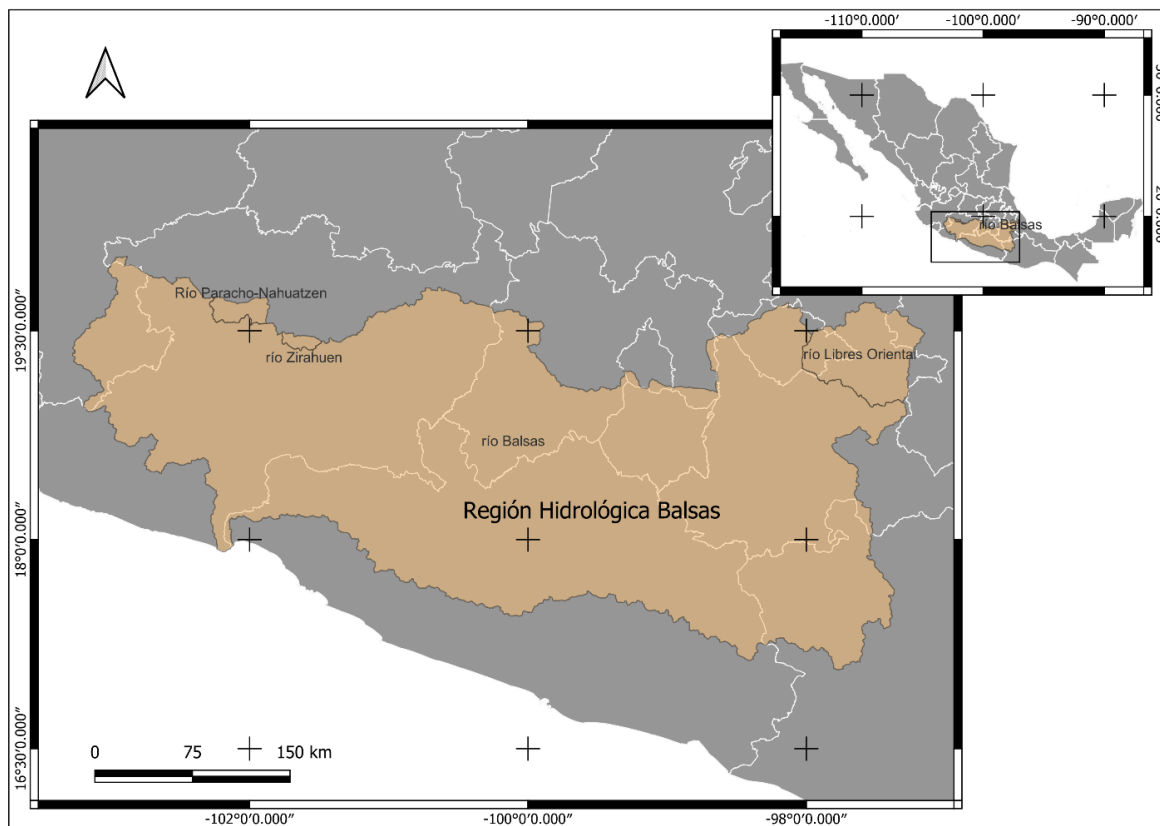
Fuente: Integración y representación propias con datos de INEGI (2022) y CONAGUA (2024b).

Así, la Región Hidrológica RH18 Balsas abarca una superficie total de 117,737.50⁵ km², lo que representa aproximadamente 6 % del territorio nacional, cuya extensión total es de 1,959,248 km² (CONAGUA, 2020a, p. 12). Esta región se conforma principalmente por la cuenca del río Balsas, que, con una extensión de 112,035.25 km², constituye la cuenca más extensa de la región. Asimismo, se integran tres cuencas adicionales de tipo endorreico: la cuenca del río Libres-Oriental, con 4,727 km², distribuida entre los estados de Puebla, Tlaxcala y Veracruz; la cuenca

⁵ Dato generado del análisis espacial en QGIS, explicado en la nota al pie núm. 4

del río Paracho-Nahuatzen, localizada en Michoacán, con 706 km²; y la cuenca del río Zirahuén, también en Michoacán, con 269 km². En conjunto, estas cuencas conforman la Región Hidrológica 18 Río Balsas (RH18) (Figura 12).

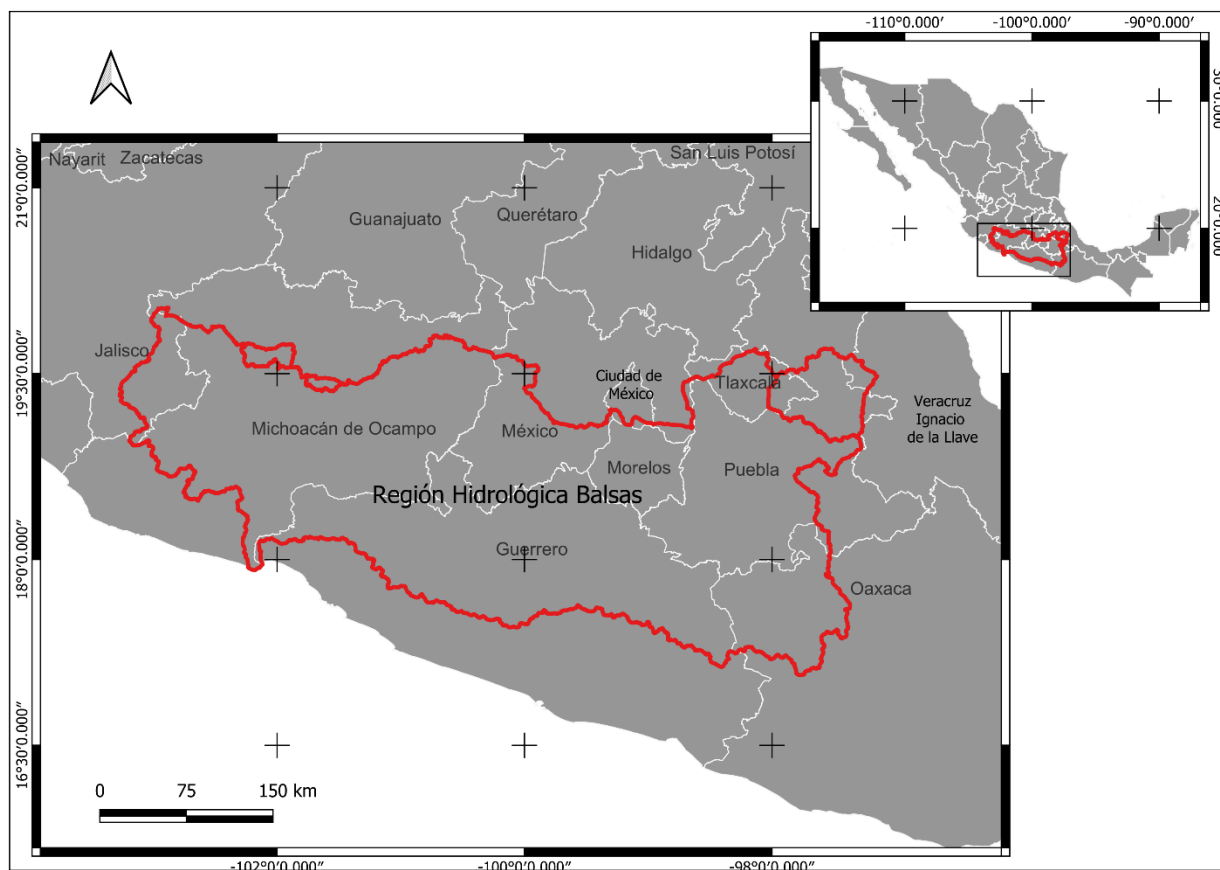
Figura 12.
Ubicación y delimitación espacial de la RH 18 Balsas.



Fuente: Integración y representación propias con datos de INEGI (2022) y CONAGUA (2024b).

De tal forma que la RH18 Balsas comprende territorialmente parte de los estados de Tlaxcala, Puebla, Oaxaca, México, Michoacán, Guerrero, Jalisco, la totalidad de Morelos y una extensión menor de Veracruz y de la Ciudad de México (Figura 13) (CONAGUA, 2012, 2018, 2020a).

Figura 13.
Entidades federativas comprendidas en la RH 18 Balsas.



Fuente: Integración y representación propias con datos de INEGI (2022) y CONAGUA (2024b).

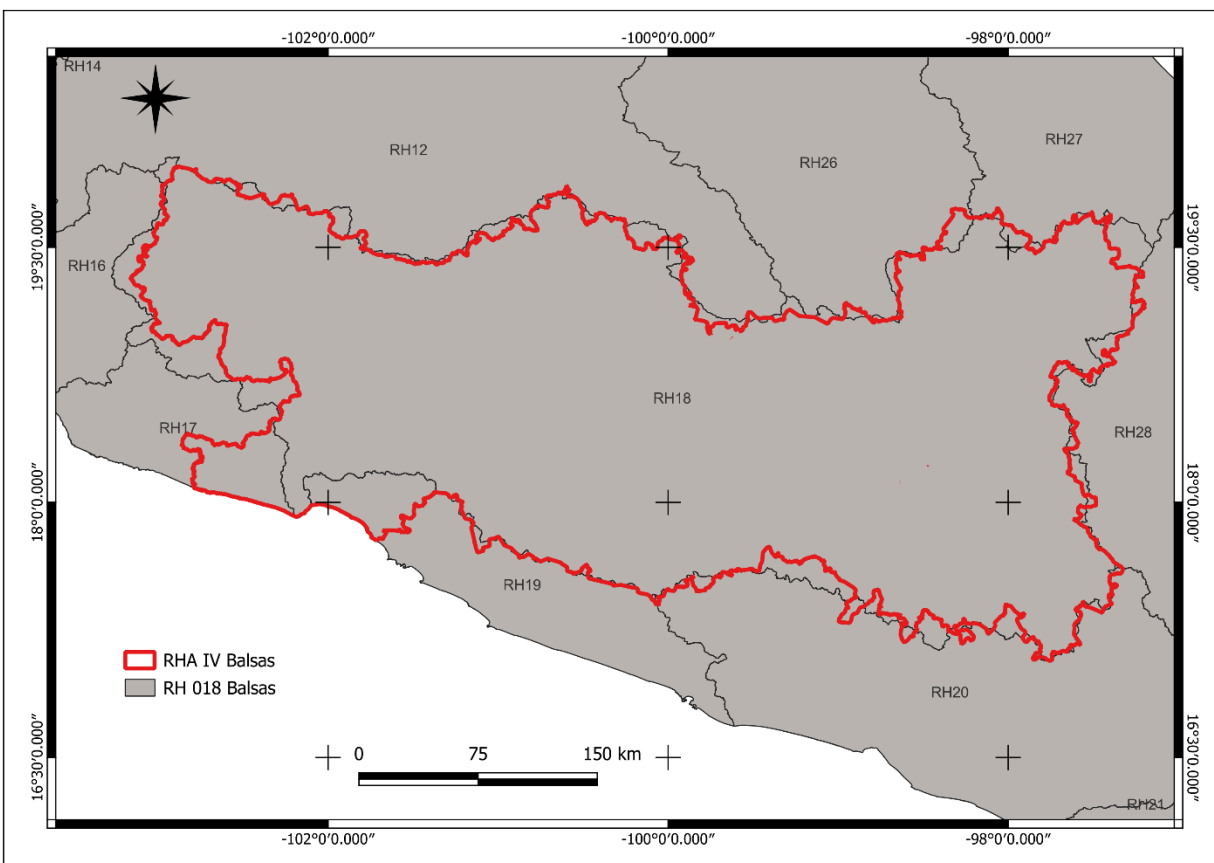
En relación con la administración de las aguas, como ya se mencionó, se crearon las 13 RHA's, dentro de las que se consideró la RHA IV Balsas (Figura 14), división que obedece a límites municipales y no necesariamente al parteaguas de las cuencas, de tal forma que la extensión y los límites son muy diferentes a los límites naturales ya señalados (CONAGUA, 2012, 2018, 2020a), de tal forma que la extensión de esta región es de 121,433⁶ km² y además se encuentra

⁶ Es importante señalar que la extensión de las RHA.s en el país han variado en el tiempo, conforme se han creado nuevos municipios en las diferentes entidades (principalmente los que se ubican en el parteaguas o cerca de él), lo cual se ha modificado en 5 ocasiones y publicado en el DOF, sin embargo, en dichas publicaciones no se establecen las áreas de las regiones.

dividida en 18 cuencas abiertas y tres cuencas cerradas (Tabla 2), de las cuales 2 pertenecen a la RH17 Costa de Michoacán (río Chula y río Acapilan) y 4 a la RH19 Costa Grande (Ríos La Unión 1, Cofradía, La Unión 2 y Pontla).

Figura 14.

Relación territorial entre la RHA IV Balsas y la RH 18 Balsas.



Fuente: Integración y representación propias con datos de INEGI (2022) y CONAGUA (2024b).

Tabla 2.
Listado de cuencas que integran la RHA IV Balsas.

Número	Clave	Cuenca	Área (km²)	Tipo de cuenca
1	1801	Río Alto Atoyac	4,002	Exorreica
2	1802	Río Amacuzac	8,863	Exorreica
3	1803	Río Tlapaneco	4,976	Exorreica
4	1804	Río Nexapa	4,220	Exorreica
5	1805	Río Mixteco	11,083	Exorreica
6	1806	Río Bajo Atoyac	11,970	Exorreica
7	1807	Río Cutzamala	10,643	Exorreica
8	1808	Río Medio Balsas	21,270	Exorreica
9	1809	Río Cupatitzio	2,677	Exorreica
10	1810	Río Tacámbaro	5,494	Exorreica
11	1811	Río Tepalcatepec	11,610	Exorreica
12	1812	Río Bajo Balsas	13,973	Exorreica
13	1813	Río Paracho-Nahuatzen	833	Endorreica
14	1814	Río Zirahuén	269	Endorreica
15	1815	Río Libres Oriental	4,727	Endorreica
16		Río Chula	1,354	Exorreica
17		Río Acapulcan	1,073	Exorreica
18		Río La Unión 1	1,108	Exorreica
19		Río Cofradía	588	Exorreica
20		Río La Unión 2	110	Exorreica
21		Río Pontla	591	Exorreica
			121,433	

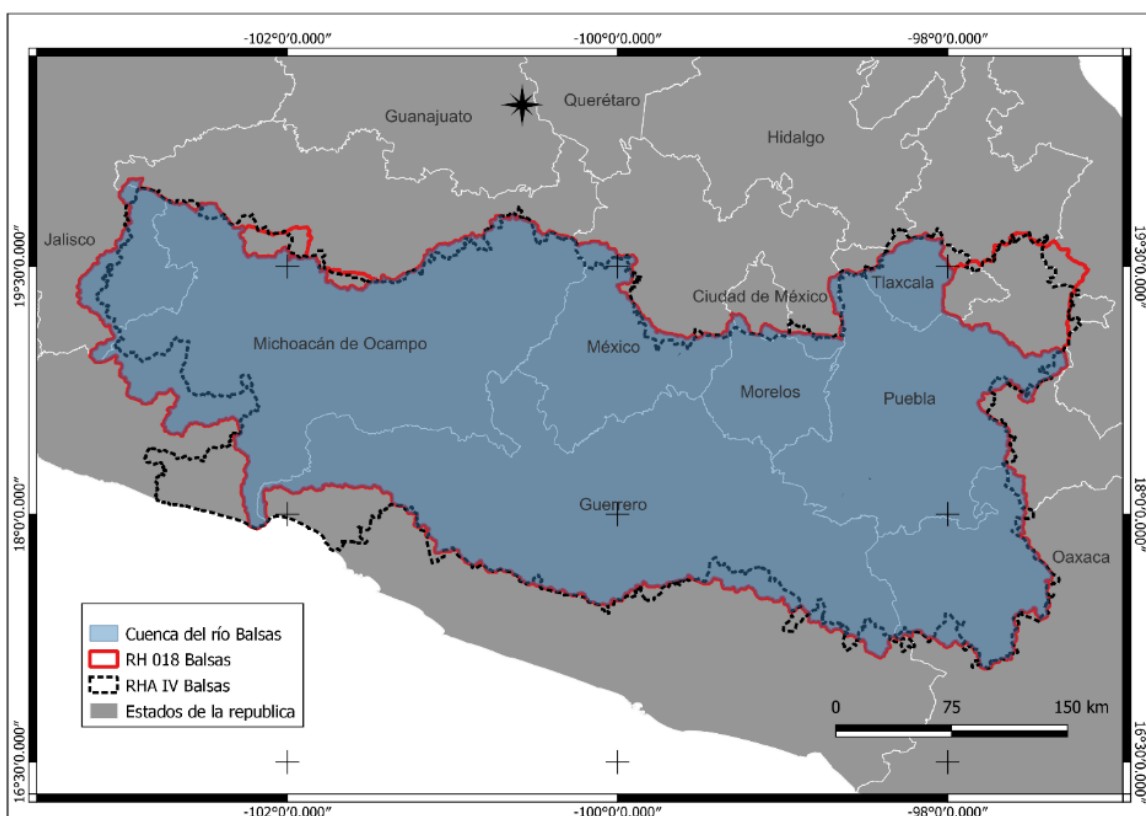
Fuente: CONAGUA (2024b).

De tal forma que la cuenca del río Balsas, la Región Hidrológica 18 Balsas y la Región Hidrológica Administrativa IV Balsas, tuvieron límites diferentes (Figura 15), hasta la publicación en el DOF del 18 de septiembre de 2023, cuando se modificó por quinta ocasión la publicación del Acuerdo por el que se determina la circunscripción territorial de los Organismos de Cuenca de la

Comisión Nacional del Agua, en el que se establece los límites de los Organismos de Cuenca (DOF, 2023)., a través de considerar a la cuenca y la RH como criterio para determinar su circunscripción territorial, donde la RH 018 Balsas y la RHA IV Balsas presentan las delimitaciones indicadas en la Figura 12, integrando así, la cuenca del río Balsas (dividida en 12 cuencas) y las tres cuencas endorreicas ya señaladas, sin considerar las 6 cuencas de las RH's Costa de Michoacán y Costa Grande.

Figura 15.

Delimitación Hidrológica Multiescalar de la Región Balsas.



Fuente: Integración y representación propias con datos de INEGI (2022) y CONAGUA (2024b).

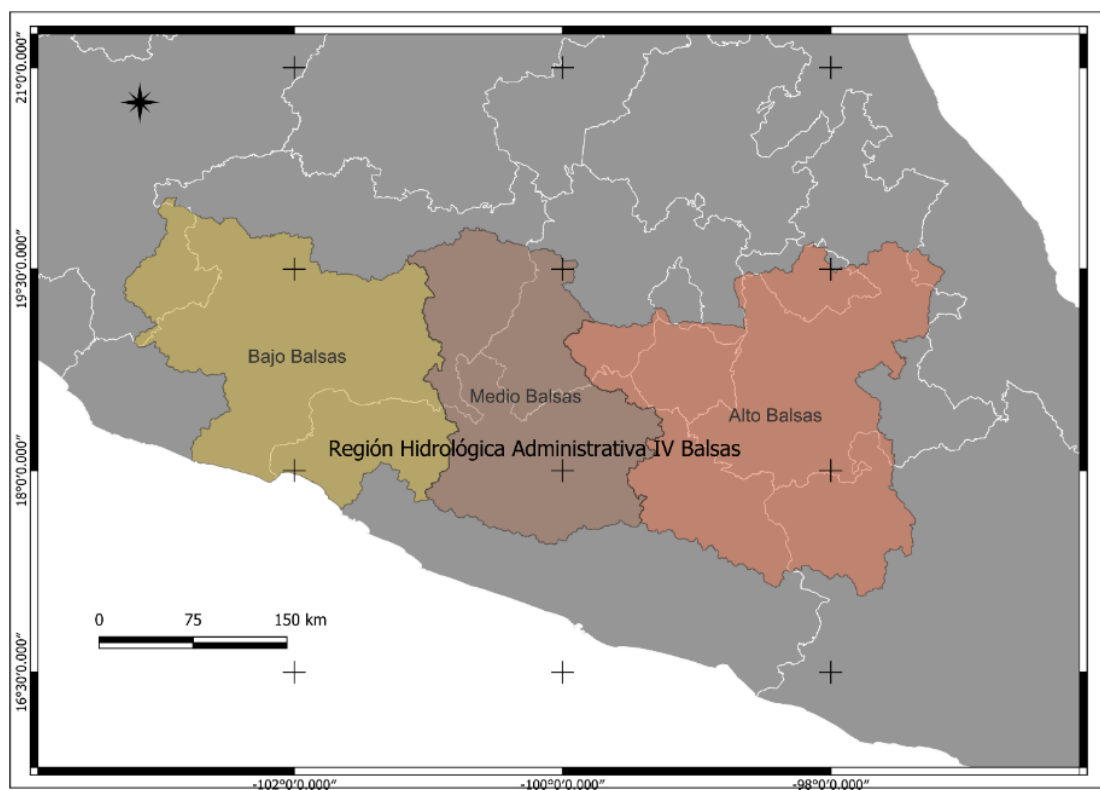
La RHA IV Balsas, a su vez, se subdividió en distintas regiones de planeación denominadas Alto Balsas, Medio Balsas y Bajo Balsas (Figura 16). En particular, la región del Alto Balsas comprende una superficie de 50,464 km² y está conformada por las cuencas de los ríos Alto

Atoyac, Nexapa, Bajo Atoyac, Mixteco, Tlapaneco y Amacuzac, así como por la cuenca endorreica Libres-Oriental (CONAGUA, 2010, 2020a).

En consecuencia, es importante mencionar que la Cuenca del río Balsas constituye una unidad territorial natural delimitada por la línea divisoria de aguas que define su parteaguas, es decir, el territorio donde se concentran los escurrimientos superficiales que fluyen hacia un mismo sistema fluvial. Esta cuenca se integra dentro de la Región Hidrológica 18 Balsas, la cual agrupa a la cuenca del río Balsas junto con tres cuencas endorreicas, delimitadas con base en criterios físicos y geográficos. Y forma parte de las 37 regiones hidrológicas delimitadas por la CONAGUA, cuyo propósito es orientar la planeación y el manejo de los recursos hídricos en el ámbito nacional.

Figura 16.

Organización espacial para la gestión y planeación en la RHA IV Balsas.



Fuente: Integración y representación propias con datos de INEGI (2022) y CONAGUA (2024b).

A su vez, la Región Hidrológica Administrativa IV Balsas corresponde a una delimitación determinada por el gobierno federal con propósitos operativos y de administración institucional, basada en límites político-administrativos (principalmente municipales) que agrupan uno o más territorios hidrológicos. Esta distinción entre cuenca, RH y RHA permite articular los enfoques técnico-naturales con los instrumentos de gobernanza y gestión hídrica en el territorio nacional.

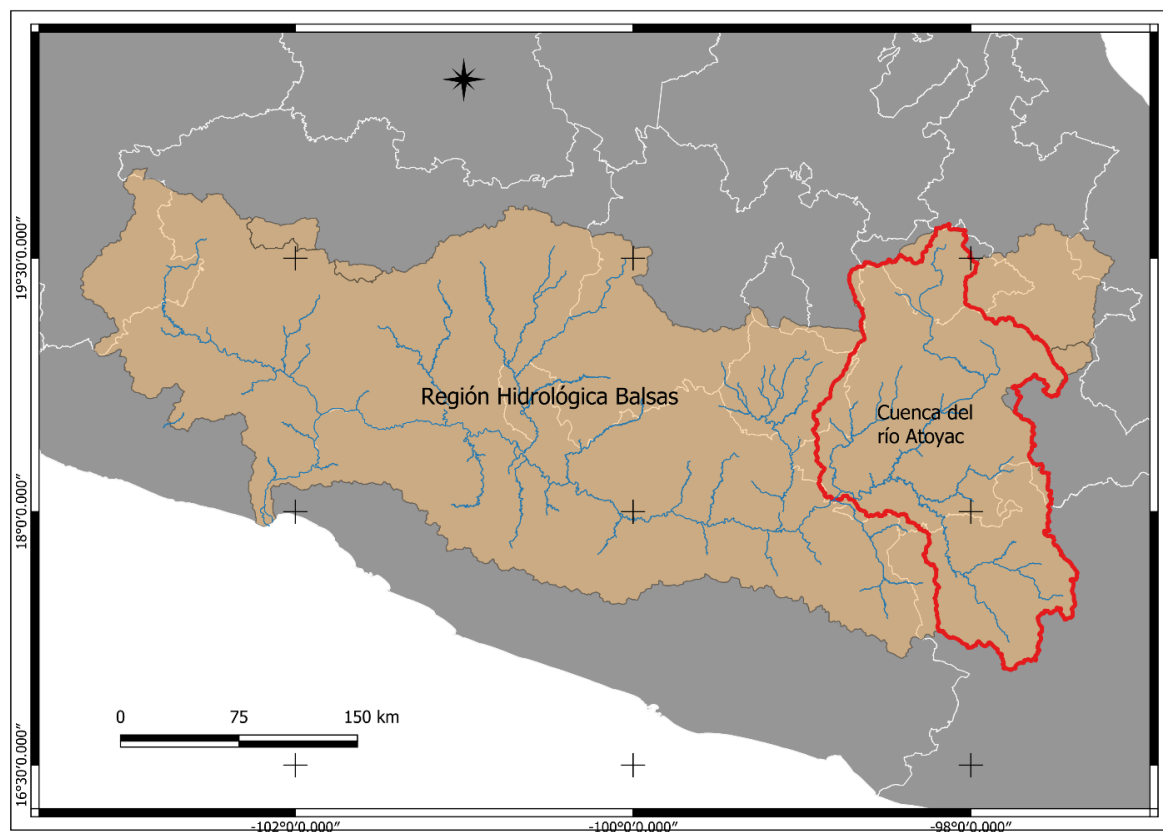
3.1.1.1 Contexto hidrológico de la cuenca del Río Atoyac

La cuenca del Río Atoyac se localiza al oriente de la RHA IV Balsas, con una superficie de 26,561.81⁷ km² y un recorrido fluvial de 373.63⁷ km lineales (Figura 17). Esta área corresponde a la zona de mayor altitud dentro de la región, además de que es la cuenca de mayor área de las aportadoras del río Balsas.

⁷ Dato generado del análisis espacial en QGIS, explicado en la nota al pie núm. 4

Figura 17.

Ubicación y delimitación de la cuenca del Río Atoyac en la RH 18 Balsas.



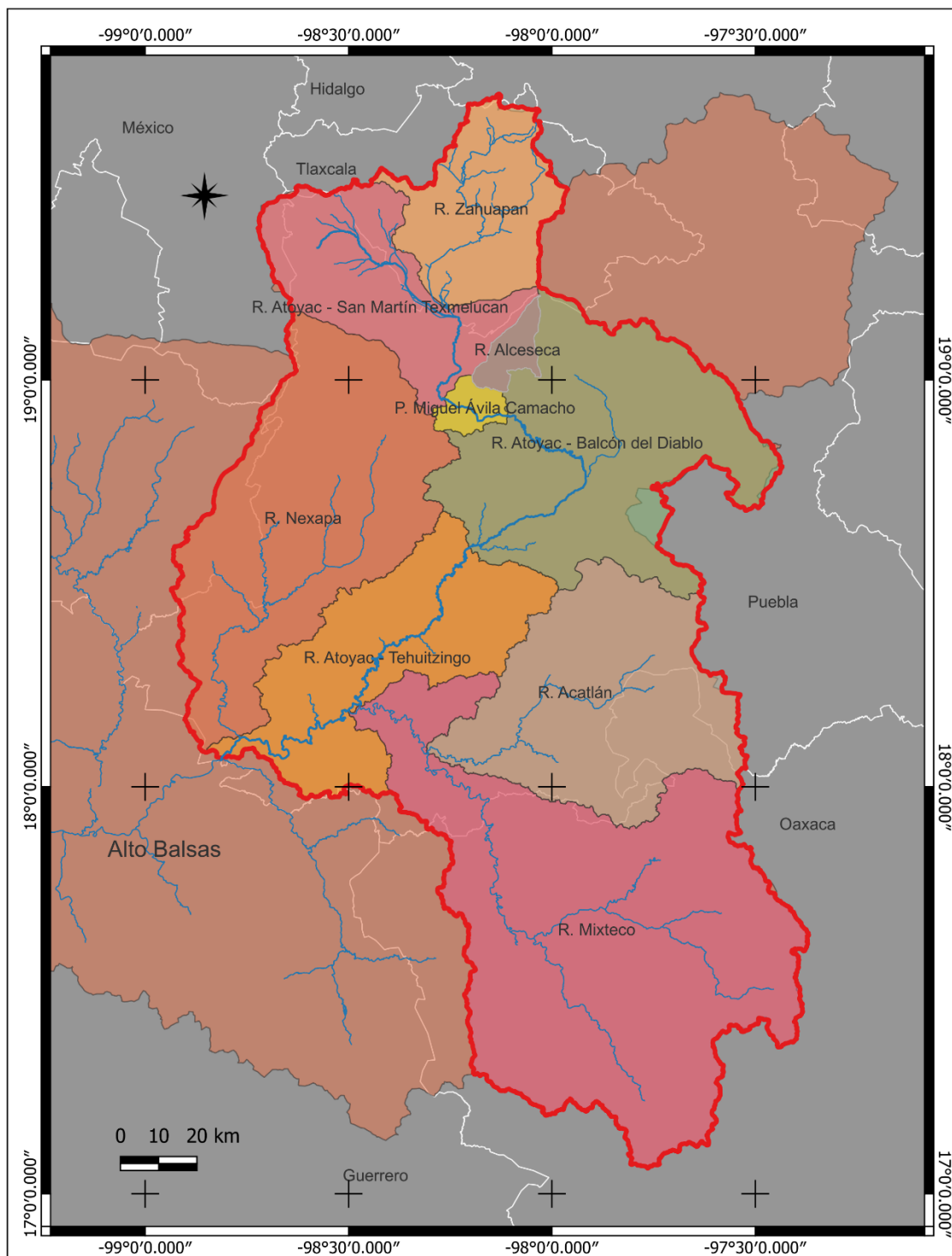
Fuente: Integración y representación propias con datos de INEGI (2022) y CONAGUA (2024b).

Es importante señalar que, para fines de planeación, se considera a la cuenca Libres Oriental como parte de la cuenca del Río Atoyac, sin embargo, no hay aportaciones de ésta al Río Atoyac por el simple hecho a que es una cuenca cerrada y sus aguas se limitan a escurrir hasta la laguna de Totolcingo. Por lo que esquemáticamente no se representa en este trabajo.

Por otro lado, la cuenca del Río Atoyac se integra por nueve subcuencas o cuencas secundarias que se muestran en la Figura 18, todas ellas aportan sus aguas al río principal -en la Tabla 3 se señala su clave, área, perímetro y su tipo, observándose que la de mayor dimensión es la cuenca del río Mixteco.

Figura 18.

Delimitación y localización de las subcuencas en la cuenca del Río Atoyac.



Fuente: Integración y representación propias con datos de INEGI (2022) y CONAGUA (2024b).

Tabla 3.
Cuencas secundarias o subcuencas del Río Atoyac.

Clave	Nombre subcuenca	Área (km ²)	Perímetro (km)	Tipo
RH18Aa	R. Atoyac - Tehuitzingo	2,813.3	401.52	Exorreica
RH18Ab	R. Atoyac - Balcón del Diablo	4,106.2	444.69	Exorreica
RH18Ac	P. Miguel Ávila Camacho *	202.8	70.76	Exorreica
RH18Ad	R. Atoyac - SMT*	1,967.5	260.56	Exorreica
RH18Ae	R. Nexapa	4,440.5	407.6	Exorreica
RH18Af	R. Mixteco	7,727.9	657.98	Exorreica
RH18Ag	R. Acatlán	3,449.9	352.87	Exorreica
RH18Ai	R. Zahuapan *	1,632.6	225.5	Exorreica
RH18Aj	R. Alseseca *	220.9	84.36	Exorreica
Total		26,561.81		

* Subcuencas localizadas dentro de la cuenca del río Alto Atoyac.

Fuente: CONAGUA (2024b).

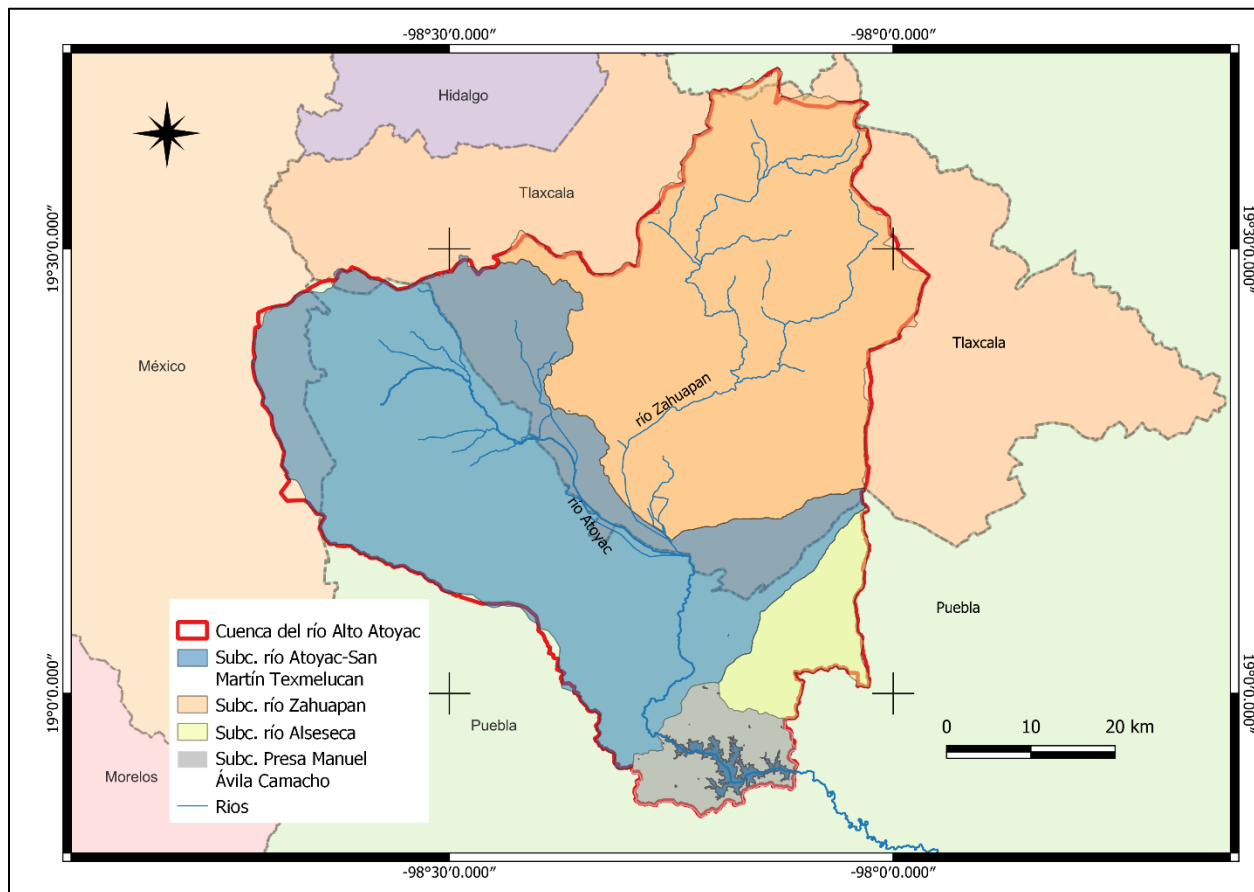
3.1.1.2 Sistema hidrológico de la cuenca del río Alto Atoyac

En Tlaxcala las principales corrientes superficiales de agua son los ríos Atoyac y Zahuapan, las cuales forman parte de la cuenca del río Alto Atoyac, misma que se encuentra en la sección superior de la Región Hidrológica Balsas (RH18), donde el parteaguas está formado por los volcanes Iztaccíhuatl y Popocatepetl (INEGI, 2019), junto con la cadena montañosa de Río Frío, que se extiende al norte con la sierra de Tlaxco y continúa hacia el oriente con el volcán la Malinche.

Así, la cuenca del Río Atoyac, denominada en su parte alta como Cuenca del río Alto Atoyac, está conformada por cuatro subcuencas (Subcuenca Río Atoyac-SMT, Subcuenca Río Zahuapan, Subcuenca Río Alseseca, Subcuenca Presa Manuel Ávila Camacho). De estas, la subcuenca del Río Atoyac-SMT se localiza en la zona centro-poniente del estado de Puebla y

forma parte fundamental del sistema hidrológico de la región, donde surgen los primeros escurrimientos del Iztaccíhuatl que dan origen al río Atoyac hasta su llegada al sur del estado de Tlaxcala y límites con el de Puebla, y recibe, en su margen izquierda, el agua proveniente de la subcuenca del río Zahuapan. Más adelante, aguas abajo y dentro del estado de Puebla, el río Atoyac recibe, por la misma margen, el aporte del río Alseseca en la presa Manuel Ávila Camacho (Valsequillo). En este punto, la cortina de la presa marca el límite de la cuenca del río Alto Atoyac. Esta cuenca se subdivide en cuatro subcuencas que forman parte del sistema hidrológico del Río Atoyac.

Dichas subcuencas se originan en el parteaguas de los volcanes Popocatepetl, Iztaccíhuatl, la Malinche y las sierras de Río Frio y de Tlaxco, con un área de 4,023.8 km² y a lo largo de sus 108.64 km de extensión, el río Atoyac desciende hasta su punto más bajo en la cortina de la presa Manuel Ávila Camacho (Valsequillo), en Puebla (Figura 19).

Figura 19.*Delimitación geográfica de la cuenca del Alto Atoyac y sus subcuencas.*

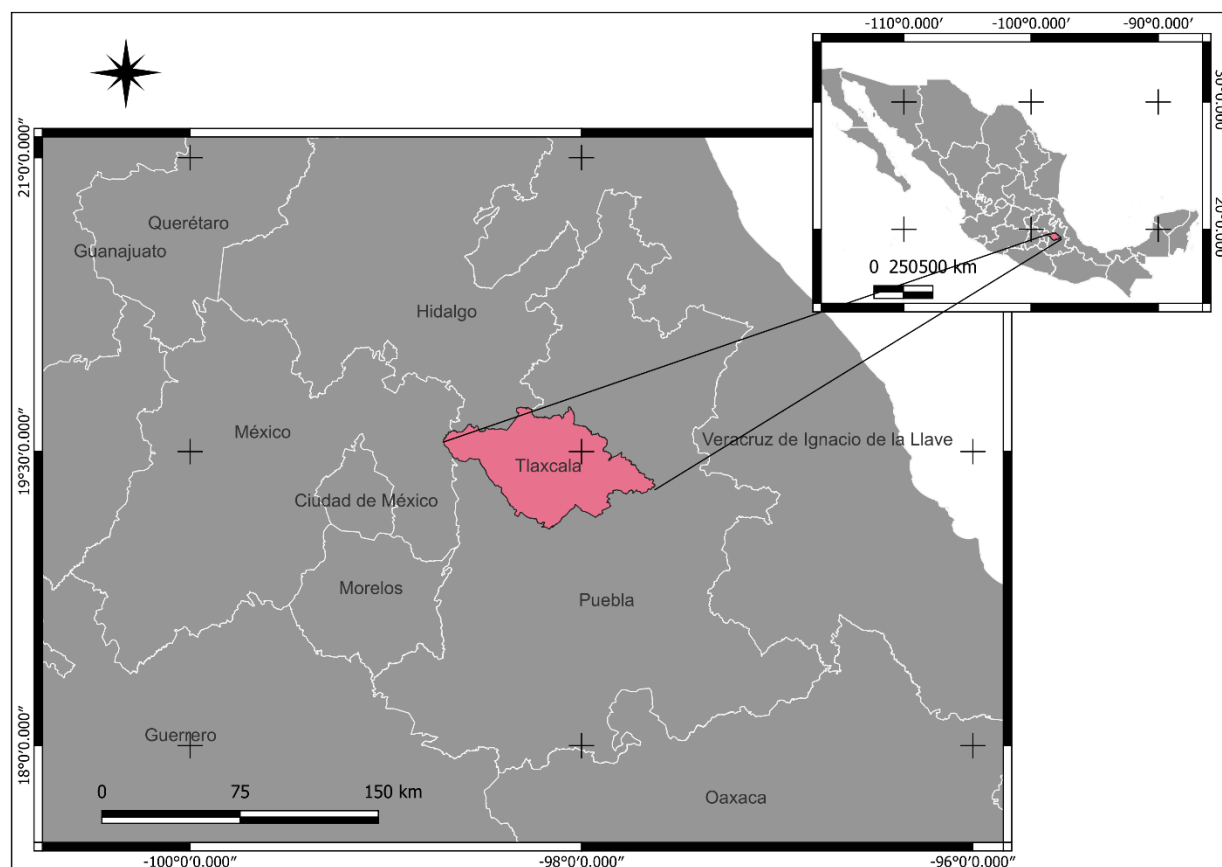
Fuente: Integración y representación propias con datos de INEGI (2022) y CONAGUA (2024b).

Así, una parte de la cuenca del río Alto Atoyac se localiza en el estado de Tlaxcala, se ubica en la parte central de norte a sur, en territorio de 53 municipios, algunos de ellos parcialmente, con un área de 2,082.99 km² del estado. De esta área, la subcuenca del río Zahuapan, que se ubica totalmente en territorio de Tlaxcala, es la de mayor extensión en la entidad con 1,632.65 km², dominando 41.7 % del territorio estatal.

3.1.1.3 Rasgos físico-geográficos y ambientales

Es importante señalar que, en relación con la división política administrativa, el estado de Tlaxcala es el más pequeño de la República Mexicana, cuenta con una superficie de 3,914 km², se ubica en la región centro de México, entre las coordenadas 97°40'00" y 98°45'00" de longitud Oeste, y 19°05'00" y 19°45'00" de latitud Norte. Esta área forma parte de las tierras altas del Eje Neovolcánico, sobre la meseta de Anáhuac, a una altitud superior a los 2000 msnm. Colinda al norte con los estados de Hidalgo y Puebla; al este y sur con el estado de Puebla; al oeste con el Estado de México, Puebla e Hidalgo (Figura 20).

Figura 20.
Ubicación geográfica del estado de Tlaxcala.

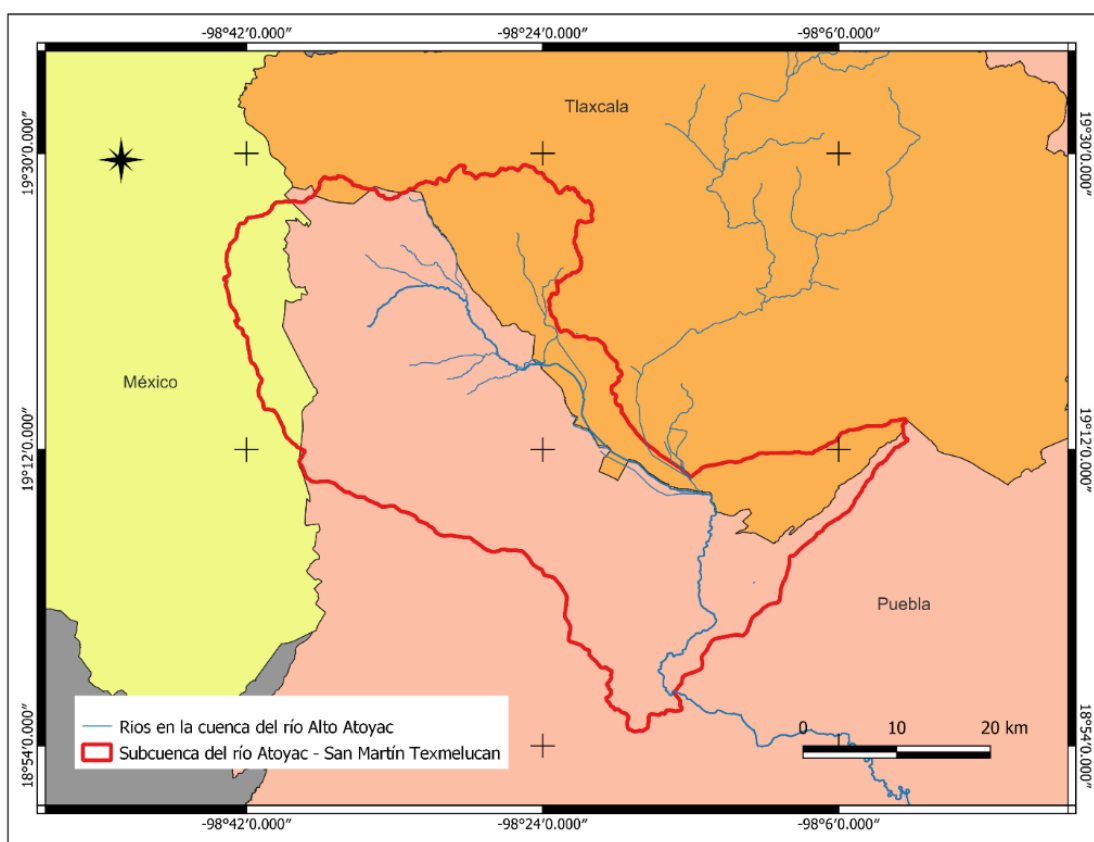


Fuente: Integración y representación propias con datos de INEGI (2022) y CONAGUA (2024b).

La subcuenca del Río Atoyac-SMT abarca una superficie total de 1,965.22 km², de los cuales el 69.52 % (1,366.18 km²) se localiza en el estado de Puebla, distribuyéndose en 21 municipios, 12 de ellos se encuentran de manera total en la subcuenca y los 9 restantes parcialmente; 23.5 % (461.84 km²) en el estado de Tlaxcala con 17 municipios, sólo 2 de manera total y 6.98 % (137.2 km²) en el Estado de México con 4 municipios, todos de manera parcial (Figura 21).

Figura 21.

Territorio de los estados de Puebla, Tlaxcala y México en la subcuenca del Río Atoyac-SMT.



Fuente: Integración y representación propias con datos de INEGI (2022) y CONAGUA (2024b).

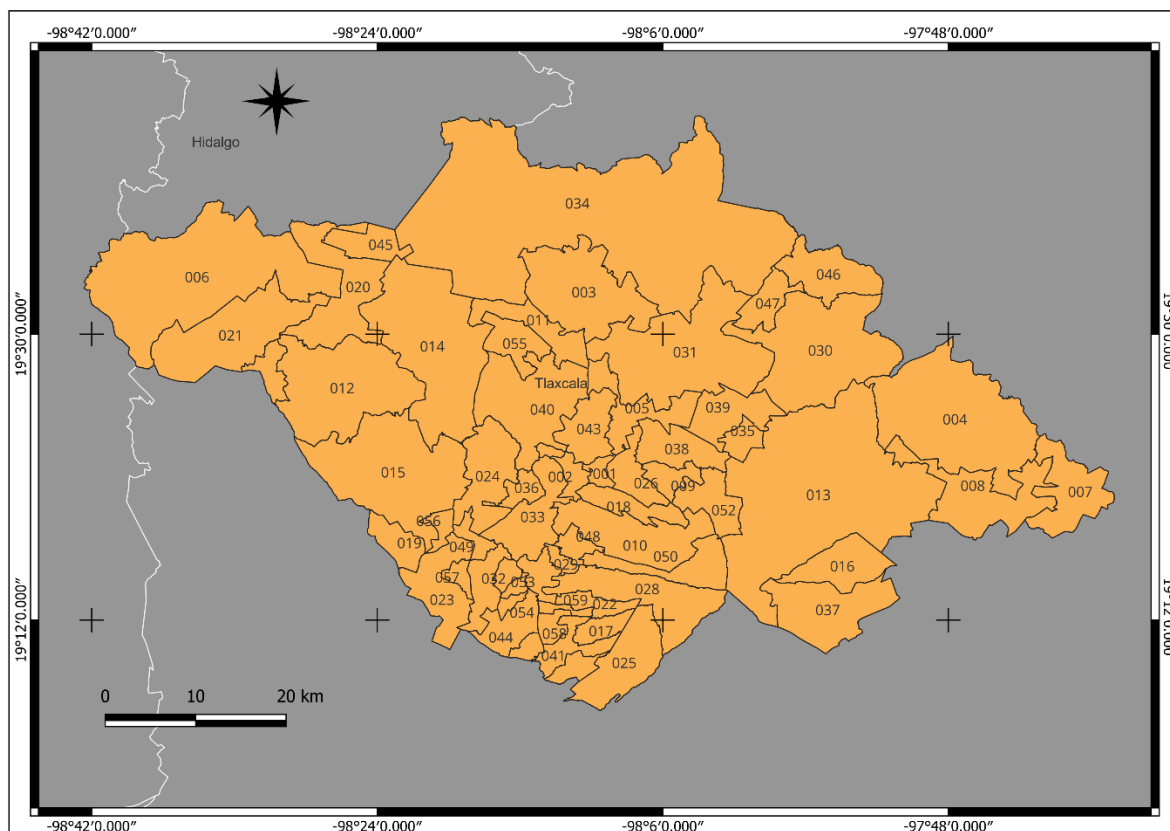
El río Atoyac es uno de los ríos principales del centro de la república, y derivado de su ubicación en los estados de Puebla y Tlaxcala, ha sufrido una serie de impactos ambientales negativos debido al crecimiento urbano-territorial y la gestión deficiente de la cuenca, además ha

sido objeto de una intensa transformación a lo largo de su historia, desde la época prehispánica hasta la actualidad.

La cuenca de este río ha sido modificada por el desarrollo de la agricultura, la industria, el comercio y las actividades urbanas, que han generado una alta demanda de agua y una fuerte presión sobre los ecosistemas. Estos procesos han provocado la degradación de la calidad y cantidad del agua, la pérdida de biodiversidad, la erosión del suelo, la contaminación atmosférica y el deterioro del paisaje (Altieri, 2019).

3.1.1.4 Actividades sociodemográficas de la población

El estado de Tlaxcala está conformado política y administrativamente por 60 municipios (Figura 22). Según datos del Censo de Población y Vivienda 2020 (INEGI, 2021), su población asciende a 1,342,977 personas, de las cuales 83 % reside en áreas urbanas, mientras que 17 % habita en localidades rurales con menos de 2,500 habitantes.

Figura 22.*División municipal del estado de Tlaxcala.*

Identificación de municipios					
Clave	Municipio	Clave	Municipio	Clave	Municipio
1	Amazac de Guerrero	21	Nanacamilpa de Mariano Arista	41	Papalotla de Xicohténcatl
2	Apetatitlán de Antonio Carvajal	22	Acuamanala de Miguel Hidalgo	42	Xicohtzinco
3	Atlangatepec	23	Nativitas	43	Yauhquemehcan
4	Atltzayanca	24	Panotla	44	Zacatelco
5	Apizaco	25	San Pablo del Monte	45	Benito Juárez
6	Calpulalpan	26	Santa Cruz Tlaxcala	46	Emiliano Zapata
7	El Carmen Tequexquiltla	27	Tenancingo	47	Lázaro Cárdenas
8	Cuapiaxtla	28	Teolochohco	48	La Magdalena Tlaltelulco
9	Cuaxomulco	29	Tepeyanco	49	San Damián Texóloc
10	Chiautempan	30	Terrenate	50	San Francisco Tetlanohcan
11	Muñoz de Domingo Arenas	31	Tetla de la Solidaridad	51	San Jerónimo Zacualpan
12	Españita	32	Tetlatlahuca	52	San José Teacalco
13	Huamantla	33	Tlaxcala	53	San Juan Huactzinco
14	Hueyotlipán	34	Tlaxco	54	San Lorenzo Axocomanitla
15	Ixtacuixtla de Mariano Matamoros	35	Tocatlán	55	San Lucas Tecopilco
16	Ixtenco	36	Totolac	56	Santa Ana Nopalucan
17	Mazatecochco de José María Morelos	37	Ziltaltépec de Trinidad Sánchez Santos	57	Santa Apolonia Teacalco
18	Contla de Juan Cuamatzi	38	Tzompantepec	58	Santa Catarina Ayometla
19	Tepetitla de Lardizábal	39	Xaloztoc	59	Santa Cruz Quilehtla
20	Sanctórum de Lázaro Cárdenas	40	Xaltocan	60	Santa Isabel Xiloxotla

Fuente: Integración y representación propias con datos de INEGI (2022) y CONAGUA (2024b).

3.2 Diseño de la investigación

De acuerdo con Hernández et al. (2014), el desarrollar una investigación mediante un enfoque mixto tiene sus ventajas, como el obtener una perspectiva amplia y profunda del fenómeno, el obtener datos confiables y diversos, combinar observaciones al considerar fuentes diversas, así como el tipo de datos, los contextos y el análisis; además de que se puede apoyar con seguridad las deducciones científicas, permitiendo una exploración y explotación de los datos a mayor profundidad.

Por lo anterior, para el desarrollo del presente trabajo se usó una metodología Mixta (cuantitativa y cualitativa), obteniendo información de fuentes primarias a través de una encuesta a los habitantes de las poblaciones ribereñas del río Atoyac en el estado de Tlaxcala, asimismo, se llevaron a cabo entrevistas con autoridades de los ámbitos federal, estatal y municipal, debido a que esta técnica facilita profundizar y acceder a un nivel amplio de información sobre lo que hacen las personas estudiadas y por qué lo hacen, y así comprender los motivos, las actitudes, las percepciones y las valoraciones de la gente (Roca 2010), y con ello realizar un análisis para determinar el impacto que tiene la política ambiental en el tratamiento de aguas residuales y en la población de las comunidades ubicadas a la orilla del río.

3.2.1. La población y la muestra

En el presente estudio es de interés la población de las localidades a la ribera del río de los municipios por lo que atraviesa el río Atoyac (Tabla 4), en las que la población total es de 29,372 habitantes distribuidas en siete localidades.

Tabla 4.
Muestreo Probabilístico estratificado por comunidad

Municipio	Localidad	Número de habitantes	Proporción localidad %	n por localidad
Tepetitla de Lardizábal	Tepetitla	9606	32.70	22
	Guadalupe Victoria	510	1.74	1
	San Mateo Ayecac	4401	14.98	10
	Villa Alta	7756	26.41	18
Nativitas	San José Atoyatenco	1852	6.31	5
	San Miguel Xochitecatitla	2199	7.49	5
	San Rafael Tenanyecac	3048	10.38	7
Total		29,372	100.00	68

Fuente: integración y representación propias con datos de INEGI (2021).

Con la finalidad de aplicar una encuesta, se empleó un muestreo simple que considera a la población de las localidades como el universo, se usó la fórmula para determinar del tamaño de la muestra con un margen de error de 10 %, un nivel de confianza de 90 % y un valor de Z_a de 1.645, obteniendo un mínimo de 68 personas a encuestar. En seguida, conforme al número de habitantes en cada localidad se obtuvo la proporción correspondiente (Tabla 4).

Para obtener el tamaño de la muestra se usó la fórmula (Aguilar-Barojas, 2005).

$$n = \frac{N \cdot Z_a^2 \cdot p \cdot q}{e^2 \cdot (N - 1) + Z_a^2(p \cdot q)}$$

n = tamaño de la muestra

N = población

Z_a = parámetro conforme al nivel de confianza

e = error estimado

p = probabilidad de que ocurra

q = probabilidad de que no ocurra

3.2.2 Técnicas e instrumentos de trabajo

La información cuantitativa por analizar se obtuvo de fuentes secundarias a través del Inventario Nacional de Plantas Municipales de Potabilización y de Tratamiento de Aguas Residuales de la CONAGUA desde 1996 hasta la publicación de diciembre de 2023 (CONAGUA, 2022a; 2023a) para determinar la evolución de la construcción de infraestructura de saneamiento en el estado y en la Subcuenca del Río Atoyac-SMT.

También se utilizó como fuente de información la Red Nacional de Medición de la Calidad del Agua (RENAMECA) que opera la CONAGUA (CONAGUA, 2024a), para obtener información de la calidad del agua de las estaciones de monitoreo establecidas en el río Atoyac en la zona de San Martín Texmelucan (a su ingreso al estado de Tlaxcala), y hasta antes de la confluencia con el río Zahuapan.

Con la información de la calidad del agua que se ha obtenido en los últimos años, se usó una técnica estadística para obtener el coeficiente de determinación (Elorza, 2008), y de este modo evaluar la magnitud de la relación entre la calidad del agua del río y el paso del tiempo, con el fin de verificar si la construcción de plantas de tratamiento de aguas residuales municipales ha influido en la mejora de la calidad del agua.

3.2.2.1 La encuesta

Con la finalidad de realizar una encuesta en la población objetivo, se diseñó un cuestionario para determinar el conocimiento de la población en los municipios de Tepetitla de Lardizábal y

Nativitas, acerca de las aguas residuales de origen municipal, la calidad del agua en el río y las fuentes de contaminación que le afectan, la participación de las personas en la resolución del problema y su conocimiento sobre la existencia de la infraestructura de saneamiento.

Dicho cuestionario consistió en 35 reactivos, que fueron capturados en la aplicación *formularios de Google* con la finalidad de responder electrónicamente y subir las respuestas a la base de datos que genera la aplicación. El levantamiento de la encuesta se realizó entre el 19 de diciembre de 2023 y el 5 de enero de 2024 en las siete localidades a personas mayores de edad, ubicadas en las principales calles de la localidad correspondiente y que vivieran en el lugar.

3.2.2.2 La entrevista semiestructurada

Para realizar la entrevista se diseñó un cuestionario de 41 reactivos, con la finalidad de entrevistar a los informantes clave (expertos), de los diferentes niveles de gobierno (Tabla 5). En este caso se seleccionaron los tres municipios del estado de Tlaxcala que forman parte de la cuenca de estudio, tres dependencias del gobierno del estado de Tlaxcala y tres dependencias federales, que tienen injerencia en materia de agua y saneamiento. Es importante señalar que, al solicitar la entrevista en las dependencias, el total de los entrevistados respondió que le darían respuesta por medio electrónico, por lo que se usó la aplicación de formularios de Google, y se les envió la liga para que pudieran ingresar la información.

Tabla 5.

Actores locales institucionales seleccionados para la aplicación de entrevista semiestructurada (informantes clave).

Gobierno Federal	Gobierno Estatal	Gobierno Municipal
CONAGUA	CEAS	Tepetitla de Lardizábal
PROFEPA	PROPAET	Nativitas
SEMARNAT	SMA	Ixtacuixtla de Mariano Matamoros

Fuente: Elaboración propia.

La recolección de información mediante entrevistas se desarrolló del 11 de enero al 20 de agosto de 2024, siendo esta última la fecha de respuesta de la delegación federal de la SEMARNAT.

3.3 Análisis de datos

3.3.1 Q-gis

En la GIRH, la delimitación de cuencas hidrológicas es un aspecto clave, dado que es el territorio natural de los escurrimientos y tránsito del agua y, por tanto, para realizar la gestión del recurso. Para ello, se usó el sistema de información geográfica (SIG) denominado QGIS en su versión 3.28.12, que es de código abierto y proporciona las herramientas fundamentales para el desarrollo de esta investigación.

Con el fin de delimitar la cuenca de estudio, se obtuvo un Modelo Digital de Elevación (DEM), que es una representación en tres dimensiones de la superficie de la tierra y muestra las alturas de las formas del terreno sobre el nivel promedio del mar, y así entender la topografía del

área. Dicho DEM se obtuvo de la página electrónica del INEGI en los apartados: Temas, Geografía y Medio Ambiente, Mapas y Relieve Continental.

Una vez importado el DEM a QGIS, se prepararon los datos para la delimitación a través de la calculadora ráster, que implica correcciones en el DEM que pueden interferir en el flujo del agua simulado, para ello se usó la herramienta *Fill Sinks*. En seguida se usó la función *r.watershed* para determinar la dirección de flujo del agua y su acumulación, y así identificar los principales cauces en la cuenca. La acumulación de flujo ayuda a visualizar cómo el agua se desplaza a través de la cuenca, desde las elevaciones más altas hasta los puntos de salida, y permite delimitarlas seleccionando puntos de interés, como las salidas naturales.

Posteriormente, se usó la función *r.water.outlet* para generar la cuenca hidrográfica a partir del mapa de dirección de drenaje y las coordenadas del punto de salida de la cuenca. Y, finalmente con el uso de la función *r.to.vect* se convirtieron los datos ráster en vectoriales, que extrae las particularidades de puntos, líneas o áreas de un mapa ráster y las almacena en un archivo vectorial.

Una vez delimitada la cuenca de estudio, se consultó el Directorio Estadístico Nacional de Unidades Económicas (DENUE), que es una base de datos creada y administrada por el INEGI, proporciona información detallada sobre las unidades económicas activas en el país, es decir, sobre los establecimientos donde se realizan actividades productivas de bienes, comercio o servicios, del cual se extrajo la información del Estado de México, Puebla y Tlaxcala.

En este sentido, el Sistema de Clasificación Industrial de América del Norte (SCIAN) (INEGI, 2023) es la base que da forma al DENUE, que clasifica las actividades económicas en América del Norte, permitiendo una comparación y análisis más precisos de las economías de Canadá, Estados Unidos y México en su calidad de integrantes del Tratado de Libre Comercio de

América del Norte (TLCAN), y se desglosa en 20 sectores, 94 subsectores, 305 ramas, 610 subramas y 1,086 clases de actividad (INEGI, 2024).

Así mismo, el Sistema de Consulta de Integración Territorial, Entorno Urbano y Localidad (SCITEL), permite consultar datos sobre características geográficas, demográficas y socioeconómicas de localidades en México, ya que cuenta con la base de datos de los Indicadores de la Encuesta Intercensal (ITER), ofreciendo resultados desglosados por localidad, así como indicadores relativos a la población, los hogares y las viviendas (INEGI, 2020). Y de la misma forma se extrajo una base de datos con la información de los estados de interés para este estudio.

En seguida, las bases de datos generales se sometieron a un filtrado espacial en el mismo QGIS mediante la función *Unión*, usando las mismas bases de datos y la capa vectorial de la cuenca, lo que permite seleccionar y extraer datos específicos, basado en criterios geográficos y generando una base de datos específica de la cuenca de estudio, facilitando el análisis y la visualización de información.

Por otro lado, se obtuvieron las *capas vectoriales shp* de las regiones hidrológicas, regiones hidrológicas administrativas, cuencas y subcuencas, de la página de las CONAGUA, específicamente el Sistema Nacional de Información del Agua (SINA), en sus apartados *Contexto Geográfico y Socioeconómico, Situación de los Recursos Hídricos, Cuencas y, Regiones Hidrológicas* (CONAGUA, 2024b).

Capas que fueron representadas en el mismo sistema QGIS con la finalidad de explicar ubicación y límites de las regiones hidrológicas, cuencas y subcuencas, hasta llegar a la zona de estudio y a partir de estas capas se delimitaron cuencas de interés y se calcularon sus superficies mediante las herramientas de análisis de área disponibles en el software, generando así datos propios para la presente investigación.

3.3.2 Análisis estadísticos

Con el objetivo de establecer relación entre la calidad del agua y el transcurso del tiempo en el río Atoyac, expresado de otra forma, verificar si la calidad del agua en el río ha mejorado a través de los años a consecuencia de las acciones realizadas para tal fin, se determinó el *Coefficiente de determinación* (R^2), que es una medida de la proporción de la varianza de la variable criterio sobre su media aritmética, que es explicada por las variables independientes o de pronóstico y se puede inferir que, a medida que el valor de R^2 aumenta, la capacidad explicativa de la ecuación de regresión se incrementa, lo que conlleva una mejora en la precisión del pronóstico de la variable criterio. En este sentido, R^2 puede adoptar valores dentro del intervalo de cero a uno, donde un valor más elevado indica una mayor adecuación del modelo de regresión a los datos de la muestra, cuanto más se aproxime el coeficiente a 1, mejor estará ajustado el modelo y, por el contrario, si está más cerca de 0, menos fiable será el modelo de regresión realizado (Elorza, 2008).

Así el coeficiente de determinación (R^2) se calcula con la siguiente fórmula:

$$R^2 = 1 - \frac{\sigma_r^2}{\sigma^2} = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2}{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}$$

Donde:

R^2 = coeficiente de determinación.

σ_r^2 = varianza residual.

σ^2 = varianza variable dependiente.

y_i = valor variable dependiente observación i.

$\hat{y}_i$ = valor aproximado por el modelo de regresión para la observación i.

$\bar{y}$ = media variable dependiente.

Es importante señalar que el coeficiente de determinación fue calculado en hoja de cálculo de Excel de Microsoft, en el que se ingresaron los datos de calidad del agua en valores de Demanda Química de Oxígeno (DQO), que representa la cantidad de oxígeno necesario para oxidar toda la materia existente en el agua, tanto compuestos orgánicos, como inorgánicos, mediante reacciones óxido-reducción química.

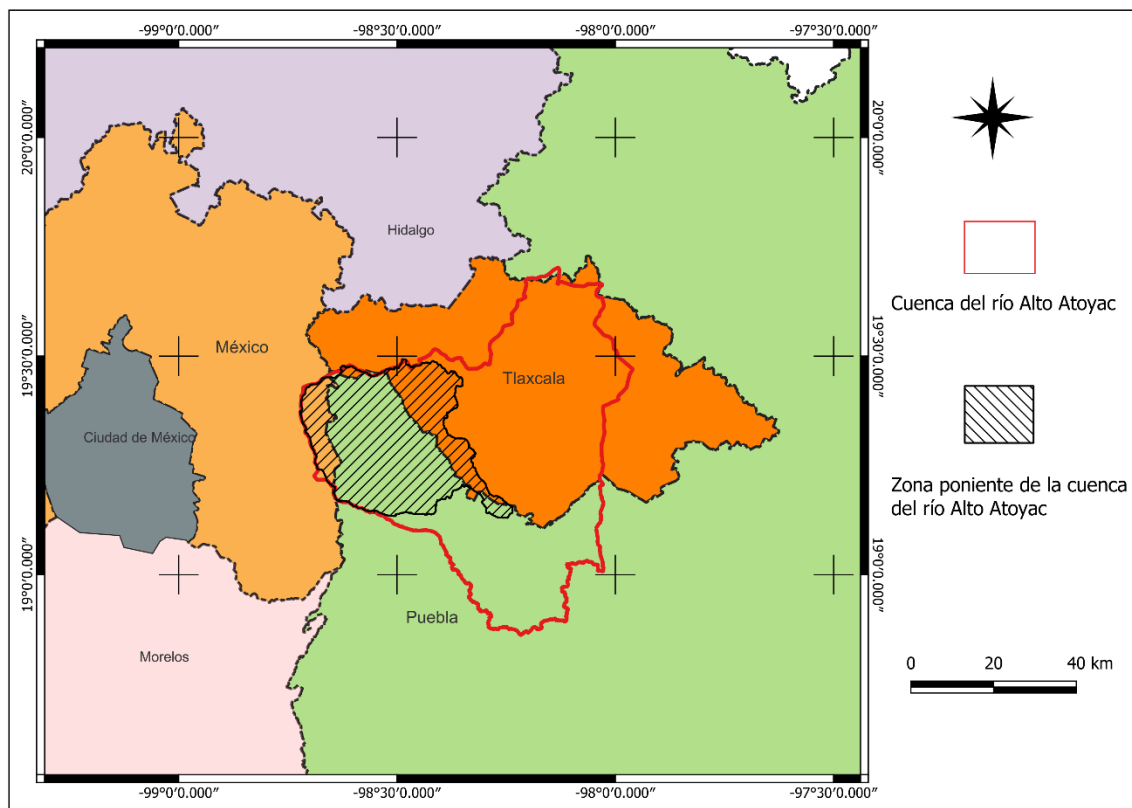
CAPÍTULO IV. RESULTADOS

Como se definió líneas arriba, una cuenca hidrológica se define como una unidad territorial delimitada por divisorias naturales de aguas, conocidas como parteaguas, que determinan la dirección de los escurrimientos superficiales según las características del relieve. Esta delimitación permite establecer áreas de gestión diferenciada. Por ello, la GIRH adopta el enfoque de cuencas como base para planificar, coordinar y administrar de manera integral los recursos naturales presentes en un territorio, respetando las dinámicas ecológicas y sociales que en él se desarrollan, por tanto, es esencial la correcta delimitación de las cuencas hidrográficas.

La subcuenca delimitada del Río Atoyac-SMT, aguas arriba de la confluencia del río Zahuapan, en el presente estudio, se identifica como zona poniente de la cuenca del Río Atoyac-SMT (Figura 23), esto debido a que las aguas de las partes altas, incluyendo las descargas de aguas residuales, escurren y confluyen en la parte baja de la cuenca delimitada, así como las extracciones de agua de los cauces, que disminuye el flujo de agua.

Figura 23.

Cuenca de estudio, zona poniente de la subcuenca del Río Atoyac-SMT.



Fuente: Integración y representación propias con datos de INEGI (2022) y CONAGUA (2024b).

Así, la zona de estudio para este trabajo de investigación se centró en 7 comunidades del estado de Tlaxcala, en los municipios de Tepetitla de Lardizábal (4) y Nativitas (3), estas localidades, que en su conjunto suman una población de 29,372 habitantes, y referidas con anterioridad en la Tabla 4; se ubican a lo largo de la ribera del río Atoyac, dentro de la subcuenca del Río Atoyac-SMT.

4.1 El contexto espacio territorial y sociodemográfico de la subcuenca

Con la finalidad de solventar el objetivo uno del presente trabajo, con el que se caracteriza el contexto espacio territorial y sociodemográfico de la subcuenca del Río Atoyac-SMT y su zona de incidencia en el estado de Tlaxcala, se llevó a cabo un análisis de las cuencas con el propósito de establecer la relación de la zona de estudio con la Región Hidrológica 18 Balsas.

Así mismo, se realizó la caracterización de la población y las actividades productivas en la subcuenca de estudio, observando posibles impactos de las actividades y de la población en las condiciones del agua en el río.

4.1.1 Delimitación de la zona poniente de la Subcuenca del Río Atoyac-SMT.

Con la delimitación, se encontró que la zona poniente de la subcuenca del Río Atoyac-SMT, está integrada por territorio de las entidades de Puebla, Tlaxcala y Estado de México. Su extensión es de 1,271.96 km², donde 64.33 % pertenece al territorio del estado de Puebla, 24.93 % de Tlaxcala y solo 10.74 % del Estado de México (Tabla 6).

Tabla 6.

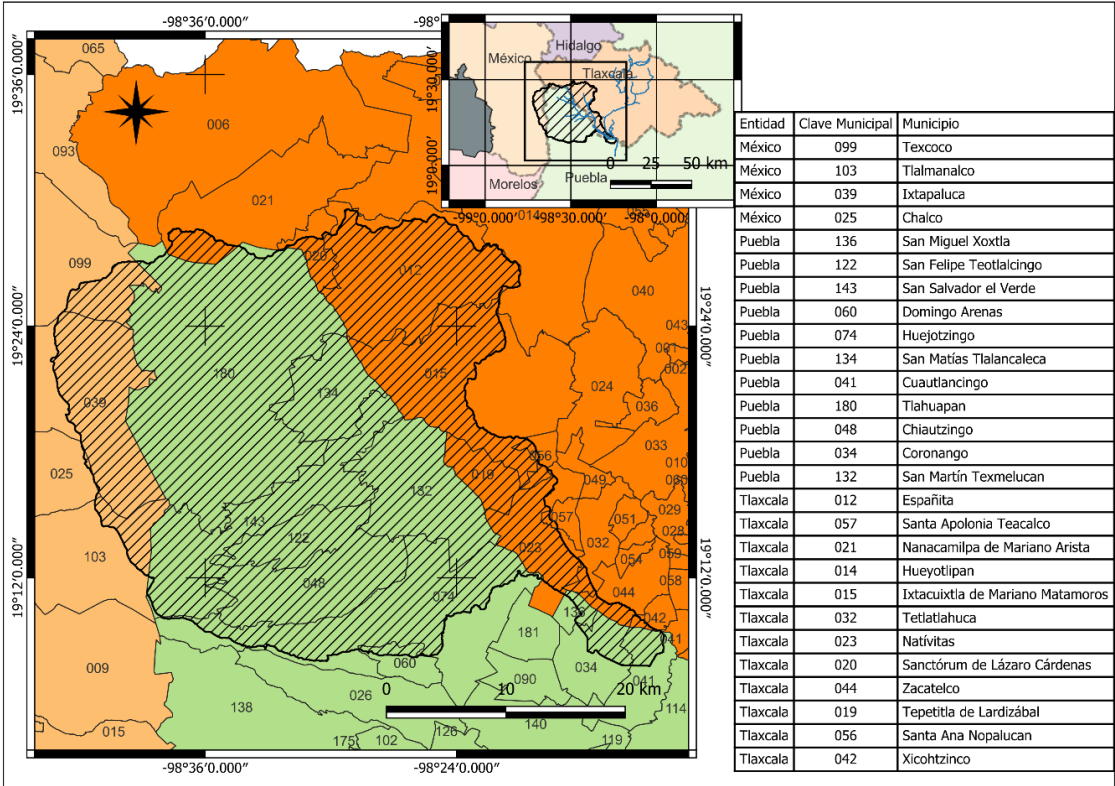
Estados con territorio en la zona poniente de la subcuenca del Río Atoyac-SMT.

Núm.	Estado	Área en la cuenca km ²	Porcentaje de la cuenca %	Municipios	Comunidades	Habitantes 2020
1	Puebla	818.24	64.33	11	230	398,366
2	Tlaxcala	317.08	24.93	12	100	68,064
3	México	136.64	10.74	4	5	6,722
		1,271.96	100			473,152

Fuente: Integración y representación propias con datos de INEGI (2022), procesada en el sistema de información geográfica Qgis.

Los municipios ubicados en la cuenca son: 11 de Puebla, 12 de Tlaxcala y 4 del Estado de México (Figura 24), la mayor parte de ellos en forma parcial. Sin embargo, 6 municipios del Estado de Puebla y 1 de Tlaxcala se encuentran con más del 90 % de su territorio y, del Estado de México sólo son pequeñas porciones de los 4 municipios (Tabla 7).

Figura 24.
Municipios ubicados en la zona poniente de la subcuenca del Río Atoyac-SMT.



Fuente: Integración y representación propias con datos de INEGI (2022) y CONAGUA (2024b).

Tabla 7.

Municipios que componen la zona poniente de la subcuenca del Río Atoyac-SMT y su área en la cuenca.

Número	Estado	Municipio	Área municipal (km ²)	Área municipal en subc. (km ²)	Porcentaje municipal en la subc. (%)
1	Puebla	San Martín Texmelucan *	89.57	89.57	100.00
2	Puebla	Chiautzingo *	81.08	81.08	100.00
3	Puebla	San Matías Tlalancaleca *	50.73	50.73	100.00
4	Puebla	San Felipe Teotlalcingo *	39.39	39.39	100.00
5	Puebla	San Salvador el Verde *	110.93	109.96	99.13
6	Puebla	Tlahuapan *	313.85	307.82	98.08
7	Puebla	Huejotzingo	172.95	111.1	64.24
8	Puebla	San Miguel Xoxtla	8.32	3.84	46.15
9	Puebla	Coronango	36.74	11.58	31.52
10	Puebla	Domingo Arenas	16.11	4.33	26.88
11	Puebla	Cuautlancingo	38.15	8.84	23.17
12	Tlaxcala	Tepetitla de Lardizábal *	23.11	23.11	100.00
13	Tlaxcala	Españita	139.69	123.27	88.25
14	Tlaxcala	Nativitas	52.5	37.61	71.64
15	Tlaxcala	Ixtacuixtla de Mariano Matamoros	161.49	95.1	58.89
16	Tlaxcala	Santa Ana Nopalucan	9.2	4.09	44.46
17	Tlaxcala	Zacatelco	29.5	5.74	19.46
18	Tlaxcala	Xicohtzinco	7.78	1.34	17.22
19	Tlaxcala	Santa Apolonia Teacalco	7.97	1.03	12.92
20	Tlaxcala	Tetlatlahuca	26.14	3.26	12.47
21	Tlaxcala	Nanacamilpa de Mariano Arista	108.23	11.99	11.08
22	Tlaxcala	Sanctórum de Lázaro Cárdenas	98.92	10.38	10.49
23	Tlaxcala	Hueyotlipan	175.99	0.16	0.09
24	México	Ixtapaluca	324.03	94.79	29.25
25	México	Tlalmanalco	160.17	17.66	11.03
26	México	Texcoco	428.11	23.53	5.50
27	México	Chalco	225.2	0.66	0.29
			1,271.96		

Notas: *Municipios con más del 90 % de su territorio dentro de la cuenca.

Fuente: Integración y representación propias con datos de INEGI (2022) y CONAGUA (2024b), procesada en el sistema de información geográfica Qgis.

4.1.2 Características generales de la población de estudio

De acuerdo con el Censo de Población y Vivienda 2020 del INEGI, esta región está conformada por 335 localidades, de las cuales 47 se clasifican como urbanas y 288 como rurales, considerando aquellas con una población superior a los 2,500 habitantes, como localidades urbanas. Entre estas localidades destacan San Martín Texmelucan, con 78,264 habitantes, y Santa María Moyotzingo, con 29,426 habitantes, ambas pertenecientes al municipio de San Martín Texmelucan; así como San Jacinto, con 26,628 habitantes, ubicado en el municipio de Cuautlancingo. Estas localidades superan los 20 mil habitantes. En el rango de 10,000 a 19,999 habitantes se encuentra San Rafael Tlanalapan, con una población de 19,663 habitantes, correspondiente también al municipio de San Martín Texmelucan; San Lorenzo Almecatla (18,303), municipio de Cuautlancingo; San Matías Tlalancaleca (11,571), municipio del mismo nombre; además de Santa Ana Xalmimilulco (17,865) y Rancho de los Caballos (10,489), ambos del municipio de Huejotzingo, es importante señalar que estas localidades se encuentran en territorio del estado de Puebla (INEGI, 2020).

Por su parte en el estado de Tlaxcala, en la cuenca de estudio, existen 100 localidades, de las cuales 10 se consideran urbanas, destacando las de Tepetitla con 9,606 habitantes y Villa Alta con 7,756 habitantes y los 8 restantes se encuentran en el rango de los 2,500 a los 5,000 habitantes.

En lo que respecta al Estado de México, en la cuenca se ubican 5 localidades del municipio de Ixtapaluca, siendo Río Frío de Juárez la principal, con 6,436 habitantes y los 4 restantes van de 8 a 193 habitantes.

En cuanto al estado de Puebla, se incluyen los municipios de San Martín Texmelucan, Huejotzingo, Cuautlancingo, Tlahuapan, San Salvador el Verde, Chiautzingo y San Matías

Tlalancaleca, que concentran poco más del 95 % de la población del estado en la cuenca, y representa 80.2 % de la población total de los tres estados con territorio en la cuenca.

Así, existe una densidad poblacional en la zona de estudio de 371.98 hab/km², muy por encima de la media nacional, que apenas es de 64 hab/km², siendo importante diferenciar entre la densidad poblacional en la cuenca de cada uno de los estados que se ubican en ella, de tal forma que en la zona correspondiente al estado de Puebla, la densidad poblacional es de 486.86 hab/km², mientras que en Tlaxcala es de 214.66 hab/km² y el estado de México de 49.19 hab/km².

4.1.3 Características generales de las actividades productivas en la subcuenca de estudio

Por otra parte, el interés de este estudio está relacionado con la contaminación de las aguas superficiales, por ello fue importante analizar los reportes del Directorio Estadístico Nacional de Unidades Económicas (DENUE) para observar la existencia de industrias y servicios que puedan afectar la calidad del agua con las descargas que generan.

Por ello, y dado que el DENUE considera desde la tiendita de la esquina, la tortillería de la colonia, el consultorio dental, hasta la empresa más grande existente en el país; se procedió a excluir todas aquellas unidades o establecimientos cuya probabilidad de generar descargas de aguas residuales al río Atoyac en la cuenca de estudio es baja.

Para ello se usó el Sistema de Clasificación Industrial de América del Norte (SCIAN), el cual, mediante claves numéricas diferencia los diferentes sectores productivos con dos dígitos, y que se van subdividiendo en subsector, rama, subrama y clase, a lo que se le agrega un dígito por cada uno de ellos, de tal forma que cada subsector cuenta con tres dígitos, las ramas con cuatro, subramas con cinco y las clases con seis dígitos (INEGI, 2023).

De esta manera, en la zona de estudio se reportan 25,436 establecimientos, de los cuales 21,480 se ubican en Puebla, 3,628 en Tlaxcala y 328 en el Estado de México. Considerando el gran número de establecimientos, se determinó enfocar el análisis en los sectores que presentan posibilidades de emitir descargas de aguas residuales a cuerpos de agua superficiales, como ríos, arroyos y barrancas.

En consecuencia, se obtuvo información de los sectores 31, 32 y 33 que describen a la industria manufacturera e incluyen 21 subsectores. Además, se consideró relevante incluir subsectores pertenecientes a sectores diferentes, como el subsector 562, que forma parte del sector 56 y abarca actividades vinculadas con la gestión de residuos y los servicios de remediación ambiental. Estos subsectores desempeñan un papel fundamental en el manejo adecuado de desechos y en la restauración del medio ambiente, aspectos clave para el control y reducción de la contaminación en la zona de estudio, el 621 que se refiere a servicios médicos de consulta externa y servicios relacionados, donde se comprende los laboratorios clínicos; y el 622, que se refiere a hospitales, ambos del sector 62 (Servicios de salud y asistencia social) (Anexo 3).

De forma adicional, se contemplaron 2 clases de actividades, pertenecientes al sector 22 (generación, transmisión, distribución y comercialización de energía eléctrica, suministro de agua y de gas natural por ductos al consumidor final), y que están relacionadas con la captación, tratamiento y suministro de agua. La 221311 actividad realizada por el sector privado y la 221312 por el sector público (Anexo 3).

Una vez separados los sectores, subsectores y clases de interés, se obtuvo que: en la región del estado de Puebla existen 3,297 establecimientos, en Tlaxcala 541 y en el Estado de México sólo 28. Sin embargo, existen muchos establecimientos pequeños con 0 a 5 personas trabajando en el proceso, lo que significa que la descarga que pudiera generar un establecimiento de ese

tamaño sería poco significativa, por lo que se determinó eliminar esta categoría, y considerar sólo los establecimientos que tuvieran más de 6 personas laborando.

Así, mientras mayor sea el número de personas que laboran en un establecimiento, se puede considerar que es mayor la producción, y dependiendo del proceso de producción, la probabilidad de descargar. Así, se encontró que en el estado de Puebla existen 418 establecimientos, en Tlaxcala 37 y en el Estado de México 9 (Tabla 8).

Tabla 8.

Establecimientos en la cuenca de estudio por estado, clasificados por el número de personas que laboran.

Establecimientos*				
Entidades federativas	Puebla	Tlaxcala	Estado de México	
Personas**				Total
6 a 10	237	25	5	267
11 a 30	117	5	4	126
31 a 50	22	2	0	24
51 a 100	13	0	0	13
101 a 250	14	1	0	15
Más de 251	15	4	0	19
Total	418	37	9	464

Notas: *Establecimientos: unidades económicas que realizan actividades productivas en una dirección física específica.

**Personas: número de empleados o trabajadores en un establecimiento.

Fuente: Integración y representación propias con datos de INEGI (2024) DENUE, procesada en el sistema de información geográfica Qgis.

4.2 Evaluación del impacto de las aguas residuales en el río Atoyac, permisos de descarga, estrategias de saneamiento y calidad del agua en Tlaxcala.

Por otra parte, en relación con el objetivo dos, que tiene la finalidad de analizar el impacto de la política ambiental, se consideró indispensable realizar la caracterización de las descargas de aguas residuales, revisar los permisos correspondientes, así como identificar la infraestructura de saneamiento, tanto municipal como no municipal, además de evaluar la calidad del agua en el río Atoyac en la zona de estudio en el periodo de 2012 a 2021.

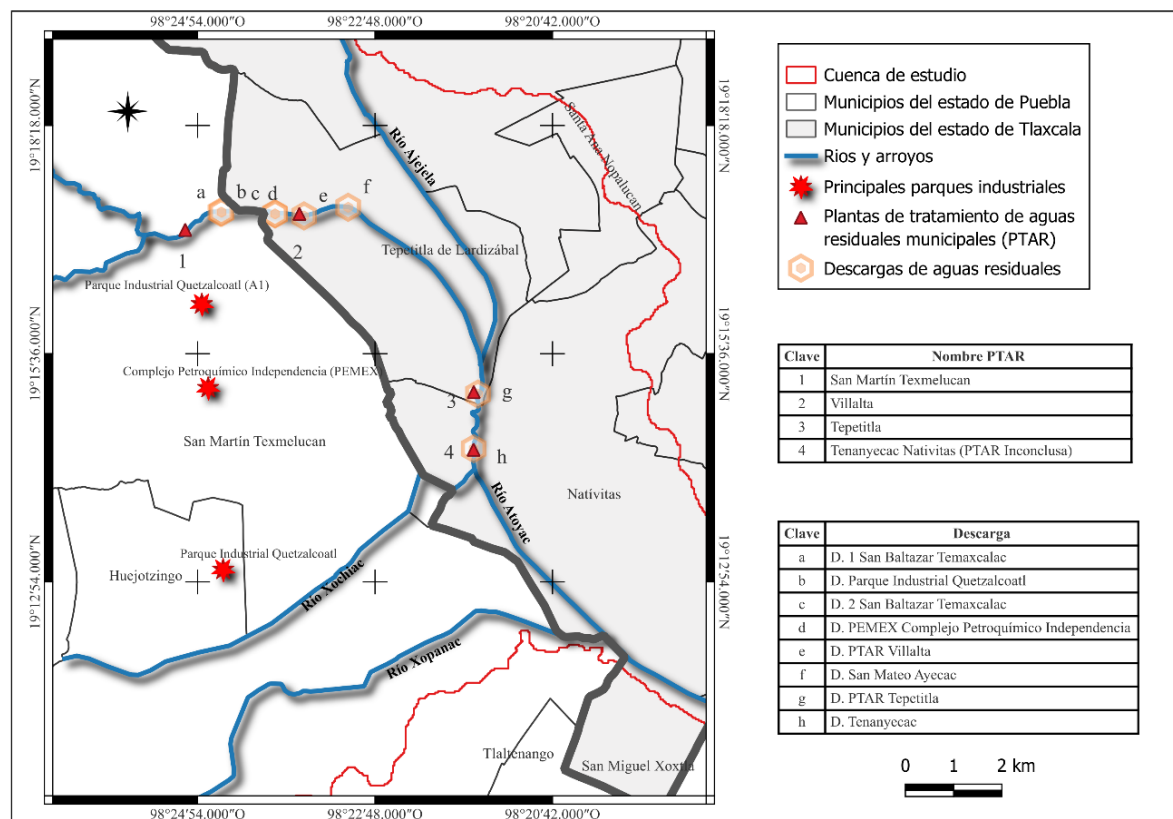
4.2.1 Impacto de las descargas de aguas residuales en el río Atoyac dentro del área de estudio

Es importante acentuar la relevancia de los recorridos de campo para observar las causas visibles que provocan la contaminación del agua en el río, por lo que a finales de diciembre de 2023 y principios de enero de 2024, se realizaron recorridos de campo con la ayuda de personal del área de la Coordinación de Medio Ambiente del Municipio de Tepetitla, encontrando lo siguiente:

Antes de ingresar al estado de Tlaxcala, 1,500 m aguas arriba, en el río Atoyac se encuentra la estructura de derivación de la presa San Lucas, y en su margen izquierda se desvía parte del agua del río para distribuirla mediante los canales principales Rojano (Módulo I) y San Lucas (Módulo III) del Distrito de Riego 056 Atoyac-Zahuapan. Posteriormente, aguas abajo 300m, se encuentra la PTAR de San Martín Texmelucan, con gasto de operación de 140 l/s y que descarga en el canal San Lucas (Figura 25).

Figura 25.

Plantas de tratamiento de aguas residuales municipales, descargas de aguas residuales y los principales parques industriales en la zona poniente de la subcuenca del Río Atoyac-SMT.



Fuente: Integración y representación propias con datos de INEGI (2022) y CONAGUA (2024b).

En seguida, aún en el estado de Puebla, 350m antes del límite estatal, en su margen derecha se encuentra la descarga uno de San Baltazar Temaxcalac (a) y 50 m aguas abajo se encuentra la descarga del Parque Industrial Quetzalcoatl (b), momento en que el río, a pesar de llegar a ese punto con una contaminación aparentemente alta, toma el color de las descargas, que en las tres visitas realizadas fue negro, cambiando el aspecto del río completamente.

Aguas abajo del límite estatal (700m), en la margen derecha se localiza la segunda descarga de San Baltazar Temaxcalac (c) y a escasos 5 m se encuentra la tubería de descarga del denominado Complejo Petroquímico Independencia de PEMEX (d), que ambas tienen un aspecto de aguas grises, sin embargo, en la estructura de descarga del complejo se observan residuos de color negro

en sus paredes, notando la posibilidad de que se descarguen aguas con una calidad diferente a la observada.

Continuando el recorrido, 500m aguas abajo, en la margen izquierda, se encuentra la planta de tratamiento de Villa Alta, la cual descarga a un canal de riego denominado *La Rápida* que se ubica en la parte posterior de la PTAR, sin embargo, aún conserva la infraestructura de descarga al río y que se ha observado en uso.

En seguida, a 1,000m aguas abajo, en la margen derecha se encuentra la descarga de la comunidad San Mateo Ayecac, la cual, los días de recorrido, tiene ha tenido un color azul marino intenso, que contribuye a la apariencia de color que lleva el río poco antes de ingresar al estado.

Aguas abajo, 5,300m después, en la misma margen, se encuentra la planta de tratamiento de Tepetitla, que, al igual que la PTAR de Villa Alta, descarga a un canal de riego, y del mismo modo, conserva la estructura de descarga 50m aguas abajo, la que se ha visto en uso.

Finalmente, a 1,400m aguas abajo y en la misma margen derecha, se encuentra la descarga de Tenanyecac, municipio de Nativitas, la cual se observa con las características aparentes de las aguas grises provenientes de una población. A 15m agua abajo, se encuentra la estructura de reactores de una planta de tratamiento sin concluir.

4.2.2 Autorizaciones para la descarga de aguas residuales en la subcuenca de estudio

Por otro lado, al consultar el Registro Público de Derechos de Agua (REPDa) de la CONAGUA, se identificó la existencia de 117 permisos vigentes para la descarga de aguas residuales en cuerpos receptores de propiedad nacional. Estos permisos contemplan un total de

144 anexos de descarga⁸, ya que un mismo permiso puede incluir uno o varios anexos, cada uno correspondiente a una descarga específica de aguas residuales. En conjunto, estas 144 descargas autorizadas registran un volumen total de descarga de 84.23 Hm³/año, según se muestra en la Tabla 9 (CONAGUA, 2024c). Con esta información, y asumiendo que el volumen de descarga registrado es el gasto que se descarga a los cuerpos receptores, resulta que ese gasto es de 230,779 m³/día o 2.67 m³/s.

Por su parte, el río Atoyac alcanza un gasto promedio⁹ en la parte más baja de la subcuenca de estudio de 2.83 m³/s, gasto ligeramente superior al registrado en los permisos de descarga en 0.16 m³/s, lo que podría significar varias situaciones o alguna de ellas: a) que el gasto registrado de las descargas está sobreestimado; b) que el diferencial del gasto entre las descargas y el río, se extrae en las presas derivadoras y/o las plantas de bombeo existentes; y c) que en condiciones de estiaje, sin la aportación de aguas residuales, el río quedaría sin flujo debido a la ausencia de un caudal base.

En la Tabla 9 se observa que la mayor cantidad de permisos de descarga corresponde al uso industrial, con un total de 69 permisos que agrupan 82 anexos de descarga. Le sigue el uso público urbano, que cuenta con 28 permisos y 37 anexos asociados; en tercer término, se encuentra el uso de servicios con 14 permisos, que amparan 19 descargas; y los usos en acuacultura y pecuario cuentan con 3 y 2 permisos respectivamente, con el mismo número de descargas.

⁸ La consulta al REPDA no considera la ubicación mediante coordenadas, por lo que se extrajo la información de los permisos de descarga de municipios completos de la zona de estudio ubicados en la región hidrológico 18 Balsas.

⁹ Promedio de la medición reportada por la RENAMECA de 2012 a 2020.

Tabla 9.

Permisos de descarga de aguas residuales autorizados por CONAGUA y su volumen de descarga, clasificados por uso y entidad federativa en la zona de estudio.

Uso del agua	No. de permisos de descarga	No. de anexos de descarga	Volumen de descarga (m ³ /día)	Volumen de descarga (m ³ /año)
Público Urbano	26	28	196,426	71,695,483
Industrial	61	70	14,904	5,439,938
Servicios	9	13	408	149,022
Diferentes Usos	-	-	-	-
Acuacultura	2	2	8,640	3,153,600
Pecuario	2	2	79	28,762
Puebla	100	115	220,457	80,466,805
Público Urbano	2	9	3,940	1,438,042
Industrial	8	12	2,885	1,053,069
Servicios	5	6	41	15,038
Diferentes Usos	1	1	3,456	1,261,440
Acuacultura	1	1	0	0
Pecuario	-	-	-	-
Tlaxcala	17	29	96,463	35,209,053
Público Urbano	28	37	200,366	73,133,524
Industrial	69	82	17,789	6,493,007
Servicios	14	19	449	164,060
Diferentes Usos	1	1	3,456	1,261,440
Acuacultura	3	3	8,640	3,153,600
Pecuario	2	2	79	28,762
Total subcuenca	117	144	230,779	84,234,393

Fuente: Integración y representación propias con datos de la página web del REPDA (CONAGUA, 2024c).

Es importante destacar que el uso público urbano concentra el mayor volumen de descarga registrado, con un total de 73.13 Hm³/año, seguido del uso industrial con 6.49 Hm³/año, y en tercer lugar el uso destinado a la acuacultura, que reporta 3.15 Hm³/año.

Así mismo, es relevante mencionar la Tabla 10, donde se clasificaron los permisos de descarga por estado y por municipio, encontrando que en el estado de Puebla existen 100 permisos de descarga que amparan 115 descargas, y para Tlaxcala se encontraron 17 permisos con 35 descargas, de tal forma que se tienen los 117 permisos y 144 descargas, ya mencionadas.

Tabla 10.

Permisos de descarga de aguas residuales otorgados por CONAGUA, organizados por municipio en la zona de estudio.

Municipio	No. de permisos de descarga	No. de anexos de descarga
Huejotzingo	32	36
San Martín Texmelucan	18	21
Tlahuapan	15	17
Cuautlancingo	14	15
San Salvador el Verde	6	6
Coronango	4	6
Tlalancaleca	3	5
Xoxtla	3	4
Domingo Arenas	3	3
Chiautzingo	2	2
Estado de Puebla	100	115
Nativitas	4	9
Tepetitla	4	9
Xicohtzinco	4	6
Ixtacuixtla	5	5
Estado de Tlaxcala	17	29
Total subcuenca	117	144

Fuente: Integración y representación propias con datos de la página web del REPDA (CONAGUA, 2024c).

En relación el estado de Puebla, el municipio de Huejotzingo concentra el mayor número de descargas, con un total de 36, seguido de San Martín Texmelucan con 21, Tlahuapan con 17 y Cuautlancingo con 15, además de otros 6 municipios que registran 6 o menos descargas.

Por su parte en Tlaxcala, el municipio con el mayor número de descargas registradas son Tepetitla y Nativitas con 9 cada uno de ellos, seguido por Ixtacuixtla y Xicohtzinco, con 9 descargas los dos primeros y 6 el último.

4.2.3 Diagnóstico de los sistemas de tratamiento y control de las aguas residuales en la subcuenca de estudio

4.2.3.1 Diagnóstico de los sistemas municipales. En lo que concierne a la infraestructura para el tratamiento de aguas residuales municipales, considerando solo los estados de Puebla y Tlaxcala, dado que en el territorio de la subcuenca del Estado de México no la hay, se encontró que a diciembre de 2022 existían 48 PTAR's, de las cuales 37 se reportan fuera de operación y 11 funcionando (Tabla 11).

Tabla 11.
PTAR municipales por estado en la zona de estudio, capacidad instalada y caudal tratado al 31 de diciembre de 2022.

PTAR's	No. de PTAR's	Capacidad Instalada (l/s)	Caudal Tratado (l/s)
Activas	9	304.69	189.49
Fuera de Operación	15	230.13	0
Puebla	24	534.82	189.49
Activas	2	62.5	46.7
Fuera de Operación	22	176.14	0
Tlaxcala	24	238.64	46.7
Activas	11	367.19	236.19
Fuera de Operación	37	406.27	0
Total	48	773.46	236.19

Fuente: Integración y representación propias con datos de CONAGUA, DLT (2023).

De esta manera, en la zona correspondiente al estado de Puebla, de un total de 24 PTAR's, únicamente 9 se encuentran en operación. Dichas plantas cuentan con una capacidad instalada conjunta de 534.82 l/s; sin embargo, actualmente sólo se tratan 189.49 l/s. Esto significa que apenas opera 37.5 % de la infraestructura disponible y se utiliza únicamente 35.4 % de la capacidad instalada.

En lo que respecta al estado de Tlaxcala, dentro de la subcuenca analizada, se identificaron 24 PTARs, las cuales cuentan con una capacidad instalada total de 238.64 l/s. No obstante, para diciembre de 2022, únicamente 2 de estas plantas se encontraban en operación, con un caudal tratado de 46.7 l/s. Esto representa un funcionamiento del 8.3 % de la infraestructura existente y una utilización de 19.57 % de la capacidad instalada.

Sin embargo, entre 2021 y 2023 el Gobierno de Estado de Tlaxcala se dio a la tarea de rehabilitar las plantas de tratamiento de las comunidades de Villa Alta y Tepetitla, las cuales empezaron a operar a principios de 2024, tratando 15 y 22 l/s respectivamente, por lo se infiere que ya opera 16.6 % de las PTARs y 35.07 % de su capacidad instalada.

4.2.3.2 Diagnóstico de los sistemas no municipales. A pesar de que los objetivos de este estudio se centran en las PTAR's de origen municipal, se considera indispensable incluir en el análisis las descargas de aguas residuales no municipales, así como su infraestructura de saneamiento, de lo que se hace énfasis que la mayor parte de la infraestructura no municipal se refiere a la existente en industrias, servicios y uso pecuario.

El inventario más reciente que se encuentra en la página web de la CONAGUA se vincula a la infraestructura de saneamiento no municipal presente en la cuenca del río Alto Atoyac, con

corte al 31 de diciembre de 2022, de donde se extrajo la información para los municipios completos que se encuentran en la subcuenca de estudio¹⁰ (CONAGUA, 2023b).

De este análisis se encontró que existen 72 PTAR no municipales en la zona de estudio, cuya capacidad instalada asciende a 7,723,659 m³/año y el caudal tratado asciende a 7,104,913 m³/año (Tabla 12), donde es importante mencionar que la totalidad de las plantas existentes se encuentran trabajando, y destaca que la capacidad instalada promedio está operando al 92 %, sin embargo, en el estado de Puebla se incrementa al 99.98 % y en el de Tlaxcala disminuye al 65.68 %.

Tabla 12.

Relación de PTARs no municipales instaladas y en operación en la subcuenca de estudio al 31 de diciembre de 2022.

PTAR's	Estado		
	Puebla	Tlaxcala	Total
Instaladas	58	14	72
En operación	58	14	72
Gasto			
Capacidad Instalada (m ³ /año)	5,924,728	1,798,930	7,723,659
Caudal Tratado (m ³ /año)	5,923,458	1,181,455	7,104,913

Fuente: Integración y representación propias con datos de CONAGUA (2023b).

Los municipios que concentran la mayor cantidad de infraestructura de saneamiento no municipal son Huejotzingo, con 19 sistemas; San Martín Texmelucan, con 14; y Cuautlancingo, con 11. Les siguen San Miguel Xoxtla con 5, Coronango y Tlahuapan con 4 cada uno, y San Salvador el Verde con 1. Por su parte, en Tlaxcala sólo se reportan 3 municipios con este tipo de

¹⁰ En la base de datos no se integran las coordenadas de localización para realizar un análisis preciso.

infraestructura (Ixtacuixtla, Xicohtzinco y Nativitas) sumando un total de 14 sistemas de tratamiento (Tabla 13).

Tabla 13.

Listado de PTAR's no municipales, organizadas por municipio en la subcuenca de estudio, con información al 31 de diciembre de 2022.

Estado	Municipio	No. de PTARs
Puebla	Huejotzingo	19
	San Martín Texmelucan	14
	Cuautlancingo	11
	San Miguel Xoxtla	5
	Coronango	4
	Tlahuapan	4
	San Salvador el Verde	1
Total		58
Tlaxcala	Ixtacuixtla	7
	Xicohtzinco	6
	Nativitas	1
Total		14
Total		72

Fuente: Integración y representación propias con datos de CONAGUA (2023b).

4.2.4 Diagnóstico de la calidad del agua en el tramo del río Atoyac analizado

La RENAMECA, es una red a nivel nacional que comprende estaciones de monitoreo de aguas superficiales y subterráneas, donde, dependiendo de las necesidades del monitoreo, se llegan a registrar hasta 263 parámetros por estación.

La base de datos de dicha red cuenta con información de cada estación de monitoreo de aguas subterráneas y superficiales, dividiendo éstas últimas en cuerpos de agua lénticos y lóticos, con datos a partir del año 2012 y hasta 2021 (CONAGUA, 2024a).

De ello, se determinó analizar la información existente de 3 estaciones en el río Atoyac, una al ingresar al estado de Tlaxcala, otra a la mitad de recorrido en el estado y la última antes de confluir con el río Zahuapan (Tabla 14).

Tabla 14.

Listado de estaciones de monitoreo de la RENAMECA consideradas en el análisis dentro de la subcuenca de estudio.

Clave Sitio	Nombre Del Sitio	Tipo de Cuerpo de Agua
DLTLA2576	AF-2 PTAR DM Villa Alta	Lótico A - Tipo 1
DLTLA2581	RA-7 Río Atoyac, Antes de la Confluencia con el Río Xochiac	Lótico A - Tipo 1
DLTLA2547	RA-12 Río Atoyac, Antes de la Confluencia con el Río Zahuapan	Lótico A - Tipo 1

Fuente: Integración y representación propias con datos de CONAGUA (2024a).

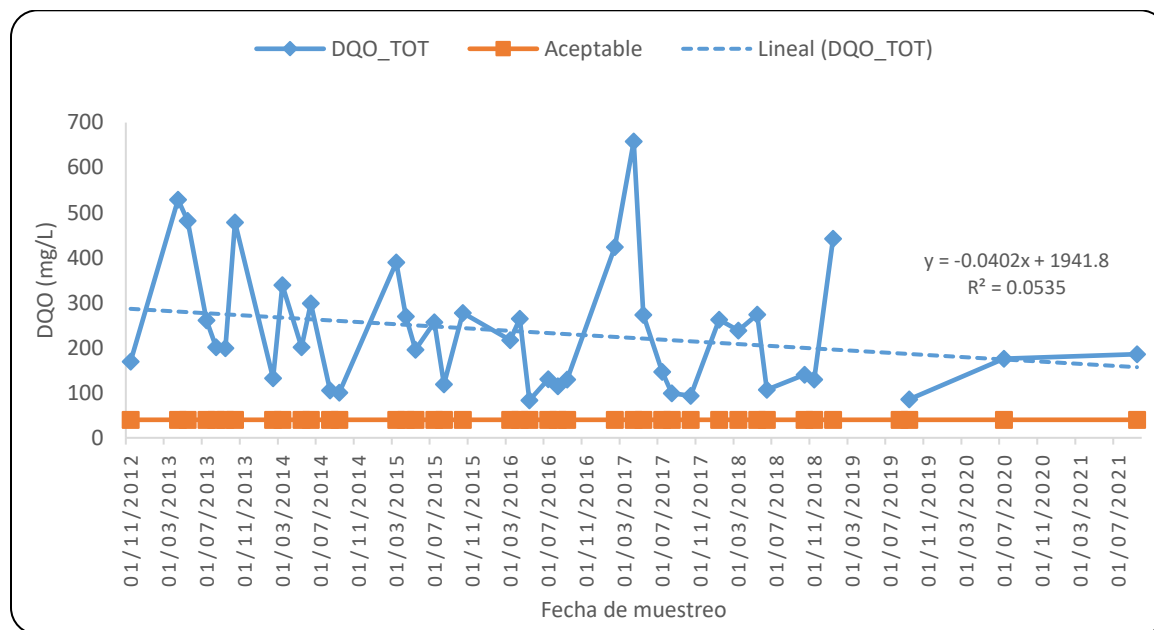
Para realizar el análisis se tuvo como referencia la escala de clasificación de calidad de agua superficial, cuerpos de agua lóticos (ríos, arroyos y corrientes) de la CONAGUA, en la que se considera que se tiene calidad *excelente* cuando no se rebasan los 10 mg/L, se considera como *buena* calidad de 10 a 20 mg/L y el valor *aceptable* debería tener una concentración entre los 20 y no mayor a 40 mg/L, todo ello basado en la DQO¹¹ (CONAGUA, 2020d).

¹¹ Para este estudio se toma como referencia el parámetro DQO, sin embargo, la escala mencionada también se refiere a DBO₅, Toxicidad, Enterococos, E. Coli, Coliformes Fecales, Solidos Suspendidos Totales y Oxígeno Disuelto.

Lo anterior permite identificar, en la estación de medición *DLTLA2576-AF-2 PTAR DM Villa Alta*, que todos los valores de este parámetro rebasan el valor de aceptable, llegando a valores superiores de 600 mg/L (Figura 26).

Figura 26.

Comportamiento de los valores de DQO en la estación RENAMECA (DLTLA2576) AF-2 PTAR DM Villa Alta, en el periodo 2012 a 2020, con línea de tendencia y coeficiente (R^2).



Fuente: Integración y representación propias con datos de RENAMECA (CONAGUA, 2024a).

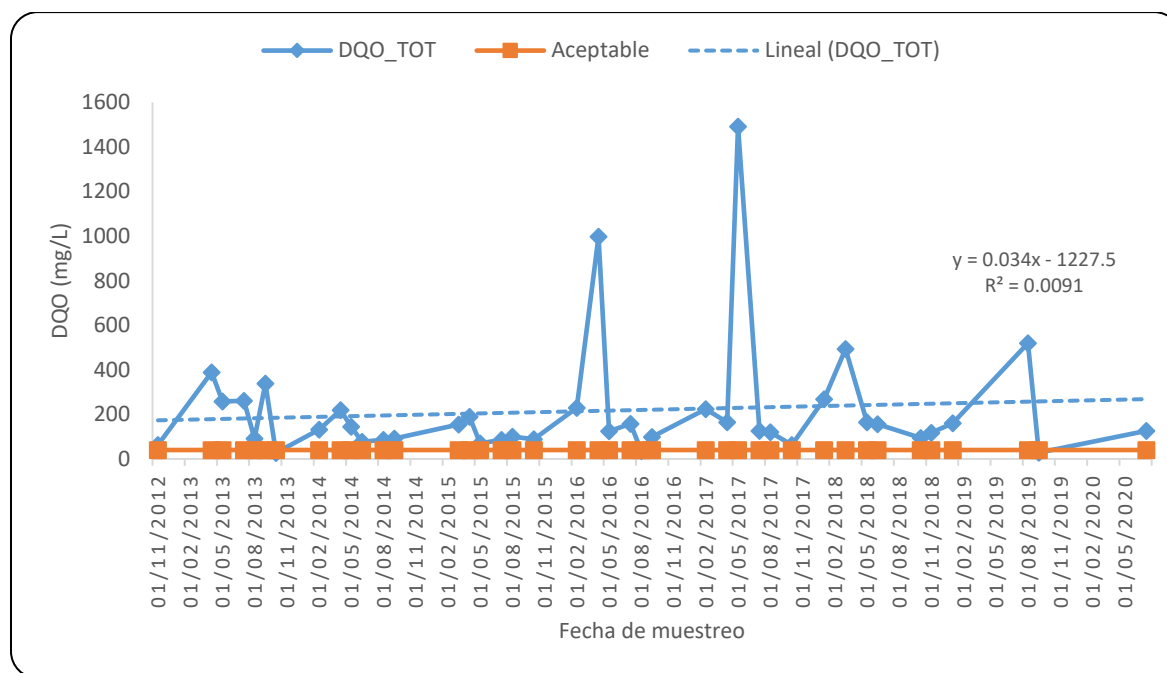
De igual manera, al utilizar la fórmula para calcular el *Coeficiente de determinación* (R^2), se obtuvo un resultado de 0.0535, lo que indica que no hay una relación de una tendencia de los resultados en el tiempo, de tal forma que el modelo no es fiable para determinar si está disminuyendo la concentración del contaminante DQO en el río o si está aumentando.

Por su parte, en la estación (*DLTLA2581*) RA-7 Río Atoyac, aguas arriba de la confluencia con el Río Xochiac (Figura 27), se aprecia nuevamente que los valores de la DQO rebasan considerablemente el valor de aceptable, obteniendo datos cercanos a los 1,000 mg/L y hasta un

valor cercano a los 1,500 mg/L, y, por el contrario, en esta estación se tienen 3 datos que están en valores menores a los 40 mg/L, en el rango de una calidad aceptable, que se pueden deber a la dilución causada por lluvia.

Figura 27.

Comportamiento de los valores de DQO en la estación RENAMECA (DLTLA2581) RA-7, Río Atoyac antes de su confluencia con el Río Xochiac, en el periodo 2012 a 2020, con línea de tendencia y coeficiente (R^2).



Fuente: Integración y representación propias con datos de RENAMECA (CONAGUA, 2024a).

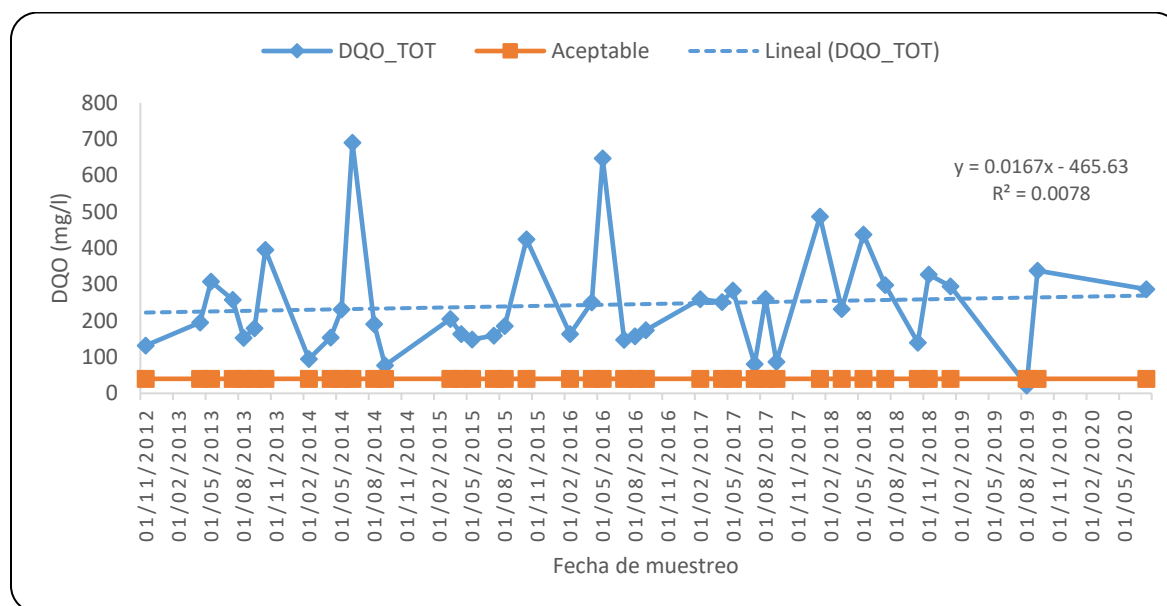
Con relación al *Coeficiente de determinación* (R^2), en esta estación se obtuvo un resultado de 0.0091, que indica que la relación de tendencia de los resultados en el tiempo no es fiable, dado que el valor es cercano al cero, esto derivado a que existen valores de concentración bajos, incluso dentro de una calidad aceptable, y valores por encima de los 1,400 mg/L, lo que hace que el rango de valores sea más amplio que en la estación anterior.

A su vez, en la estación (DLTLA2547) RA-12 Río Atoyac, antes de la confluencia con el río Zahuapan (Figura 28), igualmente se observan valores de DQO por encima del valor de

aceptable, donde las concentraciones más altas están cerca de los 700 mg/L, y en el límite inferior sólo se tiene un muestreo que se encontró en el rango de una calidad aceptable.

Figura 28.

Comportamiento de los valores de DQO en la estación RENAMECA (DLTLA2547) RA-12 Río Atoyac, antes de la confluencia con el Río Zahuapan, en el periodo 2012 a 2020, con línea de tendencia y coeficiente (R^2).



Fuente: Integración y representación propias con datos de RENAMECA (CONAGUA, 2024a).

En lo referente al *Coeficiente de determinación* (R^2), en este punto de muestreo se obtuvo un resultado de 0.0078, que, de la misma forma, indica que la relación de tendencia de los resultados en el tiempo es de baja fiabilidad, dado que el valor está muy cercano al cero, entendiendo esto como un rango amplio de valores sin una tendencia clara.

De tal forma, se encontró que en los puntos de la red analizados no existe una mejora en la calidad del agua desde el año 2012 hasta 2020, y la variación de concentración del contaminante es muy alta, lo que significa que de un muestreo a otro se dieron variaciones de hasta más del 1,000 %.

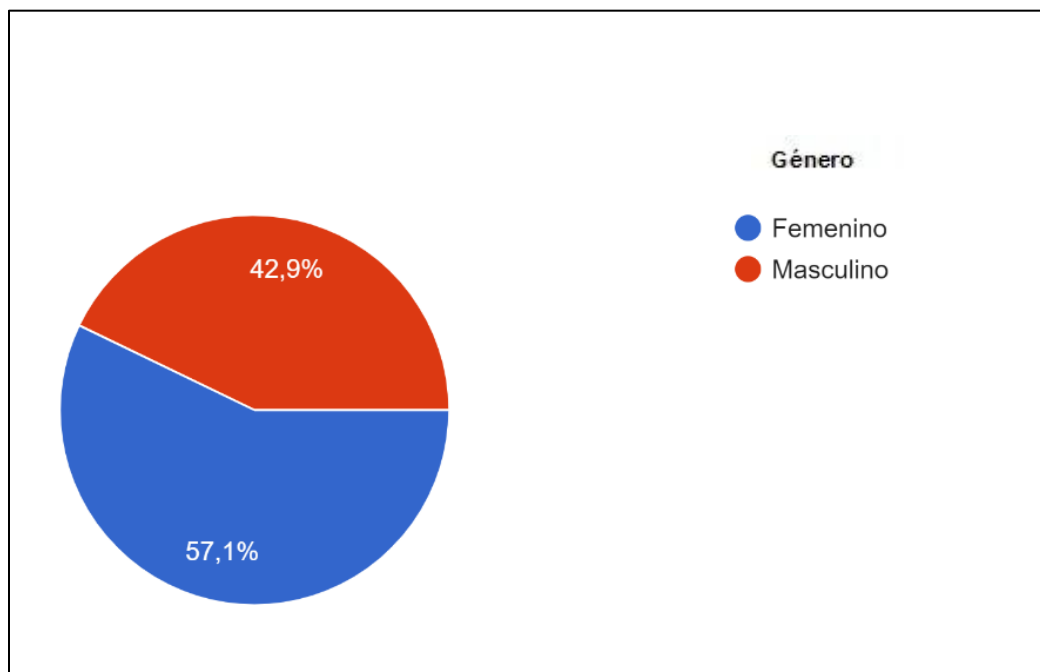
4.3 Percepción de la contaminación del río Atoyac por parte de la población ribereña

Conforme al diseño del estudio, para el presente trabajo se usó la guía para la aplicación de la encuesta en las poblaciones ribereñas del río Atoyac en el estado de Tlaxcala (Anexo 1), donde fue conveniente considerar el género, el rango de edad y el nivel de estudios de los entrevistados, de lo que se obtuvo lo siguiente:

De las personas entrevistadas 57 % fueron del sexo femenino y 43 % masculino (Figura 29), es representativa de la proporción existente en el país y en el estado de Tlaxcala, se registra en la población una proporción de 52 % mujeres y 48 % hombres. La diferencia (5 % más de mujeres y 5 % menos de hombres) se puede explicar porque la población masculina tiende a trabajar durante el día en el campo y fábricas.

Figura 29.

Proporción de género de la población encuestada.

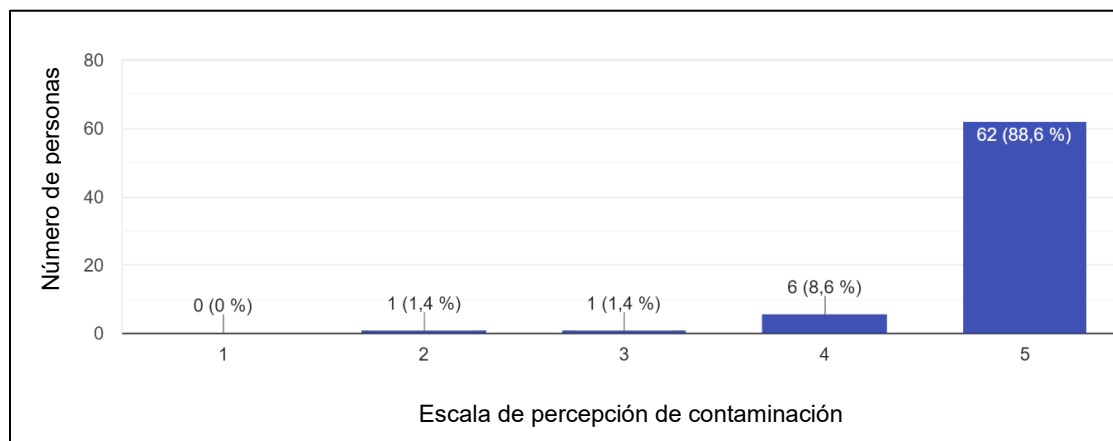


Elaboración propia.

En cuanto al rango de edades, la mayor proporción de respuestas provino de habitantes entre 44 y 56 años, representando 30 % de los encuestados; le sigue el grupo de 18 a 30 años con 27 %, y el de 31 a 43 años con 20 %, sumando en conjunto 67 % de la población encuestada. El restante 23 % correspondió a personas mayores de 57 años, dato significativo, ya que este grupo tiende a poseer un mayor conocimiento sobre el tema tratado, ya que han vivido el problema de contaminación y posiblemente la transición.

Por otra parte, sobre el nivel de estudios se encontró que: de las personas entrevistadas 98 % cuentan con algún nivel de estudios, desde primaria (21.4 %), secundaria (27.1 %), preparatoria (20 %), licenciatura (18.6 %), posgrado (1.4 %), y carreras técnicas (10 %), en este apartado es importante destacar la distribución homogénea entre los diferentes niveles: desde primaria hasta licenciatura, con una quinta parte cada uno, excepto la secundaria que es el nivel con el que mayor número de personas entrevistadas cuentan, siendo relevante que el 98 % tienen algún nivel de estudios y solo una persona no cuenta con educación formal.

De esta forma y en respuesta a la pregunta si el río se encuentra contaminado, el total de los entrevistados (70) dieron su respuesta afirmativa, y al categorizar el nivel de contaminación, 88.6 % le otorga un valor de cinco (muy contaminado) y 8.6 % (severamente contaminado), y solo dos entrevistados (2.8 %) otorga un valor de tres (contaminado) y dos (poco contaminado), destacando que ninguno de los entrevistados dio como respuesta el número uno (nada contaminado) (Figura 30).

Figura 30.*Percepción de la contaminación del río Atoyac*

Elaboración propia.

Al respecto del origen de la contaminación en el río, 71.4 % de los entrevistados dan cuenta que la causa son, en conjunto, las descargas industriales y municipales, además de la basura que es arrojada al cauce, 25.7 % apunta exclusivamente que la contaminación se debe a las descargas industriales, sólo 2.9 % consideran que la contaminación se origina por la basura que tiran al cauce, y ningún entrevistado aduce que el origen de la contaminación podría ser causada por las descargas de las comunidades (Figura 31).

Figura 31.*Percepción de la población del origen de la contaminación del río Atoyac*

Elaboración propia.

Al preguntar cuáles son las industrias que están contaminando, los habitantes de las poblaciones seleccionadas dan respuestas generalizadas como: las industrias ubicadas en San Martín y San Baltazar Temaxcalac o las lavanderías de San Baltazar y San Mateo Ayecac. Y sólo en algunos casos se menciona a la Petroquímica Independencia, Tavex y Rasini como las causantes.

Con relación al tiempo que tiene el problema de contaminación del río, 82.9 % de los encuestados considera que el problema tiene más de 24 años de antigüedad; 7.1 % estima que existe desde hace entre 18 y 24 años, mientras que 5.7 % señala que comenzó hace entre 12 y 18 años. y sólo 4.3 % de la población entrevistada especula que la contaminación es relativamente reciente, desde hace 5 a 11 años. Así mismo, algunos de los entrevistados más jóvenes comentaron que nunca han visto al río de otra manera.

De tal forma, las personas mayores que han vivido en las localidades por un periodo largo tienen recuerdos de que el río, cuando eran niños, corría el agua limpia y hasta peces había, en otros casos los padres de los entrevistados les platicaban de lo que era el río.

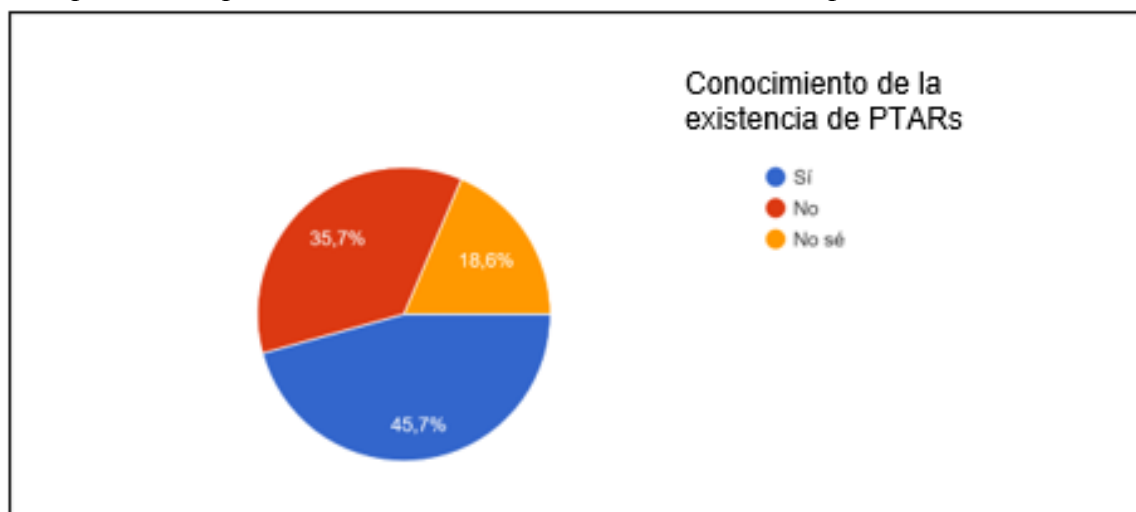
Considerando la situación que prevalece en el cauce y las consecuencias que pudiera provocar el uso del agua del río, es relevante conocer la percepción de las personas, por lo que se indagó, y **87.1 % sabe que estas aguas son usadas para el riego agrícola** y 5.7 % contestó que no se usa.

Los habitantes entrevistados, 95.7 % consideran que la contaminación afecta al medio ambiente, a los cultivos y a las personas, y no se excluye a alguno de ellos. Sin embargo, al preguntar sobre la manera en que pudiera afectar la contaminación, la principal preocupación son las enfermedades en los habitantes, provocadas por los olores o por el consumo de verduras que se riegan con esas aguas.

Referente al conocimiento de la población respecto a la existencia de plantas de tratamiento de aguas residuales municipales, 35.7 % afirma que no existen, 45.7 % saben de su existencia y 18.6 % no sabe (Figura 32).

Figura 32.

Percepción de la población sobre la existencia de PTARs municipales.

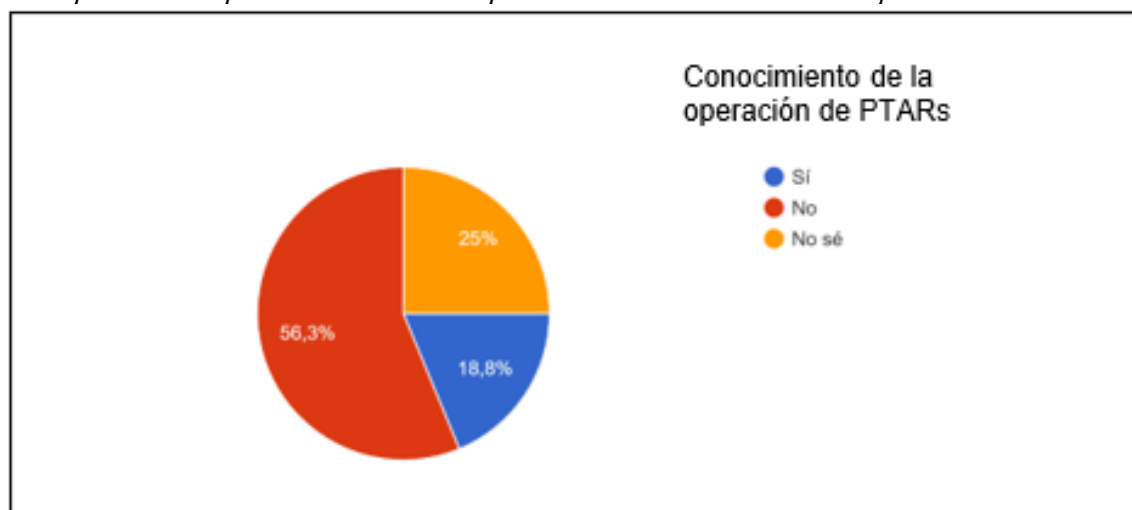


Elaboración propia.

De las personas que saben que existen PTARs, sólo 18.8 % (6 personas) contestó que las plantas de tratamiento se encuentran en operación, y el resto (81.3 %) dijeron no saber si estaban en operación o afirmaron que no lo hacen (Figura 33).

Figura 33.

Percepción de la población sobre la operación de las PTARs municipales.



Elaboración propia.

En lo que respecta a las plantas de tratamiento en industrias, 24.3 % de los entrevistados afirmaron que sí las hay, y de ese porcentaje, 52.9 % (9 personas) respondieron que están operando.

Al respecto de la normatividad ambiental, el 41.7 % cree que es adecuada para resolver el problema de la contaminación, y un porcentaje igual considera lo contrario, y sobre la misma normatividad, y es **destacable que 91.4 % respondió que la normatividad ambiental en materia de saneamiento no es aplicada.**

Sobre la participación en la búsqueda de soluciones, 31.4 % de los encuestados ha participado en alguna ocasión, sin embargo 68.6 % no ha participado. Así mismo, se cuestionó si alguna entidad de gobierno le había invitado a alguna reunión para buscar soluciones, de lo que se encontró que sólo el 14.3 % había sido invitado alguna vez, y al preguntar, qué nivel de gobierno les invitó, 6 personas respondieron que el nivel municipal y 4 el estatal, sin que se registrara alguna respuesta para el nivel federal. Y sobre quienes participaron en las reuniones a las que fueron

invitados, en primer lugar, aparece el municipio con 7 respuestas, el gobierno del estado con 4, pobladores de las comunidades con 6 y agricultores con 4 respuestas afirmativas.

En relación con quienes deberían dar solución a esta problemática, 78.6 % considera que se debe involucrar a los tres niveles de gobierno, a la industria y a la sociedad.

En el caso de las acciones que se deberían llevar a cabo, la respuesta con mayor aceptación es la de recoger basura, seguida de multar a los que descargan contaminantes, tratar las aguas residuales, instalar PTARs en las industrias y en las localidades, aunado a que 24 personas opinan que no se hace nada al respecto.

Finalmente, a la pregunta de las acciones que se deberían llevar a cabo, 54.3 % respondió positivamente a que se deben, al mismo tiempo, operar las PTARs existentes, construir algunas nuevas y hacer campañas de limpieza en el río.

4.4 Percepciones institucionales sobre la intervención de los tres niveles de gobierno en la problemática de contaminación del río Atoyac

Para conocer cómo se aplica la normatividad en materia ambiental, relacionada con la contaminación del agua y su tratamiento, se determinó entrevistar a informantes clave (expertos) mediante la guía de entrevista a actores clave (Anexo 2), de los diferentes niveles de gobierno, en total nueve instituciones, 3 de cada uno de los niveles, como se señaló en la Tabla 5 del apartado metodológico de esta tesis.

Al respecto, se obtuvo respuesta de 5 de las instituciones, dos de índole federal (CONAGUA y SEMARNAT), una estatal (CEAS), y dos municipios (Tepetitla de Lardizábal y Nativitas).

En los casos en los cuales no se obtuvo una respuesta positiva para realizar la entrevista, PROPAET y el municipio de Ixtacuixtla no dieron respuesta, PROFEPA dio contestación marcando que la información se encuentra en sus páginas web, y la SMA señaló que sobre el tema del agua se acudiría a la CEAS.

De esta manera, las cinco dependencias que atendieron la solicitud prefirieron dar respuesta mediante el sistema Forms de Google, previamente preparado para tal fin, de lo que se obtuvo:

A la pregunta de cuál es el principal problema del río Atoyac todas las instancias, aunque con diferentes perspectivas, están de acuerdo que se trata de la contaminación generada por las descargas de aguas residuales, la cual mantiene al río en un estado de alta contaminación.

Por otra parte, es revelador que, de las leyes y normas principales para tratar el problema de la contaminación del agua en los cuerpos receptores, no sean conocidas por todas las instancias, cuando es de suponerse que los encargados de aplicar la normatividad en los tres niveles de gobierno debieran hacerlo, además de su contenido básico. No obstante, la Ley de Aguas Nacionales fue la más reconocida, con cuatro respuestas afirmativas; le siguieron en conocimiento la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente, la Ley de Aguas para el Estado de Tlaxcala, así como las Normas Oficiales Mexicanas NOM-001-SEMARNAT-2021 y NOM-002-SEMARNAT-1996, con tres menciones cada una, que significa que el 60 % de los entrevistados conocen estas leyes y normas. Seguida de la Ley de Protección al Medio Ambiente y el Desarrollo Sostenible del Estado de Tlaxcala junto con la NOM-003-SEMARNAT-1996, con el 40 % de menciones por parte de los entrevistados.

Respecto a la competencia que, en materia de saneamiento de las aguas residuales, tiene cada una de las dependencias, es importante señalar que la SEMARNAT se aboca a la LGEEPA y la CONAGUA señala que ni la LAN y su reglamento se consideran como normas en materia de

saneamiento, que esto lo contempla la Ley de Aguas para el Estado de Tlaxcala, por lo que atribuye la función al propio estado. Por su parte la CEAS señala que su atribución son la legislación estatal en materia de protección ambiental y del agua.

En el caso de los municipios, Tepetitla reconoce como su atribución las dos leyes federales y las dos estatales, además de las normas 001 y 002. Nativitas establece como su competencia las dos leyes federales y la ley estatal de protección al medio ambiente.

En lo referente a los programas y proyectos que existen en el estado para el saneamiento, son mencionados el Programa de Acciones de Saneamiento (PAS), el Programa de Agua Potable, Drenaje y Tratamiento (PROAGUA), Programa para el Desarrollo Integral de los Organismos Operadores de Agua y Saneamiento (PRODI), el Programa de Ordenamiento Ecológico Regional de la subcuenca del Alto Atoyac y un grupo de trabajo estatal colegiado que está integrado por nueve dependencias para maximizar el uso de los recursos.

Sobre los programas y proyectos que aplica cada institución, la SEMARNAT da como respuesta que establece marcos regulatorios, además de fomentar la coordinación entre dependencias y promueve la participación ciudadana, por su parte la CONAGUA se aboca al PROAGUA. En este caso la CEAS refiere que rehabilita y opera 13 PTARs en el estado. El municipio de Tepetitla señala el PAS y, Nativitas da como respuesta que mantiene revisión constante en las descargas irregulares en todo el municipio.

Sobre la verificación del cumplimiento de la normatividad, las respuestas son muy disímiles dado que se aduce que: se verifica la participación en el PAS, se realiza inspección y vigilancia de los niveles máximos autorizados según las disposiciones normativas, CPD's y la declaratoria de clasificación del río Atoyac, por otro lado el estado da seguimiento a las mediciones

que realiza la CONAGUA y los municipios regularizan establecimientos que descargan al alcantarillado municipal, o se clausuran, además de contar con PTAR's.

Por otro lado, 3 de las dependencias entrevistadas consideran que la normatividad existente no es la adecuada para resolver el problema de contaminación, observando que la principal problemática se encuentra en la industria y en la falta de aplicación de la normatividad.

Y en general, las modificaciones necesarias para resolver la problemática en el río es el incremento de sanciones, modificar horarios de inspección, aplicar la normatividad en forma equitativa en los estados de Puebla y Tlaxcala y mayor inversión para el saneamiento de aguas residuales para su posterior aprovechamiento.

Con relación a los efectos de la contaminación del río, la mayor expresión que consideran las dependencias es en la agricultura (4), seguida por las aguas en el cauce (3) y en las comunidades ribereñas y en las personas (2), y una de las respuestas señala que la problemática es de carácter transversal, ya que la contaminación afecta no solo al agua, sino también al medio ambiente, la actividad agrícola y a la población, sin que se mencionaran actividades como la recreación.

Entre las estrategias institucionales sugeridas para disminuir los efectos de la contaminación, se encuentran la regulación de descargas, la captación de aguas residuales y la operación efectiva de las plantas de tratamiento a nivel municipal, además de que las dependencias federales atiendan la problemática desde el origen.

Así mismo, se considera que deben estar involucrados en las acciones de saneamiento los tres niveles de gobierno, Organizaciones de la Sociedad Civil (OSC), instituciones educativas y centros de investigación, además de la sociedad.

En relación con los actores que deberían involucrarse en las acciones de saneamiento se considera a la sociedad en general, a la sociedad civil y los ejidatarios. Respecto a la manera de incorporarlos, se plantea como necesario supervisar las descargas de aguas residuales y fomentar la participación ciudadana en los procesos de decisión, e incluso con el cuidado de las PTARs o haciendo limpieza.

Sobre cómo están distribuidas las responsabilidades en los diferentes niveles de gobierno las diferentes respuestas se refieren a los niveles de gobierno correspondiente, sin que se refieran a otros niveles. Y si se cuentan con recursos para realizar acciones de saneamiento, invariablemente la respuesta refiere a que existen programas y presupuesto, sin que se mencionen montos.

A la pregunta relacionada con la asignación y operación del presupuesto, se refieren principalmente al de origen federal a través del PROAGUA. Así mismo, la coordinación entre instancias la realizan en las reuniones periódicas del PAS, el que fue instalado derivado de la recomendación de la CNDH en 2017.

También responden que en general los tres niveles de gobierno trabajan de manera conjunta y que existe confianza entre instituciones, sin embargo, sí ha habido tensiones, confrontaciones o divergencias sobre la toma de decisiones, siendo las inspecciones, el intercambio de información, la definición de diagnósticos y las propuestas de atención a la problemática, por las que se han enfrentado.

En cuanto a los logros en saneamiento, se señalan la disminución de contaminantes, la reducción en la cantidad de descargas de aguas residuales y la rehabilitación, operación y adecuado mantenimiento de las PTARs existentes, además de las acciones reportadas en el PAS.

Así mismo, señalan la participación de la población de los municipios ribereños, no se menciona una forma de participación específica, e incluso se dice que no se cuenta con la participación de la población, al no existir mecanismos que incentiven la participación de la sociedad civil.

La información relacionada con convenios y acuerdos que se hayan firmado para resolver la problemática, el PAS es el que predomina en las respuestas, sin embargo, la CONAGUA, menciona la existencia de una serie de convenios como el firmado entre el IPN, y los estados de Puebla y Tlaxcala del 8 de septiembre de 2006, el convenio para el Saneamiento de la Cuenca Atoyac- Zahuapan del 25 de abril de 2011. El convenio marco para el Saneamiento del río Atoyac de fecha 28 de septiembre de 2020. Y el convenio para el ordenamiento de la zona del río Atoyac, entre los gobiernos de Puebla, Tlaxcala y la SEMARNAT firmado el 2 de agosto de 2023.

Como último punto, se indagó si los entrevistados están informados sobre la existencia del Consejo de Cuenca del río Balsas, todas las instituciones lo conocen y sólo una no ha participado, mencionando que el Consejo de Cuenca si tiene incidencia en la solución a la problemática del río, donde además se alude que la Comisión de Cuenca de los ríos Atoyac-Zahuapan, no se concretó su instalación, a pesar de contar con la autorización emitida por el propio Consejo de Cuenca.

4.5 Discusiones

El análisis realizado en este documento aborda diversos aspectos fundamentales, que fue importante ir dilucidando, como se había comentado, considerando las características de la región, su dinámica poblacional, las actividades productivas que se desarrollan, así como las descargas de aguas residuales y los permisos otorgados para ello, la infraestructura de saneamiento municipal y

no municipal, hasta analizar la influencia de todo ello en la calidad del agua en el río, observar la percepción de la población objetivo y de las instituciones de los diferentes niveles de gobierno sobre la problemática existente.

Así mismo, se compara el trabajo empírico con la teoría de gobernanza colaborativa y la GIRH, para observar el impacto de la política ambiental de saneamiento en el tratamiento de las aguas residuales municipales.

A continuación, se exploran las principales discusiones que emergen del estudio.

Conforme a la LAN, la cuenca, junto con los acuíferos, son la unidad territorial básica para la GIRH. Dado que la cuenca es una unidad territorial delimitada por una línea poligonal que conecta los puntos geográficos más elevados dentro de su extensión en donde el agua fluye a través de una red hidrográfica de cauces que convergen en uno principal hasta una salida que puede ser el mar u otro cuerpo interior, y que la subcuenca obedece esta misma definición, la delimitación en el presente estudio resultó de relevancia.

Diversos estudios han abordado distintas temáticas en el territorio que comprende la cuenca del río Alto Atoyac (CAA). En algunos de estos trabajos se identifica que su conformación incluye las subcuencas de los ríos Zahuapan, Alseseca y la presa Manuel Ávila Camacho (DOF, 2011a; Altieri, 2019; CONAHCYT, 2023). Sin embargo, en ciertos casos no se establece una distinción clara entre la cuenca del Río Atoyac y la del río Alto Atoyac (Rodríguez-Tapia et al., 2012), siendo esta última únicamente una porción de la cuenca del Río Atoyac.

Algunos otros estudios o análisis, que incluso llegan a conclusiones y resoluciones jurídicas como lo hace la CNDH (2017), realiza una recomendación y responsabiliza a las autoridades de 2 municipios del estado de Puebla y 3 de Tlaxcala, a los gobiernos de ambos estados y diferentes

dependencias de gobierno federal; hace el análisis de la contaminación en el río Atoyac estrictamente dentro de los límites municipales de acuerdo a la denuncia que recibieron por parte de algunas OSC. Siendo que la problemática obedece a límites de cuencas y no límites políticos.

De manera similar, diversas investigaciones han examinado las condiciones de calidad del agua en la subcuenca del Río Atoyac-SMT, considerando parte de su análisis la problemática existente posterior al punto de confluencia con el río Zahuapan, aunque excluyendo la subcuenca de dicho afluente (Sandoval et al., 2009).

En este mismo sentido, la propia CONAGUA publicó la clasificación del río Atoyac (DOF, 2011a), con dos errores muy evidentes, el primero de ellos, que es de forma, fue que se le nombró: *Declaratoria de clasificación de los ríos Atoyac y Xochiac o Hueyapan, y sus afluentes*; no obstante, únicamente se clasifica el tramo del río correspondiente a la cuenca del río Alto Atoyac, cuando la longitud de esta porción del río no llega a un tercio de su longitud total. El segundo error, que es de fondo, fue el no considerar la cuenca del río Zahuapan en dicha clasificación, siendo uno de los principales afluentes de la cuenca del Alto Atoyac, e influye significativamente en el volumen y la calidad del agua al unirse ambos cuerpos de agua.

Aunado a lo anterior, en los estudios de control se le denomina río Atoyac y sus afluentes, considerando la última estación de monitoreo la entrada del río al vaso de la presa Manuel Ávila Camacho, cabe recordar que el río, dentro de la cuenca del Atoyac, alcanza una longitud de 373 km hasta los límites con Puebla y Guerrero, mientras que en el tramo comprendido en la cuenca del Alto Atoyac recorre solamente 108.65 km (DOF, 2011a; CONAGUA, 2020c).

Por supuesto que es válido denominar una zona de estudio como más convenga, sin embargo, la propia CONAGUA delimitó, caracterizó, clasificó y publicó en el DOF en el mes de enero de 2011 las cuencas de la RH 18 Balsas para realizar la GIRH (DOF, 2011b), y la

clasificación del río Atoyac se publicó en el mes de julio del mismo año, con criterios muy diferentes, de tal forma que en la clasificación del río no se consideraron los estudios y lineamientos previamente publicados, como lo es el nombre de la cuenca.

Por ello, fue conveniente delimitar la zona de estudio, donde se cumplió con la definición de cuenca, y las localidades de interés se encuentran dentro de ella, y los resultados permitieron determinar que las aguas y descargas de la cuenca del río Zahuapan no se incorporan al río Atoyac en el sector correspondiente a los municipios objeto de estudio, y por otro lado, sí afectan todas las aguas residuales que escurren de aguas arriba, tanto las municipales como las no municipales.

¿Y porqué es importante delimitar la zona? La respuesta está en la calidad del agua, dado que diferentes estudios no han aislado la problemática de cada una de las subcuencas o microcuencas, de tal manera, que no hay una diferencia en el análisis después de que pasa por una ciudad, parque industrial, o una zona agrícola; llegando a conclusiones parciales.

Este caso se puede notar en la recomendación de la CNDH por la afectación a los derechos humanos a un medio ambiente sano y al saneamiento del agua, por la contaminación de los ríos Atoyac, Xochiac y sus afluentes, determina que el problema está en 5 municipios, 2 de Puebla y 3 de Tlaxcala, excluyendo el territorio de la cuenca aguas arriba -donde también se originan contaminantes y llegan a los municipios afectados- y el territorio de la cuenca aguas abajo -que es a donde fluyen los contaminantes-, y cabe preguntarse ¿acaso las poblaciones y municipios aguas abajo y aguas arriba no tienen los mismos derechos?, considerando que posterior a la confluencia con el Zahuapan, las descargas al Atoyac son mayores -con la consecuente concentración de contaminantes- derivado de la presencia de localidades y ciudades con alta densidad de habitantes y unidades económicas -como la industria-.

Por lo anterior, es importante señalar que en la recomendación dada a cada una de las autoridades involucradas, incluyendo a los municipios, se establece el “elaborar e implementar un Programa Integral de Restauración Ecológica o de Saneamiento de la cuenca del Alto Atoyac” (CNDH, 2017, pags. 175, 177, 182, 186, 189, 193, 197 y 204) y nuevamente surge la pregunta ¿sólo estos municipios son las responsables de la contaminación en la cuenca del Alto Atoyac?

De tal manera, al realizar un análisis de cuenca, donde el estado de Puebla ocupa casi tres cuartos del territorio, de no ser por la décima parte que ocupa el Estado de México, y Tlaxcala ocupa otro cuarto; pero si se habla de municipios, como normalmente sucede, 44 % son de Tlaxcala y 40 % de Puebla, y si se consideran a las localidades 68 % son de Puebla y 30 % de Tlaxcala; sin embargo, es importante hacer énfasis sobre la población existente en cada uno de los estados, donde 84 % se ubica en el territorio de los municipios del estado de Puebla y 14 % en el de Tlaxcala, y ni qué hablar del Estado de México, que cuenta con sólo 1.4 %.

De tal forma, que estos números nos dan un contexto muy diferente, dado que las localidades son de las principales generadoras de descargas de aguas residuales, y si se considera que cada persona en la cuenca tiene un consumo promedio similar de agua y que de ese consumo, un porcentaje se descarga como agua residual, se puede inferir que las descargas municipales provenientes del estado de Puebla representan el 84 % del volumen total, mientras que las generadas en Tlaxcala corresponden al 14 %.

Por otro lado, y en el mismo sentido, con relación al DENUE, se encontró que existen 25,436 establecimientos económicos en la cuenca de estudio, de los cuales 84.44 % se encuentran en el estado de Puebla, 14.26 % en Tlaxcala y sólo 1.28 % en el Estado de México; sin embargo, estos establecimientos comprenden desde uno hasta más de 251 empleados, y en su mayoría, estos

establecimientos no generan un volumen considerable de aguas residuales provenientes de sus procesos productivos, sino únicamente por servicios.

Por lo anterior, se realizó la selección y categorización de establecimientos, encontrando que existen 464, que por su tamaño y su clasificación, existe la posibilidad de que generen descargas considerables de aguas residuales, tanto por actividades de servicio como por procesos productivos; encontrando que 90 % están en el estado de Puebla, poco menos del 8 % en Tlaxcala y prácticamente 2 % en el Estado de México.

Con esto, se observa que la proporción de población y de establecimientos económicos por entidad federativa es prácticamente coincidente, correspondiendo 84 % a Puebla, 14 % a Tlaxcala y poco más del 1 % al Estado de México, y una vez seleccionados y categorizados los establecimientos o unidades económicas, como se menciona en el párrafo anterior, éstos se incrementan en el estado Puebla, lo que significa que de los establecimientos con más de 31 empleados, se han asentado en mayor proporción en el estado de Puebla.

A partir de esta información, y asumiendo que la descarga de las empresas pudiera ser en promedio la misma para un cierto número de empleados, además de la presunción de la descarga de las localidades, se puede deducir que el volumen de descarga en el estado de Puebla es prácticamente seis veces superior al que se pudiera registrar en Tlaxcala.

Hacer referencia de los recorridos de campo es relevante, dado que permitió identificar algunas de las fuentes de contaminación en el río, entre las cuales se localizaron principalmente ocho descargas de aguas residuales, donde aparentemente sólo dos son de origen industrial y seis municipal, sin embargo, por la apariencia y lo obtenido de las encuestas con las poblaciones aledañas, las dos descargas de San Baltazar Temaxcalac y la de San Mateo Ayecac, contienen, en gran medida, descargas de origen industrial, que deberían ser supervisadas y controladas por la

autoridad municipal. De tal forma, se puede considerar que cinco descargas contienen residuos industriales y sólo tres de ellas son municipales, sin descartar, que éstas últimas, contengan alguna proporción de origen industrial.

Dentro de la GIRH se encuentra la administración de las aguas, que incluyen a las descargas de aguas residuales que, conforme a la normativa, deben contar con permiso para ser descargadas en cuerpos receptores de propiedad nacional por parte de la CONAGUA, donde se consideran las condiciones particulares de descarga, es decir, los parámetros y límites máximos de descarga que debe contener el agua antes de ser descargada.

De esto, y a pesar de la estimación realizada, la información disponible en la base de datos del REPDA presenta ciertas limitaciones al no contar con las coordenadas de descarga, por lo que se consideraron los municipios completos en la zona de estudio, encontrando información sólo de 14, de los 23 posibles entre Puebla y Tlaxcala, ya que para el Estado de México no se cuenta con datos relacionados con permisos de descarga en la cuenca del río Balsas. Debido a esto, la estimación se ve afectada por la falta de información.

Así pues, en los municipios con información existen 144 descargas que cuentan con su permiso, 115 corresponden al estado de Puebla y 29 al de Tlaxcala, de éstos, el mayor volumen de descarga corresponde al uso público urbano con 73.13 Mm³/año, seguido del uso industrial, que alcanza 6.49 Mm³/año.

Al observar que el uso público urbano cuenta con un gasto permitido de 11 veces mayor que el del uso industrial, y que los permisos no cuentan con un apartado que registre la calidad del agua residual antes de su tratamiento, no se puede argumentar si alguno de los usos contamina más que el otro, dado que por el volumen se podría interpretar que el uso público urbano es el más contaminante, lo cual es muy aventurado.

Con esta información, y regresando a las localidades encontradas en la zona de estudio, que son 335, para el uso público urbano debería existir al menos el número de permisos como municipios existentes (27), y éstos deberían sumar 335 anexos de descargas¹². Sin embargo, existen 37 descargas con permiso en toda la cuenca de estudio, lo cual nos puede indicar inconsistencias en la información del REPDA o que existen descargas irregulares o sin permiso.

Asimismo, se puede analizar la información sobre descargas provenientes de los usos no municipales, como lo es el industrial, de servicios, acuacultura y pecuario, que en conjunto suman 106 descargas con permiso. Pero si regresamos a la interpretación de los datos del DENUE, en la cuenca de estudio existen al menos 464 establecimientos que podrían generar descargas de aguas residuales.

En este contexto, menos de una cuarta parte de dichos establecimientos cuentan con permiso. No obstante, muchas de estas descargas podrían estar dirigidas a los sistemas de alcantarillado municipal, lo que atenúa la responsabilidad de los establecimientos ante la CONAGUA. Sin embargo, bajo esta premisa no se puede ser concluyente con la información encontrada en el REPDA y ser comparada con el DENUE.

Por otro lado, es interesante traer a cuenta el gasto de descarga que tiene registrado el REPDA comparado con el registro del gasto del río al final de la cuenca de estudio, el cual se analizó en el apartado de resultados, y que permite observar que el gasto del río Atoyac se debe principalmente a las descargas de aguas residuales, especialmente en temporada de estiaje. Lo que se ve reforzado por el análisis realizado líneas arriba, tanto de las descargas municipales como de

¹² Si dos localidades o más descargaran en el mismo punto, se podría reducir el número de permisos, sin embargo, en la realidad la mayor parte de las localidades cuentan con más de una descarga.

las no municipales, en donde pareciera que existen más descargas de las registradas y que cuentan con permiso, por lo que se considera probable que el volumen de descargas sea mayor al registrado, reafirmando que el gasto principal en el río, en época de estiaje, es de las descargas de aguas residuales.

Por otro lado, tenemos las PTARs municipales, que son una de las principales materias del presente estudio y que deberían tener una relación directa con la calidad del agua en el río.

De lo cual, como se comentó en el apartado de resultados, se encontró que a 2022 existían 48 PTARs, y 37 de ellas no se encontraban en funcionamiento, a pesar de tener una capacidad instalada de $0.406 \text{ m}^3/\text{s}$, y sólo 11 estaban activas con una capacidad de $0.367 \text{ m}^3/\text{s}$, sin embargo, el caudal tratado se reportó en $0.236 \text{ m}^3/\text{s}$. Y si consideramos el gasto registrado de las descargas con permiso, éste es de $2.31 \text{ m}^3/\text{s}$ para el uso público urbano, lo que el gasto tratado en las plantas representa sólo 10.21 % del gasto registrado, y que, a pesar de las limitantes ya mencionadas, el gasto municipal tratado es insignificante, con el agravante de que el gasto del uso público urbano con permiso de descarga es el 86.8 % del total registrado en los permisos de descarga.

Por su parte, y sin ser parte esencial de esta investigación, se obtuvo información relativa a la infraestructura destinada al saneamiento de aguas residuales no municipales, encontrando que existen 72 PTARs en los municipios que forman parte de la zona de estudio, todas ellas en operación con un gasto de $0.225 \text{ m}^3/\text{s}$, gasto similar al de las PTARs municipales en operación ($0.236 \text{ m}^3/\text{s}$), gasto que representa prácticamente 63 % del gasto registrado para los usos no municipales ($0.352 \text{ m}^3/\text{s}$).

En este punto es importante enfatizar que esta información es exclusivamente para la subcuenca de estudio y no se contempló la subcuenca completa del Río Atoyac-SMT, y tampoco está considerada la subcuenca del río Zahuapan, ya que no se trata de analizar la cuenca del río

Alto Atoyac en su totalidad, por lo que sólo se consideró la porción de los municipios de los tres estados que se encuentran en territorio de la zona de estudio.

Por otra parte, el comprender cómo las personas perciben su entorno es fundamental para tomar decisiones informadas en el manejo y la conservación de los recursos naturales, por ello, en la encuesta realizada, resalta la percepción de las personas entrevistadas, que coinciden en que el río Atoyac está muy contaminado desde su ingreso al estado de Tlaxcala, en la comunidad de Villa Alta, y hasta pasar la localidad de San Miguel Xochitecatitla, situación que concuerda con estudios realizados, al obtener como resultado que las aguas del río Atoyac se encuentran contaminadas (Rodríguez, 2010; CONAGUA, 2020c; Hernández-Rodríguez, 2022; CONAHCYT, 2023).

Además de lo anterior, la información de la RENAMECA confirma la contaminación existe en el río en las tres estaciones seleccionadas, donde, la estación en el río a la entrada al estado de Tlaxcala, los valores de la DQO siempre están por arriba del valor de aceptable y el valor del coeficiente de determinación (R^2) indica que no hay una tendencia de los datos, misma situación que se presenta en las estaciones, ubicadas antes de las confluencias con los ríos Xochiac y Zahuapan, donde el valor de R^2 es cercano a cero, lo que significa que no tienen una tendencia.

Llaman la atención los datos que normalmente están por arriba de los 100 mg/L de DQO y existen picos con valores de 700 y hasta 1,200 mg/L, cuando el valor de aceptable está en máximo 40 mg/L, conforme al criterio de los indicadores de calidad del agua superficial y subterránea usado por la CONAGUA (2020d).

De tal forma que, las personas perciben la contaminación del río y el alto nivel que se tiene, además, identifican como fuentes de contaminación las descargas industriales, municipales y los desechos depositados en el cauce, considerándolo un problema persistente que supera los 24 años, donde incluso personas jóvenes de estas comunidades no conocieron el río sano.

En los resultados de la investigación, la percepción que es subjetiva, y el fenómeno que está ocurriendo en el río, que es objetivo, coinciden, lo cual es fundamental para tomar decisiones y llevar a cabo las acciones necesarias para solventar las deficiencias que provocan la contaminación del agua en el cauce, -llámese política, normatividad, presupuesto, tecnología, programa, obras o participación- y que a pesar de esta situación y de los intentos realizados para ello, no se ha sido lo más adecuado para tener un río sano.

Este contexto, donde coinciden el fenómeno y la percepción, se torna relevante la opinión pública sobre el tema, ya que puede amenazar la percepción de la población sobre las autoridades en funciones, de tal forma que los tomadores de decisiones debieran tomar acción para revertir el hecho. Situación muy diferente donde las personas no perciben algún hecho, como la presencia de algunas sustancias potencialmente tóxicas en el aire, y que se haya comprobado con estudios, que pudiera generar enfermedades, pero si no se percibe por la población, normalmente no hay acción de las autoridades.

Sobre los temas tratados en la encuesta, la mayor parte de la población tienen conocimiento de ello, sin embargo, y por el contrario, cuando se les preguntó sobre el conocimiento de la existencia de PTARs municipales, sólo poco menos de la mitad de las personas saben que existen, y de éstas, sólo poco menos del 10 % contestaron que las plantas se encuentran en operación, de tal forma, sumando a las personas que desconocen la existencia de las PTARs y las que saben que existen, pero no que están operando, se puede inferir, que 91 % de las personas desconocen que existen la plantas de tratamiento y que operan.

Es importante señalar que los habitantes consideran como la principal fuente de contaminación a la industria en la zona y a la manufactura de pantalón de mezclilla en las

localidades de San Baltazar Temaxcalac y San Mateo Ayecac, pero no por las descargas de los domicilios.

Las descargas de las PTARs municipales que existen en el estado de Tlaxcala, en la zona de estudio, vierten sus aguas a canales de riego, por tanto, no contribuyen a la contaminación directamente en el cauce del río, de tal forma que se busca realizar una gestión del agua en la cuenca. Sin embargo, derivado del análisis que se realizó al inicio del presente trabajo, las descargas y las cargas de contaminantes principales a nivel nacional, se deben a las descargas no municipales.

Por otra parte, localidades como San Mateo Ayecac y San Baltazar Temaxcalac, las descargas de aguas residuales son combinadas, lo que significa que los sistemas de alcantarillado reciben las descargas de las casas habitación -para las que fueron diseñados y construidos los sistemas de recolección de aguas residuales-, junto con las aguas de las industrias que se ubican en la población o en los alrededores, con el visto bueno de las autoridades municipales o el desconocimiento de ello. Con esta situación, las autoridades estatales y federales se deslindan de actuar, dado que se aduce es una responsabilidad de los municipios conforme al artículo 115 constitucional.

A partir de la integración entre el marco teórico y los resultados obtenidos en el estudio, es posible derivar diversas reflexiones en torno a la problemática del saneamiento del río Atoyac y sus implicaciones en la gobernanza del recurso hídrico en la región. La discusión de los resultados se puede articular en torno a los siguientes ejes: la centralización de la administración del agua, la implementación y eficacia de las políticas ambientales, la infraestructura de saneamiento, los procesos de gobernanza colaborativa y la percepción social, todo lo cual aporta evidencia empírica

que permite validar, contrastar y, en algunos casos, poner en cuestión las postulaciones teóricas establecidas.

El marco teórico propone que la centralización en la administración del agua limita la capacidad de acción y la autonomía de los gobiernos municipales. Los resultados reflejan que: se evidenció que la infraestructura de tratamiento de aguas residuales (PTARs) municipal se encuentra operando a niveles muy inferiores a la capacidad instalada. Por ejemplo, en el estado de Puebla solamente 37.5 % de las PTARs registradas estaban en operación, mientras que en Tlaxcala la operatividad alcanzaba cifras aún más bajas en el periodo evaluado. Esta situación corrobora la hipótesis teórica de que la centralización genera una vulnerabilidad en la gestión local, afectando no solo la eficiencia de las acciones de saneamiento, sino también la implementación de normativas y la oportuna asignación de recursos—aspectos esenciales para un manejo sustentable del agua. En consecuencia, el análisis sugiere la necesidad de revisar el modelo centralista para potenciar la participación y capacidad técnica de las administraciones locales, tal como lo establece el enfoque de GIRH.

La revisión del marco teórico enfatiza que las políticas ambientales y de saneamiento, se fundamentan en un cuerpo normativo que incluye instrumentos legales claves (como los artículos de la CPEUM y las normas correspondientes) y programas estratégicos (como PROAGUA). Sin embargo, los resultados de este estudio indican que, pese a la existencia de un robusto marco legal, la realidad operativa es muy diferente, puesto que:

- Los niveles de contaminación del río, determinados a través de la DQO, exceden los límites aceptables de calidad, lo cual pone de manifiesto fallas en la aplicación y seguimiento de la normativa vigente.
-

-
- La revisión de permisos de descarga mostró discrepancias entre el gasto registrado de aguas residuales y la cantidad de agua que circula en el río, sugiriendo problemas en la inspección y en la medición de impactos reales.

Estos hallazgos evidencian que las políticas públicas, si bien están diseñadas con fundamentos teóricos sólidos, se ven mermadas en su efectividad por deficiencias en la coordinación interinstitucional, la insuficiente aplicación de sanciones y la falta de mecanismos de monitoreo que aseguren el cumplimiento de los límites establecidos.

La teoría sobre gobernanza colaborativa, basada en modelos como el propuesto por *Ansell y Gash (2008)*, destaca que la resolución de problemas ambientales complejos requiere la participación coordinada y transparente entre organismos públicos, privados y la sociedad civil. Los resultados del estudio reflejan en diversos niveles la carencia de este enfoque integrador.

Las entrevistas y encuestas a actores institucionales revelan que, a pesar del reconocimiento de la existencia de marcos normativos y de ciertos programas (como el PAS y el PROAGUA), no se ha logrado una coordinación eficaz entre el gobierno federal, estatal y municipal.

La percepción de los habitantes ribereños, quienes evidencian la ausencia de mecanismos de participación ciudadana y la poca relación entre las decisiones de planeación y las necesidades locales, refuerza la idea de que la gobernanza tradicional centralizada resulta insuficiente para abordar la complejidad del problema.

El resultado es una gobernanza fragmentada donde la desarticulación entre niveles y actores impide que se aproveche el potencial de la inteligencia colectiva y la experiencia local, aspectos que, según el marco teórico, son necesarios para diseñar soluciones innovadoras y adaptativas al cambio.

La revisión de la infraestructura tanto municipal como no municipal revela importantes brechas en la capacidad operativa, entre las que destaca: el ámbito municipal, el contraste entre la capacidad instalada y el caudal realmente tratado señala no solo el deterioro de la infraestructura existente, sino también la urgencia de rehabilitar y, en muchos casos, modernizar las plantas de tratamiento.

Por otro lado, el análisis de las PTARs no municipales muestra que, si bien en algunos casos la capacidad operativa supera al 90 %, los problemas en la infraestructura pública inciden directamente en la contaminación que sufre el río.

En términos teóricos, este déficit operacional se enmarca en la falta de sinergia entre el diseño de las políticas públicas y la ejecución técnica de las mismas, una desconexión que genera un impacto directo en la calidad del agua y, por ende, en la salud pública y en el ecosistema.

El marco teórico también se adentra en la importancia de la percepción ambiental, tomando como referencia contribuciones filosóficas y psicológicas que sostienen que la manera en que los actores interpretan su entorno influye en la toma de decisiones y en la implementación de políticas. Los resultados muestran que la gran mayoría de los habitantes encuestados percibe el río Atoyac como *muy contaminado* y asocia la responsabilidad tanto con las descargas industriales como municipales.

Esta percepción se traduce en una demanda por una mayor intervención por parte de los tres niveles de gobierno y de mecanismos que inviten a la participación de la comunidad para la toma de decisiones.

Estos hallazgos resaltan que, además de los desafíos técnicos y administrativos, existe una dimensión social y cultural que debe ser abordada para lograr una gobernanza efectiva y

democrática. La incorporación de la sociedad en los procesos de monitoreo y en la verificación del cumplimiento de normativas es fundamental para cerrar la brecha entre la teoría y la práctica.

4.6 Propuesta de modelo de gobernanza colaborativa para el saneamiento de aguas residuales en la subcuenca del Río Atoyac-SMT

A partir de los resultados obtenidos y el análisis de la política ambiental de saneamiento, queda claro que el modelo centralizado de gestión hídrica tiene serias limitaciones para enfrentar de manera efectiva la contaminación en esta región. Como se ha documentado, la concentración de la planeación, regulación y fiscalización en la autoridad federal, sumada a la falta de recursos técnicos, financieros y administrativos en los municipios, ha generado problemas significativos: el mal funcionamiento de las PTARs, elevadas concentraciones de contaminantes en los cuerpos de agua y efectos graves para la salud de los habitantes de las localidades ribereñas.

Ante esta situación, se reconoce la importancia de establecer un modelo de gobernanza colaborativa que permita integrar de manera efectiva la participación de los diferentes niveles de gobierno, los sectores sociales, los usuarios del agua y las organizaciones civiles. Este modelo se basa en los principios de corresponsabilidad, transparencia, diálogo constante y toma de decisiones compartida. En esencia, responde a la premisa de que la gestión de los recursos naturales, entre ellos el agua, requiere estructuras de gobernanza flexibles, inclusivas y capaces de resolver disputas entre los actores involucrados (Ansell y Gash, 2008).

Para implementar este modelo se propondría la creación de un consejo o comité de cuenca del río Alto Atoyac o en su defecto de la Subcuenca del Río Atoyac-SMT -situación que se contempló en la estructura del CCRB (CCRB, 2009), sin embargo, nunca operó-. Este consejo

reuniría a representantes de CONAGUA, secretarías federales y estatales de medio ambiente y agua y el sector salud, municipios, comités comunitarios, organizaciones civiles, usuarios industriales, agrícolas, pecuarios, de servicios y público urbano e instituciones académicas. Con la finalidad de lograr la restauración ambiental y lograr una gestión integrada de los recursos hídricos, a través de la revisión y autorización de la clasificación de los cuerpos receptores en la cuenca para que la autoridad del agua imponga CPD's, gestione recursos, y realice monitoreo ciudadano del cumplimiento de la normativa aplicable.

Como complemento, se propone la creación de grupos técnicos con la finalidad de obtener diagnósticos concretos y propuestas de solución viables, conformados por especialistas en ingeniería ambiental, hidrología, salud pública, gestión pública, sociología y representantes sociales. Estos grupos tendrían la responsabilidad de analizar las fuentes contaminantes, evaluar el funcionamiento real de las plantas de tratamiento y diseñar soluciones (CONAGUA, 2022).

Con el objeto de fortalecer la vigilancia de la calidad del agua, se propone la implementación de un sistema de monitoreo, que combine las tecnologías de laboratorios oficiales y universidades con brigadas comunitarias capacitadas. Los datos generados se publicarían en una plataforma digital de acceso abierto, en línea con los principios de transparencia y rendición de cuentas (Lezama, 2010).

En términos financieros, se sugiere la creación de un fondo para el saneamiento de los cuerpos de agua, financiado con aportaciones del gobierno federal, recursos estatales y municipales, aportaciones de usuarios del agua, así como la búsqueda de donaciones de organismos nacionales e internacionales (SEMARNAT, 2021). Este fondo permitiría la rehabilitación y operación de las PTARs, el mantenimiento de infraestructura, proyectos de restauración ecológica y campañas de educación ambiental.

Por último, se destaca la relevancia de establecer un programa integral de educación ambiental, dirigido a comunidades, usuarios del agua, con la finalidad de sensibilizar sobre los riesgos de la contaminación, fomentar el cuidado del agua, promover la denuncia de descargas de aguas residuales clandestinas y promover la participación ciudadana. Además de concientizar a la población de la búsqueda de separar las aguas residuales de las pluviales, el uso de baños secos, construcción de PTARs pequeñas, buscando la reducción del gasto en las descargas.

Este modelo de gobernanza colaborativa, basado en la inclusión, el diálogo, la corresponsabilidad y la transparencia, representa una vía para fortalecer la GIRH, mejorar la calidad del agua y garantizar la sustentabilidad de los ecosistemas en la subcuenca.

CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

La subcuenca del Río Atoyac-SMT enfrenta una profunda crisis socioambiental derivada de décadas de contaminación, fragmentación institucional y desarticulación territorial. A pesar de contar con infraestructura de tratamiento y un marco normativo que promueve el manejo integral del recurso hídrico, la persistencia de altos niveles de contaminación, la ineficiencia en la operación de las plantas de tratamiento y la exclusión de las comunidades locales del proceso de toma de decisiones evidencian la ineficacia del modelo actual de gestión del agua. Desde los hallazgos de esta investigación, se reconoce que el problema no es únicamente técnico, sino estructural, vinculado a una configuración institucional centralizada, a la débil articulación entre niveles de gobierno y a la exclusión de los saberes territoriales. Frente a este escenario, emergen alternativas de solución que requieren una transformación sustantiva en la forma en que se planifica y se gestiona el saneamiento: fortalecer la autonomía municipal con recursos y capacidades, establecer mecanismos de gobernanza colaborativa con participación efectiva de los actores comunitarios, incorporar indicadores cualitativos de evaluación ambiental y revalorizar el agua como bien común. Estas propuestas, más que corregir fallas operativas, buscan sentar las bases de un nuevo pacto territorial basado en la equidad, la justicia ambiental y la sustentabilidad.

La discusión de los resultados a partir del marco teórico permite concluir que la centralización de la administración del agua ha limitado la efectividad de la implementación de la política ambiental y de saneamiento en la región. Esta limitación no es simplemente una cuestión operativa, sino que responde a una configuración institucional que inhibe la acción conjunta de los actores territoriales. A pesar de los avances legislativos y los esfuerzos declarativos por impulsar la descentralización, la toma de decisiones en torno al manejo del agua continúa concentrándose

en organismos federales, en particular la CONAGUA, que opera como entidad reguladora, ejecutora y, paradójicamente, como árbitro de su propio desempeño. Esta acumulación de funciones genera un conflicto estructural que, lejos de facilitar una gestión efectiva, propicia la opacidad, la falta de corresponsabilidad y la dispersión de esfuerzos. La imposibilidad de fiscalizar adecuadamente los resultados, sumada a la debilidad de los sistemas de información pública, genera un ambiente institucional en el que la planeación hídrica no refleja las necesidades reales del territorio, sino que responde a lógicas burocráticas alejadas del principio de integralidad territorial.

En este contexto, la política ambiental de saneamiento implementada en la subcuenca del Río Atoyac-SMT se enfrenta a una doble paradoja: por un lado, cuenta con un andamiaje normativo y técnico sólido, inspirado en modelos internacionales de manejo integral del recurso hídrico y en la visión de gobernanza colaborativa; por otro lado, su aplicación se encuentra fragmentada, desactualizada y carente de adaptabilidad. Uno de los hallazgos más significativos del presente trabajo es que la mayor parte de las plantas de tratamiento construidas para el saneamiento de aguas residuales municipales en la zona de estudio no operan conforme a su capacidad instalada, algunas por falta de mantenimiento, otras por insuficiencia presupuestal y muchas más por no haber sido diseñadas en congruencia con las dinámicas territoriales del crecimiento urbano y las necesidades reales de las comunidades. La lógica de construcción de infraestructura vista como sinónimo de avance en la política pública, ha dejado de lado los criterios de efectividad ambiental, de cobertura funcional y de mejora continua, lo cual genera una disociación profunda entre los objetivos declarados y los impactos reales.

La calidad del agua en el río Atoyac, medido a través de indicadores como la DQO, refleja de forma contundente la ineficiencia del sistema de tratamiento de aguas residuales. Lejos de mostrar una tendencia positiva, los valores registrados continúan rebasando los límites permisibles, evidenciando no solo fallas en el proceso de saneamiento, sino también la falta de monitoreo y seguimiento por parte de las instancias responsables. En este sentido, se pone de manifiesto que la política de saneamiento ha sido ejecutada de manera reactiva, es decir, respondiendo a presiones sociales o mediáticas más que a un diagnóstico técnico del sistema hídrico. Este tipo de política reactiva favorece la improvisación, la asignación inequitativa de recursos y la falta de continuidad de los proyectos, lo cual debilita la credibilidad institucional y reduce la capacidad de la población para involucrarse de manera informada y comprometida con la protección del río.

A esto se suma la evidente debilidad en la coordinación entre los distintos niveles de gobierno. El modelo actual reproduce una estructura jerárquica en la que las decisiones se toman desde la federación, los recursos se asignan de forma discrecional y los municipios, que son quienes enfrentan directamente los efectos de la contaminación del agua, tienen escasa capacidad para incidir en las políticas públicas. Esta desarticulación se traduce en una gestión fragmentada, donde los proyectos de saneamiento avanzan de forma desigual, sin una visión común, sin mecanismos claros de rendición de cuentas y sin metas compartidas a largo plazo. La falta de sinergia entre instituciones no solo obstaculiza la operación de las PTARs, sino que también impide el desarrollo de una estrategia territorial que contemple las interrelaciones entre lo ecológico, lo productivo y lo social.

El marco de gobernanza colaborativa, propuesto como alternativa para superar las limitaciones del modelo jerárquico, no ha logrado consolidarse en la práctica. Aunque en el

discurso oficial se promueve la participación ciudadana, la creación de consejos de cuenca y la coordinación interinstitucional, en la realidad estos espacios operan de forma limitada, sin capacidades reales de incidencia y, en muchos casos, sin la presencia efectiva de actores comunitarios o técnicos que puedan sostener una agenda de transformación. Las comunidades ribereñas continúan marginadas del proceso de toma de decisiones, y su conocimiento territorial, sus prácticas de cuidado del agua y sus demandas históricas son sistemáticamente invisibilizadas por los dispositivos técnicos que rigen la política ambiental. Esta exclusión no solo es injusta desde el punto de vista social, sino que también reduce la eficacia de las acciones implementadas, pues se pierden oportunidades valiosas para construir soluciones adaptadas al contexto, legítimas ante la población y sustentables.

Los resultados del trabajo de campo refuerzan la necesidad de reconfigurar el modelo de gestión del agua a partir de las epistemologías del sur, que valoran los saberes locales, las prácticas comunitarias y las experiencias territoriales como fuentes válidas de conocimiento. La percepción de los habitantes ribereños, que asocian la contaminación del río tanto con las descargas municipales como con las industriales, y que demandan una mayor intervención gubernamental y mecanismos efectivos de participación, constituye un llamado urgente a replantear el enfoque actual. Las comunidades no solo padecen los impactos de la contaminación, sino que también manifiestan una clara disposición a involucrarse en la solución, siempre que existan canales reales para hacerlo y que se respeten sus tiempos, sus formas organizativas y sus prioridades. La participación no puede reducirse a la consulta simbólica; debe traducirse en procesos vinculantes, en mecanismos de co-gestión y en acciones concretas de fortalecimiento de las capacidades locales.

El desafío de mejorar la calidad del agua en la subcuenca del Atoyac no se resuelve únicamente con más infraestructura o con mayores sanciones. Se requiere una transformación profunda en la forma en que se entiende, se planifica y se gestiona el recurso hídrico. Esta transformación pasa por reconocer al agua como un bien común, cuyo manejo debe estar guiado por principios de equidad, justicia territorial y sustentabilidad. Implica también asumir que el saneamiento no es un asunto técnico aislado, sino un proceso complejo que involucra relaciones de poder, disputas territoriales, desigualdades estructurales y tensiones entre distintos modelos de desarrollo. La contaminación del río Atoyac no es un accidente ni un fenómeno natural; es el resultado de decisiones políticas, de omisiones institucionales y de un modelo económico que ha privilegiado el crecimiento industrial por encima de la vida comunitaria y del equilibrio ecológico.

Para avanzar hacia una solución estructural, es necesario fortalecer las capacidades institucionales de los municipios, pero esto no puede hacerse sin modificar simultáneamente las reglas de operación de los programas federales, las fórmulas de financiamiento y los mecanismos de distribución de responsabilidades. La autonomía municipal en materia de agua, reconocida en el artículo 115 constitucional, debe ir acompañada de recursos suficientes, de asistencia técnica permanente y de esquemas de gobernanza que permitan la toma de decisiones conjuntas. De lo contrario, los municipios seguirán siendo los responsables formales del tratamiento de las aguas residuales, pero carecerán de las condiciones mínimas para cumplir con esta atribución, perpetuando con ello la inoperancia de las plantas de tratamiento, la descarga continua de contaminantes en los cuerpos de agua y la exposición de las poblaciones más vulnerables a riesgos sanitarios y ambientales. A esta situación se suma la falta de mecanismos de rendición de cuentas efectivos, lo cual permite que las ineficiencias se reproduzcan sin consecuencias, y que la ciudadanía no cuente con información suficiente ni actualizada sobre la calidad del agua, el

funcionamiento de las PTAR's o la aplicación de sanciones por incumplimiento de la normatividad.

El caso de la subcuenca del Río Atoyac-SMT pone de relieve también las contradicciones del modelo de desarrollo dominante, que ha promovido la instalación de parques industriales, corredores logísticos y complejos urbanos sin considerar su huella hídrica ni la capacidad de carga de los ecosistemas locales. Las descargas de origen industrial, aunque no fueron el foco de esta investigación, representan una parte sustantiva del problema de contaminación, tanto en términos de volumen como de tipo de contaminantes. La escasa regulación de estas descargas, la debilidad de los instrumentos de inspección y vigilancia, y la permisividad institucional hacia los agentes económicos más poderosos, configuran un escenario de impunidad ambiental que contrasta con las sanciones aplicadas a pequeños usuarios o a comunidades que, por necesidad, descargan aguas sin tratar. Esta asimetría evidencia que la política ambiental, lejos de ser neutral, reproduce relaciones de poder que favorecen a ciertos actores en detrimento de otros, especialmente cuando se trata de poblaciones campesinas, indígenas o periféricas que no cuentan con representación institucional ni recursos para defender sus derechos.

Desde una perspectiva territorial crítica, es necesario replantear no solo la política de saneamiento, sino también el conjunto de políticas de desarrollo que inciden en la cuenca. El ordenamiento territorial debe asumir un enfoque ecosistémico, que reconozca la cuenca como una unidad funcional e integrada, y que subordine el crecimiento urbano e industrial al equilibrio hídrico y a la salud ambiental. Esto requiere una articulación efectiva entre los instrumentos de planeación urbana, los programas de manejo hídrico, las estrategias de salud pública y los esquemas de participación comunitaria. El territorio no puede seguir siendo tratado como un

soporte físico donde se colocan infraestructuras, sino como un sistema vivo de relaciones entre naturaleza y sociedad, donde el agua cumple una función estructurante tanto en lo ecológico como en lo cultural. Las acciones de saneamiento deben integrarse en una estrategia más amplia de restauración de la cuenca, que incluya la reforestación de márgenes, la recuperación de suelos degradados, el monitoreo comunitario de la calidad del agua y la promoción de prácticas agrícolas e industriales de bajo impacto.

Un aspecto clave identificado en el análisis es la necesidad de establecer indicadores alternativos para evaluar el desempeño de la política de saneamiento. Actualmente, los indicadores predominantes están centrados en el número de plantas construidas, los metros cúbicos tratados o el volumen de inversión ejercida, pero no consideran la remoción efectiva de contaminantes, la mejora en la salud de los ecosistemas o el acceso equitativo a agua limpia. Esta lógica cuantitativa, además de ser insuficiente, puede generar incentivos perversos, como la sobredimensión de plantas, la priorización de municipios políticamente rentables o la operación intermitente de sistemas para cumplir con metas sexenales. En cambio, se propone avanzar hacia indicadores cualitativos y mixtos que permitan medir la sustentabilidad de las intervenciones, la apropiación comunitaria de las soluciones y la eficacia ambiental en términos de reducción de riesgos y restauración del equilibrio hídrico. En este sentido, las experiencias de monitoreo ciudadano, la auditoría social de obras públicas y las evaluaciones participativas representan herramientas valiosas que deben ser reconocidas y fortalecidas por las autoridades.

Asimismo, el enfoque de derechos humanos, como se planteó en la Recomendación 10/2017 de la CNDH, debe ser transversal en toda la política de saneamiento. Esto implica reconocer que el derecho al agua no se limita al acceso físico, sino que incluye la calidad del

recurso, la asequibilidad del servicio, la disponibilidad continua y la no discriminación en su distribución. La contaminación del río Atoyac, al vulnerar estos principios, constituye una violación estructural de derechos, y, por tanto, su solución debe estar guiada por un enfoque de reparación integral, que considere tanto la restitución de las condiciones ambientales como el reconocimiento de los daños sufridos por las comunidades afectadas. Este enfoque exige un cambio en la relación entre el Estado y la ciudadanía, donde se pase de una lógica asistencialista y vertical a una lógica de corresponsabilidad, diálogo y justicia restaurativa. Las políticas públicas, en este marco, deben diseñarse no solo para atender un problema técnico, sino para reconstruir el vínculo entre las instituciones y los territorios, mediante procesos transparentes, inclusivos y sustentados en la verdad técnica y social.

La investigación realizada también sugiere la necesidad de construir una nueva institucionalidad para la gestión del agua en la cuenca, que supere la fragmentación actual y que permita una gobernanza colaborativa real. Esta institucionalidad debe ser flexible, adaptativa y capaz de integrar los múltiples niveles de gestión (local, municipal, estatal, federal), así como las diversas formas de conocimiento (técnico, comunitario, ancestral). Los comités de cuenca, si bien existen formalmente, requieren ser reconfigurados como un espacio deliberativo con atribuciones claras, recursos propios y mecanismos de vinculación directa con las decisiones presupuestarias y de planeación. La representatividad en estos espacios debe ser amplia, incluyendo a actores históricamente excluidos, como mujeres, jóvenes, pueblos originarios, trabajadores del agua, académicos y organizaciones sociales. De esta manera, se puede avanzar hacia una democratización efectiva del acceso al recurso y del poder de decisión sobre su uso y manejo.

Para que esta nueva institucionalidad sea funcional, no basta con reformas legales o nuevas estructuras organizativas; se requiere también una transformación cultural profunda en torno al valor del agua, su gestión y su relación con el territorio. Esto implica desmontar la idea de que el agua es un recurso que puede ser explotado sin límites y sustituirla por la noción de que el agua es un bien común que debe ser protegido colectivamente. Esta transformación no será posible sin procesos educativos, comunicativos y pedagógicos que promuevan una conciencia crítica, una ética del cuidado y una práctica cotidiana de corresponsabilidad, donde la revalorización de los saberes comunitarios sea la clave en un proceso que legitime soluciones locales, que desde su territorialidad aporten al manejo sustentable y justo del recurso hídrico.

En este marco, el concepto de sustentabilidad debe ser resignificado. No basta con prácticas técnicas de tratamiento o indicadores de eficiencia; se trata de replantear el modelo de relación entre sociedad y naturaleza. Sólo cuando la sustentabilidad ambiental parta del reconocimiento de los límites ecológicos, de la interdependencia entre los seres vivos y de la necesidad de una justicia ambiental que repare las desigualdades territoriales y los daños históricos causados por el extractivismo y la omisión institucional de la subcuenca del Río Atoyac-SMT, y en general la Gestión del Agua en México se convertirá en una política pública que resignifique el valor hídrico, en donde el vital recurso se sustente en el fortalecimiento de las capacidades comunitarias, la recuperación de los bienes comunes y la generación de alianzas intersectoriales que prioricen la vida sobre la rentabilidad económica.

Aunado a lo anterior, se hace urgente repensar el papel del Estado mexicano como único proveedor de soluciones, sino como facilitador de procesos de articulación social. Esto implica redistribuir los recursos, generar marcos normativos acordes a las características de ecosistemas

locales, descentralizar la toma de decisiones y garantizar condiciones para que los actores puedan ejercer su autonomía. Un Estado facilitador es aquel que promueve la innovación social, que reconoce los conflictos sin criminalizar la disidencia, que protege a los defensores del territorio y que asume una responsabilidad activa en la regeneración ecológica. En el caso del saneamiento, esto se traduce en apoyar a los municipios con financiamiento estable, en formar operadores capacitados, en asegurar la continuidad técnica de los proyectos, y en fortalecer los sistemas de monitoreo ambiental desde una lógica de control social y no sólo de vigilancia punitiva.

Por último, es imprescindible reconocer que la restauración del río Atoyac no es una tarea que pueda resolverse en un sexenio ni con un solo actor. Es un proceso de largo aliento que requiere una visión intergeneracional, basada en el cuidado mutuo y en el reconocimiento de que la salud de los ecosistemas es también la salud de los pueblos. Para ello, se debe asumir un compromiso ético y político que trascienda los ciclos administrativos, que genere memoria institucional, que incorpore procesos de sistematización de aprendizajes y que valore el trabajo acumulado por las comunidades y las organizaciones sociales. La construcción de una gobernanza sustentada en el bien común, en la justicia ambiental y en la equidad territorial es posible, pero requiere voluntad política, disposición al diálogo, inversión social y de la industria contaminante, además de una ruptura con las prácticas extractivas que históricamente han devastado nuestros ríos.

El presente trabajo demuestra que el saneamiento de las aguas residuales en la subcuenca del Atoyac-SMT no puede abordarse con soluciones parciales ni con diagnósticos fragmentados. Se necesita una mirada sistémica que reconozca la complejidad del problema, que articule las dimensiones técnica, social, política y ecológica, y que sitúe al agua en el centro de un nuevo pacto territorial. Este pacto debe construirse desde abajo, con las voces de quienes han sido

históricamente excluidos, y desde adentro, con los saberes que han resistido a pesar del abandono institucional. Así será posible restaurar no solo la calidad del agua, sino también la confianza, la esperanza y la dignidad de las comunidades que habitan la cuenca y garantizar el derecho colectivo a vivir en un ambiente sano, justo y sustentable.

Finalmente, es importante mencionar que en el presente estudio no se consideró un objetivo particular donde se contemplara la elaboración de una propuesta de gobernanza colaborativa, sin embargo, por ser un trabajo terminado no se creyó conveniente integrarlo.

Referencias Bibliográficas

- Agramont, A., Peres-Cajías, G., Villafuerte, L., van Cauwenbergh, N., Craps, M., & van Griensven, A. (2022). Framing water policies: A transdisciplinary study of collaborative governance in the Katari River Basin (Bolivia). *Water*, 14(3750), 1–21. <https://doi.org/10.3390/w14223750>
- Aguilar-Barojas, S. (2005). Fórmulas para el cálculo de la muestra en investigaciones de salud. *Salud en Tabasco*, 11(1–2), 333–338.
- Aguirre-Sala, J. (2019). Propuesta de indicadores para medir y evaluar la gobernanza. *The Journal of Latin American Public Policy and Governance*, 3(5), 108–126. <https://doi.org/10.22191/gobernar/vol3/iss5/7>
- Altieri, M. (2019). *Los impactos de los procesos urbano-territoriales y de gestión en la Cuenca del Alto Atoyac* [Tesis de doctorado, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla].
- Ansell, C., y Gash, A. (2008). Gobernanza colaborativa en la teoría y en la práctica. *Revista de Investigación y Teoría de la Administración Pública*, 543–573.
- Barandarian, X. (2021). Gobernanza colaborativa para la innovación pública y social: El caso de Gipuzkoa, País Vasco. *European Public & Social Innovation Review*, 6(2). <http://www.sinnergiak.org/pub>
- Benson, D., & Jordan, A. (2015). Environmental policy: Protection and regulation. En J. Wright (Ed.), *International encyclopedia of the social & behavioral sciences* (2ª ed., Vol. 7, pp. 778–783). Elsevier.
- Boneti, L. (2017). *Políticas públicas por dentro*. Mercado de Letras.
- Braga, G., y Lira, M. (2014). Evaluación ambiental estratégica y auditoría contable ambiental como instrumentos para la optimización de la política pública ambiental en el Brasil. *Revista de Educação e Pesquisa em Contabilidade*, 8(1), 54–72.
- Bunge, M. (2004). *La investigación científica: Su estrategia y su filosofía*. Siglo XXI Editores.
- Caldera, A., y Torregrosa, M. (2010). Procesos políticos e ideas en torno a la naturaleza del agua: un debate en construcción en el orden internacional. En B. Jiménez, M. Torregrosa, y L. Aboites (Eds.), *El agua en México: Cauces y encauces* (pp. 317–346). Academia Mexicana de Ciencias.
- Calderón-Llaguento, J. (2022). Impacto de la política e inversión pública en los servicios de saneamiento Lima. *Digital Publisher*, 7(2), 170–183. <https://doi.org/10.33386/593dp.2022.3.1096>
-

-
- Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión. (2012). *Decreto por el que se Declara reformado el párrafo quinto y se adiciona un párrafo sexto recorriéndose en su orden los subsecuentes, al artículo 4o. de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos*. Diario Oficial de la Federación, 8 febrero 2012, p. 5.
- Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión. (2023). *Ley de Aguas Nacionales*. Diario Oficial de la Federación, 1 diciembre 1992 (última reforma 8 mayo 2023).
- Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión. (2024). *Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente*. Diario Oficial de la Federación, 28 enero 1988 (última reforma 1 abril 2024).
- Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión. (2025). *Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos*. Diario Oficial de la Federación, 5 febrero 1917 (última reforma 2025).
- Cáñez-Cota, A. (2022). Plantas de tratamiento de aguas residuales municipales en México: Diagnóstico y desafíos de política pública municipal. *Tecnología y Ciencias del Agua*, 13(1), 184–245. <https://doi.org/10.24850/j-tyca-2022-01-05>
- Carabias, J., y Landa, R. (2005). *Aguas, medio ambiente y sociedad: Hacia la gestión integral de los recursos hídricos en México*. Universidad Nacional Autónoma de México, El Colegio de México, Fundación Gonzalo Río Arronte, I.A.P.
- Carrillo, M. (2002). *Aspectos microeconómicos introductorios del desarrollo regional y urbano: Teoría y evidencia empírica* (1ª ed.). Instituto Politécnico Nacional.
- Casiano, C. (2008). *La gobernanza del agua en México: Abundancia y escasez* [Tesis de maestría, ITESM].
- Casiano, C. (2022). Toward a contextualized research agenda: Governance challenges of the wastewater treatment policy in Mexico and the role of subnational governments. *Wyre*, 1–12.
- Casiano, C., Vikolainen, V., & Bressers, H. (2016). Water governance decentralisation and river basin management reforms in hierarchical systems: Do they work for water treatment policy in Mexico's Tlaxcala Atoyac sub-basin? *Water*, 8(210). <https://doi.org/10.3390/w8050210>
- Catalán, M. (2006). Estudio de la percepción pública de la contaminación del aire y sus riesgos para la salud: Perspectivas teóricas y metodológicas. *Revista del Instituto Nacional de Enfermedades Respiratorias*, 19(1), 28–37.
- CAV. (2022). *Síntesis de la Recomendación 10/2017 de la Comisión Nacional de Derechos Humanos (CNDH), emitida el 21 de marzo de 2017 en relación con la contaminación de los ríos Atoyac, Xochiac y sus afluentes*. Coordinadora por un Atoyac con Vida.
-

-
- Centro Mexicano de Derecho Ambiental, A.C. [CEMDA]. (2006). *El agua en México: Lo que todas y todos debemos saber*. México.
- Challenger, A., Córdova, A., Lazos, E., Equihua, M., y Maass, M. (2018). La opinión experta evalúa la política ambiental mexicana: Hacia la gestión de socioecosistemas. *Gestión y Política Pública*, XXVII (2), 431–473.
- Comisión Nacional de los Derechos Humanos [CNDH]. (2017). *Recomendación No. 10/2017. Sobre la violación a los derechos humanos a un medio ambiente sano, saneamiento del agua y acceso a la información, en relación con la contaminación de los ríos Atoyac, Xochiac y sus afluentes*. Comisión Nacional de los Derechos Humanos.
- Comisión Nacional del Agua [CONAGUA]. (2010). *Estadísticas del agua en la Cuenca del Río Balsas*. SEMARNAT.
- Comisión Nacional del Agua [CONAGUA]. (2012). *Programa Hídrico Regional. Visión 2030. Región Hidrológico-Administrativa IV Balsas*. SEMARNAT.
- Comisión Nacional del Agua [CONAGUA] (2014). *Programa Nacional Hídrico 2014–2018*. SEMARNAT.
- Comisión Nacional del Agua [CONAGUA]. (2018). *Atlas del Agua en México 2018*. SEMARNAT.
- Comisión Nacional del Agua [CONAGUA]. (2020a). *Programa Hídrico Regional 2021–2024. Región Hidrológico-Administrativa IV Balsas*. SEMARNAT.
- Comisión Nacional del Agua [CONAGUA]. (2020b). *Programa Nacional Hídrico 2020–2024*. SEMARNAT.
- Comisión Nacional del Agua [CONAGUA]. (2020c). *Diagnóstico de la calidad del agua del Río Atoyac y afluentes*. SEMARNAT.
- Comisión Nacional del Agua [CONAGUA]. (2020d). *Red Nacional de Medición de la Calidad del Agua (RENAMECA): Indicadores de la calidad del agua superficial y subterránea*. SEMARNAT. [Diapositivas de Power Point]. <https://files.conagua.gob.mx/conagua/GobiernoAbierto/Calidaddelagua.pdf>
- Comisión Nacional del Agua [CONAGUA]. (2021). *Inventario Nacional de Plantas Municipales de Potabilización y de Tratamiento de Aguas Residuales en Operación*. SEMARNAT.
- Comisión Nacional del Agua [CONAGUA]. (2022a). *Situación del Subsector Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento*. SEMARNAT.
- Comisión Nacional del Agua [CONAGUA]. (2022b). *Inventario Nacional de Plantas Municipales de Potabilización y de Tratamiento de Aguas Residuales en Operación*. SEMARNAT.
-

-
- Comisión Nacional del Agua [CONAGUA]. (2022c). *Estadísticas del agua en México 2021*. SEMARNAT.
- Comisión Nacional del Agua [CONAGUA]. (2023a). *Inventario Nacional de Plantas Municipales de Potabilización y de Tratamiento de Aguas Residuales en Operación*. SEMARNAT.
- Comisión Nacional del Agua [CONAGUA]. (2023b). *Inventario de plantas de tratamiento de aguas residuales no municipales en 2022. Cuenca del Río Alto Atoyac*. SEMARNAT.
- Comisión Nacional del Agua [CONAGUA]. (2024a). *Resultados de la Red Nacional de Medición de la Calidad del Agua (RENAMECA)*. Gobierno de México. <https://www.gob.mx/conagua/es/articulos/resultados-de-la-red-nacional-de-medicion-de-calidad-del-agua-renameca>
- Comisión Nacional del Agua [CONAGUA]. (2024b). *Sistema Nacional de Información del Agua (SINA)*. <https://sinav30.conagua.gob.mx:8080/>
- Comisión Nacional del Agua [CONAGUA]. (2024c). *Registro Público de Derechos de Agua (REPDa)*. <https://app.conagua.gob.mx/consultarepda.aspx>
- Comisión Nacional del Agua [CONAGUA] - Dirección Local Tlaxcala [DLT]. (2023). *Módulo de transparencia de la Dirección Local Tlaxcala*.
- Consejo Nacional de Humanidades, Ciencia y Tecnología [CONAHCYT]. (2023). *1er Informe estratégico. Cuenca del Alto Atoyac (Tlaxcala y Puebla). Región de emergencia sanitaria y ambiental, problemática socioambiental y recomendaciones para su atención integral*.
- Consejo de Cuenca del Río Balsas [CCRB]. (2009). *Acta de Constitución e Instalación de la Comisión de Cuenca de los ríos Atoyac-Zahuapan* [Documento no publicado]. Archivo de la CONAGUA obtenido a través del Módulo de Transparencia.
- Corbella, R. (1994). *Descubrir la psicología. La mente humana: Percepción, memoria y atención*.
- Cosgrove, W., & Loucks, D. (2015). Water management: Current and future challenges and research directions. *Water Resources Research*, 51, 4823–4839. <https://doi.org/10.1002/2014WR016869>
- Cotler, H. (2010). *Las cuencas hidrográficas de México. Diagnóstico y priorización*. SEMARNAT–INE.
- Del Barrio, A., Ocampo, M., y Larrañaga, M. (2020). Políticas públicas y gobernanza ambiental: Lineamientos para un programa integral de control, descontaminación y saneamiento de las cuencas hídricas rionegrinas (Argentina). *Sección Ciencias Sociales*, 23(5). <http://revele.uncoma.edu.ar/htdoc/revele/index.php/Sociales/article/view/2982/PDF>
- Dhein, M. (2021). *Diccionario de desarrollo regional y cuestiones conexas*. Editora Conceito.
-

-
- Diario Oficial de la Federación [DOF]. (1998). *Acuerdo por el que se determina el número, lugar y circunscripción territorial de las gerencias regionales de la Comisión Nacional del Agua*. Diario Oficial de la Federación, 18 de mayo de 1998.
- Diario Oficial de la Federación [DOF]. (2011a). *Declaratoria de clasificación de los ríos Atoyac y Xochiac o Hueyapan, y sus afluentes*. Diario Oficial de la Federación, 6 de julio de 2011.
- Diario Oficial de la Federación [DOF]. (2011b). *Acuerdo por el que se dan a conocer los estudios técnicos de aguas nacionales superficiales de la Región Hidrológica número 18 Balsas*. Diario Oficial de la Federación, 26 de enero de 2011.
- Diario Oficial de la Federación [DOF]. (2016). *Acuerdo por el que se dan a conocer los límites de las 757 cuencas hidrológicas que comprenden las 37 regiones hidrológicas en que se encuentra dividido los Estados Unidos Mexicanos*. Diario Oficial de la Federación, segunda y tercera sección. 27 de mayo de 2016.
- Diario Oficial de la Federación [DOF]. (2023). *Acuerdo por el que se determina la circunscripción territorial de los Organismos de Cuenca de la Comisión Nacional del Agua*. Diario Oficial de la Federación, 18 de septiembre de 2023, sección única.
- Diario Oficial de la Federación [DOF]. (2024). *Reglas de Operación del Programa de Agua Potable, Drenaje y Tratamiento (PROAGUA), a cargo de la Comisión Nacional del Agua, aplicables a partir de 2024*. Diario Oficial de la Federación, 16 de enero de 2024, edición vespertina.
- Domínguez, A. (2010). La gestión del agua en México y su centralismo con el predominante papel de la Comisión Nacional del Agua. En A. Domínguez, *La organización administrativa de las aguas continentales en México. Un estudio comparado desde el derecho español* (pp. 33–106). Instituto de Investigaciones Jurídicas, UNAM.
- Douglas, S., Ansell, C., Parker, C., Sørensen, E., Hart, P., & Torfing, J. (2020). Understanding collaboration: Introducing the collaborative governance case databank. *Policy and Society*, 1–15. <https://doi.org/10.1080/14494035.2020.1794425>
- European Environment Agency [EEA]. (1999). *Environment in the European Union at the turn of the century, Water stress*. European Environment Agency. <https://doi.org/ISBN: 92-9157-202-0>
- Elorza, H. (2008). *Estadística para las ciencias sociales, del comportamiento y de la salud* (3ª ed.). Cengage Learning Editores, S.A.
- Emerson, K., Nabatchi, T., & Balogh, S. (2012). An integrated framework for collaborative governance. *Journal of Public Administration Research and Theory*, 22(1), 1–30.
- Escobar, A. (2008). Territorios de diferencia: La ontología política de los "derechos al territorio". *Cuadernos de Antropología Social*, 28, 25–38.
-

-
- Escobar, C. (2015). *Las asambleas comunitarias en Tlaxcala como eje de la gestión del agua: Una experiencia de gobernanza colaborativa* [Tesis de doctorado, Facultad Latinoamericana de Ciencias Sociales].
- Espejo, C. (2003). Anotaciones en torno al concepto de región. *Nimbus*, 11(12), 67–87.
- Fernández, Y. (2008). ¿Por qué estudiar las percepciones ambientales? Una revisión de la literatura mexicana con énfasis en Áreas Naturales Protegidas. *Espiral, Estudios sobre Estado y Sociedad*, XV (43), 179–202.
- Flores-Domínguez, A., y Priego-Santander, A. (2022). Caracterización físico-geográfica del paisaje en la microcuenca Atoyac-Xochiac, Subcuenca Alto Balsas. En C. Ávila, M. Hernández-Rodríguez, y A. Lozano (Eds.), *Río Atoyac: Hacia una gestión integral de una problemática multifactorial* (pp. 55–80). COLTLAX.
- García-Searcy, V., Villada-Canela, M., Anglés-Hernández, M., Candelaria, M., Arredondo-García, M., y Walter, L. (2022). El saneamiento como derecho humano y su inclusión efectiva en el marco jurídico e institucional de México. *Sociedad y Ambiente*, (25), 1–34. <https://doi.org/10.31840/sya.vi25.2563>
- Günter, M., y Gutiérrez, R. (2017). *La política del ambiente en América Latina*. CLACSO.
- Gutiérrez, R., y Emanuelli, M. (2010). Régimen jurídico del agua continental en México: Un análisis crítico. En B. Jiménez, M. Torregrosa, y L. Aboites (Eds.), *El agua en México: Cauces y encauces* (pp. 647–679). Academia Mexicana de Ciencias.
- Global Water Partnership [GWP]. (2008). *Principios de Gestión Integrada de los Recursos Hídricos: Bases para el desarrollo de planes nacionales*. Global Water Partnership.
- Hernández, R., Fernández, C., y Baptista, M. (2014). *Metodología de la investigación* (6ª ed.). McGraw Hill.
- Hernández-Rodríguez, M. de L. (2022). La contaminación del río Atoyac y sus efectos socioambientales en San Mateo Ayecac, Tlaxcala. En C. Ávila, M. de L. Hernández-Rodríguez, y S. Lozano (Eds.), *Río Atoyac: Hacia una gestión integral del agua, problemática multifactorial* (pp. 25–53). COLTLAX.
- Instituto Mexicano de Tecnología del Agua y Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales [IMTA-SEMARNAT]. (2007). *Manejo Integrado de las aguas subterráneas en los Acuíferos Puebla- Alto Atoyac, Estados de Puebla y Tlaxcala: Informe final*.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía [INEGI]. (2019). *Cuenca Hidrológica Alto Atoyac, humedales: Informe técnico*. INEGI.
-

-
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía [INEGI]. (2020). *Sistema de Consulta de Integración Territorial, Entorno Urbano y Localidad* (SCITEL). <https://www.inegi.org.mx/app/scitel/Default?ev=9>
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía [INEGI]. (2021). *Censo de Población y Vivienda 2020*.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía [INEGI]. (2022). *Sistema de Consulta, Mapas*. <https://www.inegi.org.mx/app/mapas/>
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía [INEGI]. (2023). *Sistema de Clasificación Industrial de América del Norte, México (SCIAN 2023)*. <https://www.inegi.org.mx/scian/>
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía [INEGI]. (2024). *Sistema de Consulta, DENUE*. <https://www.inegi.org.mx/app/mapa/denue/>
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía, Instituto Nacional de Ecología y Comisión Nacional del Agua [INEGI, INE y CONAGUA]. (2007). *Delimitación de las Cuencas Hidrográficas de México a escala 1:250 000*.
- Jardón, A., Martínez, M., y Alvarado, M. (2017). De las políticas públicas a la gobernanza ambiental. En M. Martínez (Ed.), *Políticas públicas ambientales* (pp. 27–40). Instituto Politécnico Nacional.
- Kant, I. (2005). *Crítica de la razón pura*. Taurus.
- Lezama, J. (2010). Sociedad, medio ambiente y política ambiental, 1970–2000. En J. Lezama y B. Graizbord (Eds.), *Los grandes problemas de México. Medio ambiente* (Vol. IV, pp. 23–60). El Colegio de México.
- Lezama, J., y Graizbord, B. (Eds.). (2010). *Los grandes problemas de México. Medio ambiente* (Vol. IV). El Colegio de México.
- Lozano, A. (2022). Calidad del agua y contaminantes de la cuenca Alto Atoyac. En C. Ávila, M. Hernández-Rodríguez, y A. Lozano, *Río Atoyac: Hacia una gestión integral de una problemática multifactorial* (pp. 113–153). El Colegio de Tlaxcala, A. C.
- Martínez, M., Vera, M., y Gómez Farias, E. (2017). La participación social para solucionar problemas ambientales: Gobernanza ambiental. En M. Martínez (Ed.), *Políticas públicas ambientales* (pp. 13–25). Instituto Politécnico Nacional.
- Martínez-Ruiz, H. (2022). Mejora urbana, políticas públicas y saneamiento del río Querétaro, Querétaro, México. Un enfoque antropológico. *Revista Inclusiones*, 9(4), 162–199.
-

-
- Maya, J., y Pineda, N. (2018). Avances, estancamiento y limitaciones de la política de saneamiento en México 1998–2014. *Entreciencias: Diálogos en la Sociedad del Conocimiento*, 6(17), 35–58. <https://doi.org/10.22201/enesl.20078064e.2018.17.63059>
- Metcalf y Eddy. (1995). *Ingeniería de aguas residuales: Tratamiento, vertido y reutilización*. McGraw-Hill.
- Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos [OCDE]. (2013). Hacer posible la reforma de la gestión del agua en México. <https://doi.org/10.1787/9789264188075-en>
- Organización de las Naciones Unidas [ONU]. (2013). *Informe de la Relatora Especial sobre el derecho humano al agua potable y el saneamiento: Catarina de Albuquerque*. Asamblea General de la ONU.
- Organización de las Naciones Unidas [ONU]. (2016). *Agua limpia y saneamiento: ¿Por qué es importante?* https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/wp-content/uploads/sites/3/2016/10/6_Spanish_Why_it_Matters.pdf
- Organización de las Naciones Unidas [ONU]. (2018). *La Agenda 2030 y los Objetivos de Desarrollo Sostenible*. Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL).
- Organización de las Naciones Unidas- Habitat [ONU-Habitat]. (2020). *La Nueva Agenda Urbana*. Programa de las Naciones Unidas para los Asentamientos Humanos.
- Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura [UNESCO]. (2017). *Aguas residuales: Un recurso desaprovechado*. Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos.
- Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura [UNESCO]. (2020). *Análisis de decisiones basadas en el riesgo climático (CRIDA): Planificación colaborativa de los recursos hídricos para un futuro incierto*.
- Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura [UNESCO]. (2021). *Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos 2021: El valor del agua*. ONU.
- Pacheco-Vega, R. (2007). Construyendo puentes entre la política ambiental y la política de tratamiento de aguas en la cuenca Lerma-Chapala. *Economía, Sociedad y Territorio*, 6(24), 995–1024.
- Pacheco-Vega, R. (2009). Arreglos institucionales para el saneamiento de aguas residuales en México: Un caso de estudio en la cuenca Lerma-Chapala. En *Gestión del agua: Una visión comparativa entre México y Brasil*.
- Peña, J. (2016). Saneamiento ambiental y participación ciudadana. *Revista Científica*, 1(1), 53–71. <https://doi.org/10.29394/scientific>
-

-
- Pidgeon, N. (1998). Risk assessment, risk values and the social science programme: Why we do need risk perception research. *Reliability Engineering and System Safety*, 59, 5–15.
- Porras, F. (2007). Teorías de la gobernanza y estudios regionales. *Secuencia. Revista de Historia y Ciencias Sociales*, (69), 161–185.
- Roca, J. (2010). Las entrevistas. En P. y Joan (Eds.), *Etnografía* (pp. 89–109). Universitat Oberta de Catalunya (UOC).
- Rodríguez, E. (2010). *Gobernanza del saneamiento en la cuenca Atoyac-Zahuapan del estado de Tlaxcala* [Tesis de maestría, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua].
- Rodríguez, E. (2014). *El rol de la participación social en el saneamiento de la cuenca Atoyac-Zahuapan: Experiencias en Tepetitla de Lardizábal, Tlaxcala 2004–2012* [Tesis de doctorado, COLTLAX].
- Rodríguez-Tapia, L., Morales, J., y Zavala, P. (2012). Evaluación socioeconómica de daños ambientales por contaminación del río Atoyac en México. *Tecnología y Ciencias del Agua, IMTA*, III (febrero-marzo), 143–151.
- Rogers, P., y Hall, A. (2006). *Gobernabilidad efectiva del agua*. Global Water Partnership.
- Rojas, R. (2013). *Guía para realizar investigaciones sociales*. Plaza y Valdés.
- Rolland, L., y Vega, Y. (2010). La gestión del agua en México. *Polis: Investigación y Análisis Sociopolítico y Psicosocial*, 6(23), 155–188.
- Romero-Aguilar, M., Colín-Cruz, A., Sánchez-Salinas, E., y Ortiz-Hernández, M. (2009). Tratamiento de aguas residuales por un sistema piloto de humedales artificiales: Evaluación de la remoción de la carga orgánica. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 25(3), 157–167.
- San Miguel, P. (2010). *Filosofía de la naturaleza*. Kairós.
- Sánchez, A., García, R., y Palma, A. (2003). *La cuenca hidrográfica, unidad básica de planeación y manejo de recursos naturales*. SEMARNAT.
- Sandoval, A., Pulido-Flores, G., Monks, S., Gordillo, A., y Villegas, E. (2009). Evaluación Físicoquímica, Microbiológica y Toxicológica de la Degradación Ambiental del Río Atoyac, México. *Interciencia*, 34(12, diciembre), 880–887.
- Sautu, R. (2005). *Todo es teoría: Objetivos y métodos de investigación*. Lumiere.
-

-
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales [SEMARNAT]. (1997). *NOM-001-SEMARNAT-1996. Norma Oficial Mexicana que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales*. SEMARNAT.
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales [SEMARNAT]. (1998a). *NOM-002-SEMARNAT-1996. Norma Oficial Mexicana que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a los sistemas de alcantarillado urbano o municipal*. SEMARNAT.
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales [SEMARNAT]. (1998b). *NOM-003-SEMARNAT-1997. Norma Oficial Mexicana que establece los límites máximos permisibles de contaminantes para las aguas residuales tratadas que se reusen en servicios al público*. SEMARNAT.
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales [SEMARNAT]. (2010). *Atlas Geográfico del Medio Ambiente y Recursos Naturales*. SEMARNAT.
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales [SEMARNAT]. (2013). *Cuencas hidrográficas: Fundamentos y perspectivas para su manejo y gestión*. Dirección General de Desarrollo de Capacidades y Competencias.
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales [SEMARNAT]. (2022). *NOM-001-SEMARNAT-2021. Que establece los límites permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en cuerpos receptores propiedad de la nación*. SEMARNAT.
- Sepúlveda, S. (2002). *Desarrollo sostenible microrregional: Métodos para planificación local*. IICA-UNA-CDT.
- Torregrosa, M. (2017). *El conflicto del agua: Política, gestión, resistencia y demanda social*. FLACSO.
- Tortajada, C. (2010). Gobernanza del agua: Algunas cuestiones críticas. *International Journal of Water Resources Development*, 26(2), 297–307.
- Trejo, C. (2020). Existen demandas por contaminación del Río Atoyac, es el segundo río más contaminado del país. *Agua.org.mx*. <https://agua.org.mx/mexico-existen-demandaspor-contaminacion-del-río-atoyac-es-el-segundo-riomas-contaminado-del-pais-trejo-camino-megalopolis/>
- Vallés, J. M. (2007). *Ciencia política: Una introducción*. Ariel.
- Velasco, S. P. (2017). *Ríos de contradicción: Contaminación, ecología política y sujetos rurales en Nativitas, Tlaxcala* [Tesis de doctorado, Instituto de Investigaciones Antropológicas, UNAM].
-

Viqueira, C. (2001). *El enfoque regional en antropología*. Universidad Iberoamericana.

Zamora, C. (2020). *Construcción de redes de gobernanza municipales en la Zona Metropolitana Puebla-Tlaxcala* [Tesis de maestría, Colegio de la Frontera Norte].

Anexos

Anexo 1: Guía para la aplicación de la encuesta en las poblaciones ribereñas del río Atoyac en el estado de Tlaxcala

1. Lugar
 - Tepetitla
 - Guadalupe Victoria
 - San Mateo Ayecac
 - Villa Alta
 - San José Atoyatenco
 - San Miguel Xochitecatitla
 - San Rafael Tenanyecac
 2. Género
 - Femenino
 - Masculino
 3. Edad
 - Menor de 17 años
 - 18 a 30 años
 - 31 a 43 años
 - 44 a 56 años
 - 57 a 69 años
 - mayor de 70 años
 4. Último nivel de estudios
 - Primaria
 - Secundaria
 - Preparatoria
 - Licenciatura
 - Posgrado
 - Sin educación formal
 - Otro:
 5. Ocupación
 - Ama de casa
 - Comerciante
 - Empleado (a)
 - Funcionario
 - Estudiante
 - Profesionista
 - Otro:
- Contaminación del río
6. ¿Considera que el río Atoyac se encuentra contaminado?
 - Sí *Salta a la pregunta 7*
 - No
-

Conocimiento sobre la calidad del agua en el río

7. En una escala del 1 al 5, donde 1 es no contaminado y 5 es muy contaminado ¿Cuál es el nivel de contaminación que tiene el río?

1 2 3 4 5

8. ¿Cómo cree usted que se manifiesta la contaminación del río?

El agua del río contiene sustancias que la contaminan

Hay basura en el cauce

Ambas situaciones

Otro:

Origen de la contaminación

9. ¿Cuál cree que es el origen de la contaminación?

Las descargas de las industrias *Salta a la pregunta 10*

Las descargas de las localidades *Salta a la pregunta 11*

Tiran basura en el cauce *Salta a la pregunta 12*

Todas las anteriores *Salta a la pregunta 13*

Otro:

Industrias

10. ¿Cuáles industrias? *Salta a la pregunta 13*

Localidades

11. ¿Cuáles localidades? *Salta a la pregunta 13*

Basura

12. Quienes y dónde tiran basura *Salta a la pregunta 13*

Temporalidad

13. ¿Cuánto tiempo considera que tiene este problema?

Menos de 5 años

5 a 11 años

12 a 18 años

18 a 24 años

Más de 24 años

Uso del agua

14. ¿Para qué es usada el agua del río en su localidad?

Consumo humano

Preparación de alimentos

Aseo doméstico

Abrevadero de los animales

Riego Agrícola

En la industria

No se usa

No sabe

Percepción de los efectos

15. ¿A quién afecta la contaminación del río?
- | | |
|----------------------|-------------------------------|
| Al medio ambiente | <i>Salta a la pregunta 16</i> |
| A los cultivos | <i>Salta a la pregunta 17</i> |
| A las personas | <i>Salta a la pregunta 18</i> |
| Todas las anteriores | <i>Salta a la pregunta 19</i> |
| Otro: | |

Medio ambiente

16. ¿Cómo lo percibe?
- | |
|------------------------------------|
| No hay organismos vivos en el agua |
| No crecen plantas en la rivera |
| Otro: |
| <i>Salta a la pregunta 21</i> |

Cultivos

17. ¿Cómo lo percibe?
- | |
|-------------------------------|
| No se dan los cultivos |
| Disminuye la producción |
| Aumenta la producción |
| Se contamina el producto |
| Otro: |
| <i>Salta a la pregunta 21</i> |

A las personas

18. Si afecta a las personas ¿Cómo lo percibe?
- | |
|--|
| Provoca enfermedades al tener contacto con el agua |
| Provoca enfermedades por los olores del río |
| Provoca enfermedades por el consumo de productos agrícolas regados con esa |
| Todas las anteriores |
| Otro: |
| <i>Salta a la pregunta 21</i> |

Todas las anteriores

19. ¿De qué manera?
- Salta a la pregunta 21*

Otros efectos

20. ¿De qué manera?

PTAR's

21. ¿Sabe si existen plantas de tratamiento de aguas residuales municipales en el Municipio?
- | | |
|-------|-------------------------------|
| Sí | <i>Salta a la pregunta 22</i> |
| No | <i>Salta a la pregunta 24</i> |
| No sé | <i>Salta a la pregunta 24</i> |
-

Operación de PTAR municipales

22. ¿Las plantas de tratamiento municipales están operando?

Sí *Salta a la pregunta 24*

No *Salta a la pregunta 23*

No sé *Salta a la pregunta 24*

No operan PTAR Municipales

23. ¿Por qué?

PTAR industriales

24. ¿Sabe si existen plantas de tratamiento de aguas residuales industriales en el Municipio?

Sí *Salta a la pregunta 25*

No *Salta a la pregunta 27*

No sé *Salta a la pregunta 27*

Operación PTAR industriales

25. ¿Las plantas de tratamiento industriales están operando?

Sí *Salta a la pregunta 27*

No *Salta a la pregunta 26*

No sé *Salta a la pregunta 27*

No operan PTAR Industriales

26. ¿Por qué?

Normatividad ambiental

27. ¿Considera que la normatividad en materia de saneamiento es la adecuada para resolver el problema?

Sí

No

No sé

28. ¿Considera que se aplica la normatividad ambiental en materia de saneamiento de las aguas residuales?

Sí

No

No sé

Participación

29. ¿Usted ha participado en la búsqueda de soluciones?

Sí

No

30. ¿Alguna entidad de gobierno le han invitado a participar en reuniones para dar solución a la problemática?

Sí *Salta a la pregunta 31*

No *Salta a la pregunta 33*

Gobierno participativo

31. ¿Qué nivel de gobierno le ha invitado?
- Federal
 - Estatad
 - Municipal
32. ¿Con quienes se han se han desarrollado las reuniones?
- Gobierno Municipal
 - Gobierno Estatal
 - Gobierno Federal
 - Pobladores de las comunidades
 - Industriales de Tlaxcala
 - Agricultores de Tlaxcala
 - Gobiernos de municipios del estado de Puebla
 - Gobierno del estado de Puebla
 - Pobladores del estado de Puebla
 - Industriales del estado de Puebla
 - Agricultores del estado de Puebla
 - Otro:

Soluciones

33. ¿Quién debería solucionar la problemática de la contaminación?
- El Gobierno Federal
 - El Gobierno Estatal
 - El Gobierno Municipal
 - Las empresas
 - La sociedad
 - Todos
 - los anteriores
 - Otro:
34. ¿Qué acciones se llevan a cabo para solucionar el problema?
- Recoger basura
 - Evitar las descargas de aguas residuales
 - Tratar las aguas residuales que se descargan
 - Multar a los que descargan contaminantes
 - Instalar plantas de tratamiento en las industrias
 - Instalar plantas de tratamiento en las localidades
 - Otro:
35. ¿Usted cómo daría solución a la problemática?
- Haciendo campañas de limpieza en el río
 - Construyendo más plantas de tratamiento de aguas residuales
 - Operando las plantas de tratamiento existentes
 - Todas las anteriores
 - Otro:
-

Anexo 2: Guía de entrevista a actores clave (servidores públicos federales, estatales y municipales)

1. ¿Cuál es la problemática actual por la que atraviesan las aguas del río Atoyac?
 2. ¿sabe usted cómo se clasifica el agua del río Atoyac en su tránsito por el estado de Tlaxcala?
 - a. Muy contaminado
 - b. Contaminado
 - c. Nada contaminado
 - d. No sabe
 3. ¿Cuáles de las siguientes leyes y normas conoce usted en materia de saneamiento?
 - a. Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al ambiente
 - b. Ley de Aguas Nacionales
 - c. Ley de Protección al Medio Ambiente y el Desarrollo Sostenible del Estado de Tlaxcala
 - d. Ley de Aguas para el Estado de Tlaxcala
 - e. NOM-001-SEMARNAT-2021
 - f. NOM-002-SEMARNAT-1996
 - g. NOM-003-SEMARNAT-1996
 4. De éstas ¿cuáles son de su atribución? (en orden de importancia de menor a mayor).
 5. ¿Cuál es la normatividad que aplica su institución en materia de saneamiento de las aguas residuales?
 6. ¿Cuáles programas y proyectos existen en Tlaxcala para el saneamiento?
 7. ¿Cuáles programas y proyectos aplican su institución para el saneamiento de las aguas residuales?
 8. ¿Cómo se verifica desde la institución, el cumplimiento de la normatividad para saneamiento de las aguas residuales descargadas al río Atoyac en el estado de Tlaxcala?
 9. ¿Considera que, desde el trabajo que hace esta institución, la normatividad en materia de saneamiento es la adecuada para resolver el problema?
 - a. Si
 - b. No
 - c. ¿Por qué?
 10. ¿A nivel institucional que modificaciones a la normatividad serían necesarias para resolver el problema de contaminación?
 11. ¿Dónde se expresan los efectos de la contaminación del río?
 - a. En las aguas del río
 - b. En la agricultura
 - c. En las comunidades ribereñas
 - d. En las personas
 - e. Otra
 12. En relación con estos lugares ¿Qué medidas institucionales podrían implementarse para mitigar/disminuir los efectos de la contaminación del río?
 13. ¿Quiénes están involucrados en el saneamiento del río?
 14. ¿Qué actores, de la sociedad civil, del gobierno y de la población en general, hace falta que se involucren en las acciones del saneamiento del río?
 15. ¿De qué manera podrían involucrarse, estos actores, en las acciones de saneamiento?
-

-
16. En el caso del gobierno ¿Cómo están distribuidas las responsabilidades en sus diferentes niveles?
 17. ¿Sabe usted si los diferentes niveles de gobierno cuentan con recursos para acciones de saneamiento de aguas residuales?
 18. ¿Cómo se asigna y opera el presupuesto para llevar a cabo las acciones de saneamiento desde los tres niveles de gobierno?
 19. ¿Cómo es la coordinación entre las instancias responsables, en cuanto a las acciones y actividades de saneamiento?
 20. ¿Considera que existe confianza interinstitucional para realizar acciones de saneamiento?
 21. Desde su perspectiva ¿cuáles de las siguientes instituciones trabajan de manera conjunta por el saneamiento?
 - a. SEMARNAT
 - b. CONAGUA
 - c. PROFEPA
 - d. Secretaría del Medio Ambiente del estado de Tlaxcala
 - e. PROPAET
 - f. Municipios
 - g. Otra ¿Cuál?
 22. ¿Sabe Usted, si entre las siguientes instituciones, han existido tensiones, confrontaciones o divergencias sobre la toma de decisiones o acciones por el saneamiento?
 - a. SEMARNAT
 - b. CONAGUA
 - c. PROFEPA
 - d. Secretaría del Medio Ambiente del estado de Tlaxcala
 - e. PROPAET
 - f. Municipios
 - g. Otra ¿Cuál?
 23. ¿Cuáles son los tres principales decisiones o acciones por las que se han enfrentado?
 24. ¿Qué resultados se conocen respecto al saneamiento del río?
 25. ¿Podría explicar la forma de evaluar estos resultados?
 26. ¿Cómo ha participado la población de los municipios ribereños en la toma de decisiones para resolver la problemática del río?
 27. ¿Existen mecanismos que incentiven la participación de la sociedad civil para resolver la contaminación del río Atoyac?, en caso afirmativo ¿Podría mencionar algunos?
 28. ¿Cuáles convenios o acuerdos, que involucren a los diferentes niveles de gobierno, se han firmado para resolver la problemática del río Atoyac?
 29. ¿Qué gobiernos o instituciones los han firmado?
 30. ¿En qué fechas se han firmado?
 31. ¿Qué otras acciones, además de la aplicación de la normatividad, se podrían llevar a cabo para sanear el río Atoyac?
 32. ¿Conoce la existencia del Consejo de Cuenca del río Balsas y de la Comisión de Cuenca de los ríos Atoyac-Zahuapan?
 33. ¿Su institución participa o ha participado en estas instancias?
 34. ¿El Consejo de Cuenca del río Balsas y la Comisión de Cuenca de los ríos Atoyac-Zahuapan tienen alguna incidencia en la solución de la problemática del río Atoyac?
-

Anexo 3: Códigos del SCIAN seleccionados del DINUE para el análisis de establecimientos que pueden generar descargas de aguas residuales

DINUE Directorio Estadístico Nacional de Unidades Económicas (INEGI, 2024).

SCIAN Sistema de Clasificación Industrial de América del Norte, México (INEGI, 2023).

Códigos

Sector (aa)

Subsector (aaa)

Rama (aaaa)

Subrama (aaaaa)

Clase (aaaaaa)

2213 captación, tratamiento y suministro de agua

22131 captación, tratamiento y suministro de agua

221311 captación, tratamiento y suministro de agua realizados por el sector privado

221312 captación, tratamiento y suministro de agua realizados por el sector público

31-33 Industrias manufactureras

311 industria alimentaria

312 industria de las bebidas y del tabaco

313 fabricación de insumos textiles y acabado de textiles

314 fabricación de productos textiles, excepto prendas de vestir

315 fabricación de prendas de vestir

316 curtido y acabado de cuero y piel, y fabricación de productos de cuero, piel y materiales sucedáneos

321 industria de la madera

322 industria del papel

323 impresión e industrias conexas

324 fabricación de productos derivados del petróleo y del carbón

325 industria química

326 industria del plástico y del hule

327 fabricación de productos a base de minerales no metálicos

331 industrias metálicas básicas

332 fabricación de productos metálicos

333 fabricación de maquinaria y equipo

334 fabricación de equipo de computación, comunicación, medición y de otros equipos, componentes y accesorios electrónicos

335 fabricación de accesorios, aparatos eléctricos y equipo de generación de energía eléctrica

336 fabricación de equipo de transporte

337 fabricación de muebles, colchones y persianas

339 otras industrias manufactureras

562 manejo de residuos y servicios de remediación

62 servicios de salud y de asistencia social

621 servicios médicos de consulta externa y servicios relacionados

622 hospitales
