



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MÉXICO**  
**FACULTAD DE GEOGRAFÍA**



**ANÁLISIS SISTÉMICO Y ESPACIAL DE LA GESTIÓN DEL  
AGUA EN LA CUENCA DEL RÍO METZTITLÁN**

**TESIS**

Que para obtener el grado de:

**MAESTRO EN ANÁLISIS ESPACIAL Y GEOINFORMÁTICA**

**Presenta:**

Ing. Rosi Nereida Vázquez Severino

**Tutor académico:**

Dr. en C.A. Luis Ricardo Manzano Solís

**Tutores adjuntos:**

Dr. en G. José Emilio Baró Suárez

Dr. en C.A Miguel Angel Gómez Albores

**TOLUCA, ESTADO DE MÉXICO**

**SEPTIEMBRE 2020**

## INDICE GENERAL

INDICE GENERAL .....	3
Índice de figuras.....	6
Índice de tablas .....	8
Siglas y acrónimos .....	9
<b>INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>11</b>
<b>Planteamiento del problema .....</b>	<b>13</b>
<b>Antecedentes.....</b>	<b>15</b>
<b>Justificación contextual y científica.....</b>	<b>20</b>
<b>Objetivos .....</b>	<b>21</b>
Objetivo general .....	21
Objetivos específicos.....	21
<b>1. MARCO TEORICO CONCEPTUAL .....</b>	<b>22</b>
1.1. Teoría general de sistemas .....	22
1.2. Análisis Estructural de Sistemas .....	25
1.3. Gestión Integrada de los Recursos Hídricos .....	28
1.3.1. Fundamentos.....	28
1.3.2. Origen de la Gestión Integrada de Recursos Hídricos.....	29
1.3.3. El plan de Gestión Integrada de Recursos Hídricos .....	32
1.3.4. Retos que enfrenta la gestión del agua en México. ....	35
1.4. Planeación estratégica aplicada a la gestión del agua .....	38
1.5. Geoinformática en el análisis de recursos hídricos .....	43
1.5.1. Sistemas de Información Geográfico .....	43
1.5.2. Análisis espacial .....	46
1.5.3. Geoportales.....	47
<b>2. MARCO LEGAL Y DE PLANEACIÓN .....</b>	<b>49</b>
2.1. Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos .....	49
2.2. Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente .....	50
2.3. Ley de Aguas Nacionales.....	52
2.4. Ley General de Desarrollo Forestal Sustentable .....	53
2.5. Leyes estatales.....	54

2.5.1. Ley estatal de agua y alcantarillado del estado de Hidalgo .....	54
2.5.2. Ley de aguas del estado de Veracruz de Ignacio de la Llave .....	55
2.5.3. Ley de agua para el estado de Puebla .....	55
2.6. Programa Nacional Hídrico.....	56
2.7. Programa de Manejo de la Reserva de la Biosfera Barranca de Metztitlán .....	57
2.8. Normas Oficiales Mexicanas en materia hídrica.....	57
2.9. Plan Municipal de Desarrollo.....	58
<b>3. MATERIAL Y MÉTODO .....</b>	<b>59</b>
3.1. Caracterización de la cuenca .....	59
3.2. Propuesta de retos hídricos e identificación de actores clave .....	62
3.3. Entrevista semiestructurada a actores clave .....	62
3.4. Validación de retos hídricos e identificación de variables del sistema de gestión del agua .....	63
3.5. Conceptualización de variables .....	64
3.6. Evaluación de la relación entre variables .....	66
3.7. Caracterización de variables según su influencia/dependencia.....	68
3.8. Identificación de variables clave .....	68
3.9. Identificación de indicadores para evaluar las variables clave .....	71
3.10. Estructuración de una BDG .....	73
3.11. Cálculo de indicadores por municipio.....	77
3.12. Análisis estratégico de indicadores .....	77
3.13. Identificación de temas, zonas prioritarias y actores de interés para la GIRH.....	77
3.14. Estrategias generales de GIRH.....	80
3.15. Herramienta para la difusión de la información.....	81
<b>4. RESULTADOS .....</b>	<b>85</b>
4.1. Caracterización de la cuenca .....	85
4.1.1. Localización.....	85
4.1.2. Clima .....	86
4.1.3. Hidrología.....	90
4.1.3.1. Situación de los recursos hídricos.....	91
4.1.3.1.1. Acuíferos .....	91
4.1.3.1.2. Agua superficial. ....	94

4.1.3.1.3. Distritos de riego .....	96
4.1.4. Uso de suelo y vegetación .....	98
4.1.5. Población .....	101
4.1.6. Marginación.....	103
4.1.7. Actividades económicas .....	106
4.1.8. Vulnerabilidad ante riesgos hídricos .....	110
4.2. Variables clave en la gestión del agua en la cuenca del río Metztitlán .....	114
4.3. Indicadores para evaluar las variables clave del sistema de gestión del agua en la cuenca .....	118
4.3.1. Indicador de volumen de agua concesionada para el sector agropecuario .....	120
4.3.2. Indicador de conflictos registrados entre usuarios del agua .....	121
4.3.3. Indicador de superficie con abandono de la actividad agrícola.....	122
4.3.4. Indicador de rendimiento de la producción agrícola .....	123
4.3.5. Indicador de población atendida por espacio de cultura ambiental.....	124
4.3.6. Indicador de superficie protegida por municipio.....	126
4.3.7. Indicador de Porcentaje de Viviendas Particulares Habitadas con acceso al servicio de agua.....	127
4.3.8. Indicador de proporción de localidades que pagan el servicio de agua.....	128
4.3.9. Indicador de proporción de Viviendas Particulares Habitadas con disponibilidad de drenaje .....	129
4.3.10. Indicador de número de plantas de tratamiento de aguas residuales .....	130
4.3.11. Indicador de rendimiento real del caudal tratado respecto a la capacidad instalada	131
4.4. Zonas prioritarias, temas y actores de interés para la gestión del agua en la cuenca.....	133
4.5. Estrategias generales para la gestión del agua en la cuenca.....	140
4.6. Geoportal como propuesta para la difusión de la información. ....	147
<b>5. DISCUSIONES .....</b>	<b>148</b>
<b>6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....</b>	<b>149</b>
6.1. Conclusiones .....	149
6.2. Recomendaciones.....	150
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....</b>	<b>152</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>162</b>
Anexo 1. Ejemplo de la entrevista semiestructurada. ....	162
Anexo 2. Identificación de actividades relacionadas al uso y manejo del agua en la cuenca.	164
Anexo 3. Matriz de Influencia Total en la gestión del agua en la cuenca del río Metztitlán..	166

## Índice de figuras

Figura 1.1. Plan de la Gestión Integrada de Recursos Hídricos.....	33
Figura 1.2. Proceso de la planeación estratégica.....	39
Figura 1.3. Correspondencia entre la planeación estratégica participativa y la GIRH. ....	40
Figura 3.1. Procedimiento general para realizar el análisis sistémico y geoespacial de la gestión del agua en la cuenca de río Metztitlán. ....	59
Figura 3.2. Aplicación informática <i>Llena MID</i> .....	67
Figura 3.3. Plano de influencia-dependencia. ....	69
Figura 3.4. Esquema propuesto para el diseño de una Base de Datos Geoespacial.....	76
Figura 3.5. Diseño del Geoportal para la cuenca del río Metztitlán. ....	84
Figura 4.1. Ubicación de la cuenca del río Metztitlán. ....	85
Figura 4.2. Condición térmica presente en la cuenca del río Metztitlán.....	87
Figura 4.3. Clima presente en la cuenca del río Metztitlán.....	89
Figura 4.4. Ubicación de la cuenca en la Región Hidrológica.....	90
Figura 4.5. Acuíferos que comprende la cuenca del río Metztitlán. ....	92
Figura 4.6. Aprovechamientos subterráneos registrados en la cuenca del río Metztitlán. ....	94
Figura 4.7. Aprovechamientos superficiales registrados en la cuenca del río Metztitlán. ....	95
Figura 4.8. Distritos de riego dentro de la cuenca del río Metztitlán.....	97
Figura 4.9. Uso de suelo y vegetación en la cuenca del río Metztitlán.....	99
Figura 4.10. Población por localidades en la Cuenca del Río Metztitlán. ....	102
Figura 4.11. Grado de marginación por municipio en la cuenca del río Metztitlán.....	104
Figura 4.12. Grado de marginación por localidad en la cuenca del río Metztitlán. ....	106
Figura 4.13. Personas ocupadas por unidad económica en la cuenca del río Metztitlán. ....	107
Figura 4.14. Unidades económicas por municipio en la cuenca Metztitlán.....	109
Figura 4.15. Presencia de sequía en la cuenca del río Metztitlán. ....	111
Figura 4.15. Presencia de sequía en la cuenca del río Metztitlán (continuación) .....	112

Figura 4.16. Plano de influencia-dependencia de la MIT en la gestión del agua en la cuenca del río Metztitlán. ....	116
Figura 4.17. Indicador de volumen de agua concesionada por municipio para el sector agrícola. ....	120
Figura 4.18. Indicador de conflictos registrados entre usuarios del agua .....	121
Figura 4.19. Indicador de la superficie con abandono de la actividad agrícola. ....	123
Figura 4.20. Indicador de rendimiento de la producción agrícola. ....	124
Figura 4.21. Indicador de población atendida por espacio de cultura ambiental .....	125
Figura 4.22. Indicador de superficie protegida por municipio.....	126
Figura 4.23. Indicador de proporción de viviendas particulares habitadas con acceso al servicio de agua .....	127
Figura 4.24. Indicador de localidades que pagan el servicio de agua .....	128
Figura 4.25. Indicador de viviendas particulares habitadas con disponibilidad de drenaje .....	129
Figura 4.26. Indicador de número de plantas de tratamiento de aguas residuales .....	130
Figura 4.27. Indicador de rendimiento real del caudal tratado respecto a la capacidad instalada .....	132
Figura 4.28. Red de la estructura del sistema de gestión del agua en la cuenca. ....	133
Figura 4.29. Red de la estructura de gestión del agua de las variables <i>cultura ambiental</i> y <i>abandono de la agricultura</i> . ....	134
Figura 4.30. Prioridad por municipio en la gestión del agua en la cuenca del río Metztitlán.....	136
Figura 4.31. Usuarios y actores de interés para la gestión del agua en la cuenca del río Metztitlán. ....	139
Figura 4.32. Ejemplificación de la relación entre variables clave y estrategias para la gestión sostenible del agua. ....	140
Figura 4.33. Geoportal para la difusión de la información de la gestión del agua en la cuenca del río Metztitlán. ....	147

## Índice de tablas

Tabla 3.1. Datos e información básica para la caracterización de la cuenca. ....	60
Tabla 3.2. Variables generales encontradas para la cuenca del río Metztitlán.....	63
Tabla 3.3. Conceptualización de las variables generales del sistema en la cuenca del río Metztitlán. ....	64
Tabla 3.4. Relación de indicadores clave en la gestión del agua en la cuenca del río Metztitlán.....	72
Tabla 3.5. Criterios para la estandarización de indicadores.....	79
Tabla 3.6. Ponderación de indicadores para el MCE. ....	80
Tabla 4.1. Comportamiento de la precipitación y temperatura en la estación Venados, Hidalgo. ....	87
Tabla 4.2. Comportamiento de la precipitación y temperatura en la estación Tulancingo, Hidalgo. ....	88
Tabla 4.3 Disponibilidad media anual de aguas subterráneas en los acuíferos ubicados en la cuenca del río Metztitlán. ....	92
Tabla 4.4. Distribución del uso del suelo y la vegetación en la cuenca del río Metztitlán. ....	100
Tabla 4.5. Habitantes por municipio en la cuenca del río Metztitlán para el año 2010. ....	103
Tabla 4.6. Grado de marginación por municipio en la cuenca del río Metztitlán.....	105
Tabla 4.7. Categorización de las variables clave en la gestión del agua en la cuenca del río Metztitlán. ....	117
Tabla 4.8. Categorización de las variables clave en AEPAS y en PEIR.....	117
Tabla 4.9. Características de los datos para el cálculo de indicadores del tema agropecuario ....	118
Tabla 4.10. Características de los datos para el cálculo de indicadores del tema agua y saneamiento.....	119
Tabla 4.11. Características de los datos para el cálculo de indicadores del tema social.....	119
Tabla 4.12. Características de los datos para el cálculo de indicadores del tema conservación .....	119
Tabla. 4.13. Relación de valores estandarizados de prioridad de los indicadores de gestión del agua en la cuenca del río Metztitlán.....	135
Tabla 4.14. Relacion de los valores de los indicadores y la caracterizacion de variable clave.....	137

## Siglas y acrónimos

AEPA	Áreas Estratégicas de Planeación
ANP	Área Natural Protegida
BDG	Base de datos geoespaciales
CAASIM	Comisión de Agua y Alcantarillado del Estado de Hidalgo
CONAFOR	Comisión Nacional Forestal
CONAGUA	Comisión Nacional del Agua
CONANP	Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas
CONAPO	Consejo Nacional de Población
ECAS	Espacio de Cultura Ambiental
ESRI	Environmental Systems Research Institute
DOF	Diario Oficial de la Federación
DR	Distrito de riego
DENUE	Directorio Estadístico Nacional de Unidades Económicas
FAO	Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación
GIRH	Gestión Integrada de Recursos Hídricos
GVF	Goodness of Variance Fit.
GWP	Global Water Partnership
HTML	Lenguaje de Marcas de Hipertexto (Hypertext Markup Language)
INEGI	Instituto Nacional de Estadística y Geografía
LAN	Ley de Aguas Nacionales
LGEEPA	Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente
MCE	Evaluación multicriterio

MICMAC	Matriz de Impactos Cruzados, Multiplicación Aplicada a una Clasificación
MIT	Matriz de Influencia Total
NOM	Norma Oficial Mexicana
OGC	Open Geospatial Consortium
ONU	Organización de las Naciones Unidas
PEIR	Presión-Estado-Impacto-Respuesta
PMD	Plan Municipal de Desarrollo
PNH	Programa Nacional Hídrico
RBBM	Reserva de la Biósfera Barranca de Metztitlán
REPDA	Registro Público de Derechos del Agua
RH26	Región Hidrológica 26 Río Pánuco
SADER	Secretaria de Desarrollo Agropecuario
SEDAGROH	Secretaria de Desarrollo Agropecuario del Estado de Hidalgo
SEMARNAT	Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales
SETUR	Secretaria de Turismo
SIG	Sistema de Información Geográfico
SMN	Sistema Meteorológico Nacional
UNESCO	Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura
VPH	Viviendas Particulares Habitadas

## INTRODUCCIÓN

La disponibilidad del agua en cuencas hidrográficas ha sido y seguirá siendo un elemento clave en el desarrollo de la sociedad. El agua es considerada como el recurso integrador, funciona como distribuidor de insumos primarios tales como nutrientes, materia orgánica y sedimentos, estos producidos por la actividad compleja de los recursos. Los procesos que ocurren en la parte alta de la cuenca repercuten en la parte baja por el flujo direccional del agua, y por lo tanto la cuenca debe ser manejada como un sistema (García et al. 2005). Y en caso en particular un río, no sólo constituye un ecosistema en sí mismo, sino que también un medio que permite o limita el desarrollo de la diversidad biológica y que además expresa el estado de los ecosistemas terrestres (Andrade, 2004).

El agua cumple la función básica de mantener la integridad del entorno natural, sin embargo, ante el fuerte incremento en la demanda, se hacen necesarias acciones para conservar este recurso. La contaminación, la calidad y cantidad de las fuentes de agua constituyen los principales problemas que afrontan los usuarios de los recursos hídricos y supone una amenaza para el mantenimiento de los ecosistemas naturales (Durango et al. 2018).

Ante este hecho, la Ley de Aguas Nacionales (LAN) señala que la gestión de agua cumple el proceso sustentado en el conjunto de principios, políticas, actos, recursos, instrumentos, normas formales y no formales, bienes, recursos, derechos, atribuciones y responsabilidades, mediante el cual coordinadamente el Estado, los usuarios del agua y las organizaciones de la sociedad, promueven e instrumentan acciones para lograr el desarrollo sostenible, en beneficio de los seres humanos y su medio social, económico y ambiental (LAN, 2016).

Frente a la crisis del agua en el mundo, resulta imperativo que los temas hídricos no sean tratados de forma aislada, por lo que surge la necesidad de un enfoque sistémico que replante la base del problema centrado en la escasez de las fuentes de agua, pero más que nada en la gestión de su demanda (Durango et al. 2018). Tal es el caso de la propuesta de Gestión Integrada de Recursos Hídricos (GIRH) promovida por la Asociación Mundial del Agua (GWP, por sus siglas en inglés, 2009), quien la define como “un proceso que permite la gestión coordinada del agua, la tierra y los recursos asociados dentro de los límites de una cuenca para optimizar y compartir equitativamente el resultante bienestar socioeconómico sin comprometer la salud de ecosistemas vitales a largo plazo” (p.18).

Los recursos naturales tales como el agua y sus cuencas, se distribuyen sobre espacios concretos, por lo tanto, son susceptibles a ser inventariados y representados en mapas. En la actualidad la forma más conveniente de almacenar y analizar un conjunto de datos del territorio es mediante el uso de los Sistemas de Información Geográfica (SIG), porque es posible relacionar el dato con su ubicación geográfica. Entre las potencialidades de los SIG, en cuanto a análisis espacial vinculado a la gestión del agua, se tiene la posibilidad de consultar información a través de capas de datos múltiples proporcionando así un análisis integrado de los fenómenos que suceden entorno al agua, y permite vislumbrar cómo los elementos están interactuando y, finalmente, con ello tomar decisiones en cuanto a su manejo (Bocco, 2007).

## **Planteamiento del problema**

En México la gestión del agua se ha orientado a satisfacer la demanda del recurso y subsanada mediante la creación de infraestructura, dejando de lado la perspectiva integrada de la planeación y administración del recurso hídrico. El reto que se presenta es actuar con una visión de largo plazo para evitar que los tiempos que marcan los ciclos de la administración pública impongan sus ideologías (Perevochtchikova, 2010). El avance y reconocimiento de la GIRH en el mundo es innegable, sin embargo, las evidencias muestran que los procesos en el análisis integrado son más conceptuales que aplicados (Rivera y Aguilar, 2015). Sigue habiendo brechas entre la colaboración de las partes interesadas con la capacidad de gestión, que se resume en un aumento en la presión sobre los recursos hídricos, ante esto, surge la necesidad de desarrollar nuevas herramientas y propuestas donde se integren a los actores idóneos para la gestión del agua.

Una manera de tener una visión sostenible del recurso es adoptando la GIRH, que se ha venido implementando internacionalmente. En el caso de México, está plasmada en su legislación. Pero no existe un modelo a seguir, solo se tienen procesos generales para su implementación. Sobre todo, si se toma en cuenta que las cuencas presentan diferencias socioculturales, conduce a tener pocos o casi nulos casos de éxito. Ante esta situación, el presente trabajo propone el involucramiento de actores que son clave en la gestión del agua, mediante el desarrollo de entrevistas para lograr un conocimiento sistémico de la gestión del agua en la cuenca, lo cual es una parte necesaria para comprender su funcionamiento.

Actualmente, en la cuenca del río Metztlán (ubicada en el centro del país) no existe un plan de manejo del agua orientado por los objetivos de la GIRH, mismo que es indispensable sobre todo si se considera que en el sitio existen diferentes usuarios del medio ambiente, los cuales tienen

diferentes necesidades que satisfacen a partir de los recursos naturales (en esencia el agua). De forma específica, en esta cuenca el uso del agua incluye el doméstico, industrial, recreativo, y para flora y fauna silvestre, entre otros, mismos que se aprovechan en un contexto socioeconómico y ambiental, pero que están interactuando en un sistema más amplio. Por esta razón es necesario apreciar las interacciones que permitan llegar a una gestión sostenible de este recurso vital.

Si bien un componente clave en la conservación del agua en la cuenca es el hecho de que ya existe un área de conservación en la parte baja de la misma (la cual incluye zonas núcleo para preservar recursos naturales), desafortunadamente dicha delimitación no considera la afectación que tendrían estas zonas por la influencia de las partes media y alta de la cuenca, como producto del movimiento natural del agua. Es decir, no existen medidas de regulación para contemplar las afectaciones que pueda sufrir la zona protegida por causa de actividades en las zonas aledañas. Lo anterior destaca la necesidad de considerar a toda la cuenca como un espacio de planificación hídrica, debido a que las características físicas del agua generan un grado de interrelación entre los usos y usuarios del agua en la cuenca.

Como se indicó anteriormente, actualmente en esta cuenca no existen estrategias que sea la base para la planeación de la gestión sostenible del agua, donde se contemple a todos los factores que intervienen en el sistema de gestión, por esto, la presente investigación propone un análisis integrado y sistémico de todos los elementos que están relacionados en la dinámica de la cuenca, la identificación de indicadores que combinen la visión de la GIRH con los objetivos del desarrollo sostenible, los cuales van a permitir evaluar la condición de la cuenca. Ante esto, se considera factible llegar a propuestas de estrategias que promuevan un desarrollo equilibrado en la cuenca.

## **Antecedentes**

La necesidad de explicar el medio físico, como la idea de la influencia de este sobre el humano, es muy antiguo. Por otro lado, el concepto de sistema es considerado como un paradigma subyacente tanto en la geografía física como en el conjunto de cada una de sus ramas. En la hidrología, el concepto de sistema ha facilitado la comprensión del ciclo hidrológico en el conocimiento del movimiento natural del agua, y en la influencia que tiene el interés social sobre este líquido. Aunado a lo anterior, es importante considerar el aprovechamiento óptimo del recurso agua en la corteza terrestre y las leyes que rigen dicho aprovechamiento, por lo que surge la necesidad de realizar estudios integradores del agua, es decir, viéndola como un sistema (Sala y Batalla, 1999).

El agua forma parte de las preocupaciones más grandes del pueblo mexicano; a pesar de los esfuerzos hechos por el gobierno, el abastecimiento de agua a una población tan numerosa sigue siendo uno de los principales retos. La gestión del agua en México ha evolucionado en función a las ideologías que han forjado su historia y de las coyunturas económicas. En cuestión a políticas públicas uno de los periodos en el cual se dio un giro muy importante fue a partir de 1982, por la intromisión de organismos económicos internacionales que modelaron el marco normativo y estructuras organizacionales del país (Rolland y Cárdenas, 2010).

El modelo de gestión mexicano se fundamenta en el principio de propiedad de las tierras y de aguas establecido en el artículo 27 de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos de 1917. Bajo este mandato, y en materia de conservación, se crea en 1988 la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente, en la cual, una de sus bases es el aprovechamiento sostenible, la preservación y, en su caso, la restauración del suelo, el agua y los

demás recursos naturales, de manera que sean compatibles la obtención de beneficios económicos y las actividades de la sociedad con la preservación de los ecosistemas.

Posteriormente, en 1992 se crea la Ley de Aguas Nacionales cuyo objetivo es regular la explotación, uso o aprovechamiento del agua, su distribución y control, así como la preservación de su cantidad y calidad para lograr su desarrollo integral sustentable; y donde enmarca que la cuenca constituye la unidad de gestión de los recursos hídricos, siendo la GIRH el “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” (LAN, 2016, p. 5). Actualmente la Comisión Nacional del Agua es la institución encargada de preservar las aguas nacionales y sus bienes públicos inherentes para su administración sustentable y garantizar la seguridad hídrica.

El gran desafío que afronta la gestión conjunta de cuencas es mejorar el aprovechamiento de los recursos naturales a partir de las necesidades y aspiraciones de las sociedades locales. Esto facilita que la sociedad se apropie mejor de la gestión de la cuenca y que sus repercusiones ambientales sean más sostenibles. Y al incentivar la participación de grupos sociales e instituciones locales en la toma de decisiones, la gestión de cuencas hidrográficas deja de ser una actividad neutra o exclusivamente técnica (FAO, 2007).

Una manera de promover la participación y organización de la población en el uso de recursos y en la toma de decisiones, es mediante la aplicación de herramientas como las entrevistas a informantes clave (Lujan et al. 2018 y Estuardo et al. 2015). De esta forma se incluye el análisis de datos de componentes socioculturales, como lo muestran Villegas et al. 2018, en el cual

identificaron a los actores de interés como pieza fundamental en el diagnóstico integral del territorio que les permitió ubicar la problemática de un área protegida en México.

En estudios de cuencas, los SIG se han utilizado desde hace por lo menos 40 años. Las aplicaciones más frecuentes han sido en temas como modelamiento hidrológico, estimación del balance hídrico, análisis integrado, planes de manejo de cuencas y definición de zonas prioritarias para la conservación de recursos (Bocco, 2007). Ejemplo de investigaciones donde se han aplicados dichas herramientas es el trabajo de Manzano (2017), quien desarrolló un modelo hidrogeomático de indicadores sistémicos que le permitieron elaborar un plan estratégico de GIRH para una cuenca en el estado de México; mientras que Núñez (2014) implementa un visor geoespacial en la web sobre los recursos hídricos a partir de la importancia del almacenamiento, gestión y comunicación de la información geográfica.

Referente a estudios en gestión del agua, se encuentra el realizado por Rivera y Aguilar (2015) donde plantean que los servicios de agua se encuentran en situación crítica, señalan que el crecimiento poblacional es un detonante en la demanda del servicio agua y la inequidad social. Y puntualizan la necesidad de planeación y aplicación de una política más integral que contemple diferentes ejes del problema para resolverlos en conjunto. En el trabajo de Pablos et al. 2014, señalan que los derechos de agua pueden y deben jugar un papel central dentro del enfoque de GIRH por cuencas; pero además Lujan et al. (2018) recalcan que, para evitar el riesgo de una situación crítica de los recursos hídricos, hay que poner atención a la cultura y estructura sólida tanto de la población como de los administradores del agua. Un ejemplo significativo, a lo que se debería de llegar en el plan GIRH, es la propuesta elaborada para la cuenca Lerma-Chapala-Santiago para el caso del estado de México (Díaz et al. 2009), siendo una herramienta para que los tomadores de decisiones constituyan una guía de alianzas estratégicas a favor de dicha cuenca.

Centrándose en la cuenca del río Metztitlán, estudios exponen toda una problemática entorno al agua. En su parte alta el agua es escasa y es la zona de mayor consumo por el uso industrial, de riego y doméstico, y donde se concentra la mayor cantidad de población. La parte media y baja es predominantemente rural, pero es hacia donde confluyen los escurrimientos, por lo que se genera toda una problemática de gestión de agua (López-Herrera et al. 2015). Entre las acciones sugeridas por los estudios previos, destaca el tratamiento de aguas residuales que son descargadas al río Metztitlán (Hernández-Acosta et al. 2015), ya que existe contaminación por coliformes fecales y estos pueden ser perjudiciales para la salud. Por lo que, se requiere un enfoque que relacione el conocimiento local con el conocimiento científico mediante la incorporación de una práctica bien establecida de investigación-acción.

La diversidad de ecosistemas representados en la Barranca de Metztitlán (incluida en la zona de estudio) y su entorno económico, social y cultural ha motivado a realizar diferentes investigaciones, lo cual a su vez propició a que se decretara en 2001 como área natural protegida bajo el nombre de Reserva de la Biosfera de la Barranca de Metztitlán (RBBM). En la declaratoria de esta reserva, la CONANP menciona que la disponibilidad del agua del río Venados (nombre que recibe en la parte baja de la cuenca), es relativamente abundante, sin embargo, la contaminación se hace presente por la utilización de agroquímicos y descarga de aguas negras de algunas comunidades, donde el principal uso es agrícola, seguido del recreativo, razón por la cual se deberá de mejorar la calidad del agua. Y finalmente hace hincapié en que todos los estudios se deberán de incluir aspectos relacionados con las cuentas ambientales, que puedan ofrecer alternativas de producción amigables con el ambiente.

La gran riqueza geológica presente en la región hizo que fuera seleccionada por la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO) para sumarse en el

año 2017 a la lista de Geoparques Mundiales. El Geoparque conocido como Comarca Minera se localiza en el centro-suroeste de la cuenca y comprende los siguientes municipios: Atotonilco el Grande, Epazoyucan, Huasca de Ocampo, Mineral del Chico, Mineral de la Reforma, Mineral del Monte, Omitlán de Juárez, Pachuca de Soto y Singuilucan, cuya característica es que expresan la historia geológica del territorio y revelan su relación con la cultura y la creación de espacios históricos a partir de la minería y la metalurgia. Esta delimitación incluye parte de la cuenca Metztitlán (incluida la RBBM) y, como referencia, al Parque Nacional el Chico (en otra zona de la región).

Lo anterior es pertinente, ya que muestra una pieza fundamental en la valoración por parte de la población hacia su entorno local, y utiliza al patrimonio geológico como herramienta detonadora de desarrollo comunitario; sigue una estrategia de desarrollo sostenible basada en la gestión de sus recursos geológicos, principalmente impulsando la educación y el geoturismo. La UNESCO (2017) afirma que la denominación del Geoparque es muy importante porque promueve una gestión apropiada basada en la sostenibilidad, incluida la calidad ambiental, la gestión participativa, estratégica y de conocimiento.

## **Justificación contextual y científica**

El enfoque de GIRH asegura el uso de los recursos hídricos desde un punto de vista sostenible, teniendo en cuenta los aspectos sociales, ambientales y culturales; además de que ayuda a reconocer a los sectores y actores de interés para gestionar el agua, a diferentes escalas, desde la local a la internacional.

El gobierno mexicano incluye en su normativa la inclusión de la GIRH como un modelo a seguir, sin embargo, falta su implementación a escalas locales o de cuencas. La tarea que se tiene es llegar a tener un equilibrio en las cuencas a largo plazo por ello una forma de lograrlo es adoptando la GIRH a la gestión de cuencas; se ha reconocido a la cuenca hidrológica como la unidad idónea para la gestión, por lo que se pueden generar soluciones en toda la cuenca.

El presente trabajo, propone a destacar los aspectos más significativos para gestión del agua en la cuenca tales como los principales usos del agua, los actores que influyen, y los retos que enfrenta la cuenca. A lo que se quiere llegar es a tener estrategias para gestionar el recurso hídrico y por medio de indicadores que puedan indicar la condición actual de la cuenca. Mediante el uso de SIG ayudará a revelar la condición de la cuenca desde un enfoque espacial, así como para hacer pública la información generada, sobre todo para que los actores tengan herramientas que les permitan visualizar el comportamiento de la cuenca, y así tomar decisiones del territorio fundamentada en datos oficiales y en elementos que se han analizado desde un punto de visto sistémico.

## Objetivos

### Objetivo general

- ✓ Analizar desde el punto de vista sistémico y espacial las variables claves del sistema que permitan definir los temas prioritarios y los actores de interés para la gestión del agua en la cuenca del río Metztlán.

### Objetivos específicos

- ✓ Caracterizar la cuenca con el propósito de identificar las variables clave influyentes en el sistema.
- ✓ Definir los indicadores para evaluar el sistema de gestión del agua en la cuenca, con la finalidad de conocer su condición y distribución geoespacial.
- ✓ Proponer las mejores estrategias generales de gestión sostenible del agua, a manera de aporte para orientar un futuro proceso de gestión integrada de recursos hídricos.
- ✓ Generar un geoportal de la cuenca como propuesta de material para la difusión de la información y cartografía de la investigación entre los actores de interés.

# **1. MARCO TEORICO CONCEPTUAL**

## **1.1. Teoría general de sistemas**

En este capítulo se retoman los aspectos más relevantes de la Teoría General de Sistemas (TGS), ya que esta teoría funge como la base teórica para este proyecto.

Es necesario iniciar con la definición del concepto de sistema. Un sistema es un conjunto de elementos que se encuentran relacionados entre sí Godet (1993). Es un grupo de partes y objetos que interactúan y que forman un todo o que se encuentran bajo la influencia de fuerzas en alguna relación definida (Johansen, 2012).

La TGS retoma los trabajos de Ludwin Von Bertalanffy publicados entre 1950 y 1968; sin embargo, la primera vez que el autor se refirió a la Teoría General de los Sistemas fue en 1937, cuando expone su trabajo en la Universidad de Chicago, pero sus orígenes se remontan años atrás. Surge ante la necesidad de querer explicar el funcionamiento de los organismos, ya que estos parecían funcionar bajo un esquema organizado (Bertalanffy, 1986).

Bertalanffy considera a la TGS un instrumento útil para dar modelos transferibles entre diferentes campos, como la formulación de principios válidos para sistemas en general, sea cual fuere la naturaleza de sus elementos componentes y las relaciones o fuerzas reinantes entre ellos. Bajo las siguientes premisas: existe una tendencia a la integración de las ciencias tanto naturales como sociales y esta integración gira entorno a sistemas, por lo que la TGS pudiera ser un recurso importante para la unidad de la ciencia y conducir a la integración de la ciencia que tanta falta hace (Bertalanffy, 1986).

Al referirse a un sistema, es preciso también mencionar que existen dos enfoques: el reduccionista y el de la Teoría General de Sistemas, el primero busca estudiar un objeto complejo reduciéndolo al estudio de sus unidades, es decir, explica el fenómeno por medio del estudio de sus partes o estudio individual de cada uno de sus elementos. Por el contrario, el segundo busca entender al sistema como un fenómeno complejo, como un todo único (Bertalanffy, 1988).

Johansen (2012) considera que la Teoría General de Sistemas fomenta el trabajo inter y transdisciplinario y, por el contrario, el enfoque reduccionista solo lleva a la pérdida de conocimiento. Es decir, esta última divide a la ciencia en subgrupos y conduce a menor comunicación entre ellos y a la pérdida del sentido de la realidad. Así que la TGS es una herramienta que permite la explicación de los procesos que suceden en la realidad, llevando consigo una visión integral y total.

De acuerdo con Tamayo (1999) la TGS tiene el propósito de estudiar el sistema como un todo, tomando como base los componentes del sistema, y analiza de estos, sus interrelaciones, y por medio de la aplicación de estrategias científicas conduce al entendimiento generalizado.

Johansen (2012) propone un método de análisis de sistemas que se orienta hacia la planeación para la toma de decisiones estratégicas, cuyos pasos no necesariamente se deben realizar en el orden que se presentan: 1) Definición de objetivos, 2) caracterización del medio, 3) Evaluación de los recursos, 4) Análisis de sus componentes e 5) Identificación de su dirección. En síntesis, se refiere a que es preciso ubicar los objetivos que sean medibles, bajo un análisis de los elementos que lo caracterizan tanto dentro, como alrededor, por lo que la dirección fija de los objetivos distribuye los recursos y controla el comportamiento del sistema.

La importancia de la TGS consiste en poder simular las interrelaciones que ocurren en distintos ámbitos espaciales y temporales, fundamental para el desarrollo del marco referencial en la gestión sostenible (Perevochtchikova, 2010). Bertalanffy (1986) ya mencionaba la inmersión del enfoque de sistemas a problemas apremiantes como a la contaminación del agua y la planificación del territorio. Por ejemplo, en su obra ponía de manifiesto la aplicación del enfoque en la política pública, basándose en lo expuesto en 1967 por el ministro canadiense Manning: “Existe una interrelación entre todos los elementos y constituyentes de la sociedad. Los factores esenciales en los problemas, puntos, políticas y programas públicos deben ser siempre considerados y evaluados como componentes interdependientes de un sistema total” (1986, p. 1). Semejante evolución no pasaría de ser otra de las numerosas facetas de cambio en nuestra sociedad tecnológica contemporánea (Bertalanffy, 1986).

Para lograr el desarrollo sostenible es importante comprender y materializar las vinculaciones entre la parte social, económica y ambiental. En otro aspecto, el comportamiento de un sistema está determinado por las vinculaciones entre sus variables, si en el sistema de una cuenca se hacen presentes los tres aspectos mencionados, y se quiere llegar a un equilibrio de estos, entonces se deberá de enfocar el funcionamiento de la cuenca desde un enfoque integrado, este enfoque es de sistemas (Gallopín, 2003).

Un enfoque de sistemas es la aplicación de la TGS en cualquier disciplina. Aparece para abordar el problema de la complejidad a través de una forma de pensamiento basada en la totalidad y sus propiedades (Martínez, 2006). Puede proporcionar una perspectiva útil, debido a que es una manera de reflexionar en función de conexiones, relaciones y contexto. Al poner en práctica el enfoque sistémico con el desarrollo sostenible se logra la integración de perspectivas múltiples (Gallopín, 2003).

## **1.2. Análisis Estructural de Sistemas**

En el apartado anterior (1.1) se presentó la definición de lo que es un sistema. En este apartado se hablará de la estructura de un sistema y su análisis.

Una estructura del sistema es una red de relaciones entre los elementos del sistema (Godet, 1993). Es la forma en cómo se organizan las partes para dar lugar a un sistema (Aracil y Gordillo, 1997). El análisis estructural se basa en ver la realidad como un sistema, una estructura y un fenómeno complejo, en establecer las relaciones de causalidad existentes entre las variables que lo componen (Mojica, 2005).

El análisis estructural de sistemas es una herramienta de estructuración que permite una reflexión colectiva de un grupo por medio de la implementación de preguntas. Ofrece la posibilidad de describir un sistema mediante el uso de una matriz que interconecta todos los componentes del sistema, y con ello logra una representación lo más exhaustiva posible del sistema estudiado al reducir la complejidad a sus variables esenciales (Godet, 1993).

El origen del análisis estructural se remonta a los años sesenta, con Jay Forrester en sus trabajos de modelos de dinámicas industriales y de dinámicas urbanas. Posteriormente, en 1973, Teniere-Buchot (en Arcade, 2004) analizó el sistema de agua y publicó un artículo referido a un modelo de la política de la contaminación del agua. En tanto que, el propio análisis estructural de sistemas fue introducido por el profesor Wanty entre los años sesenta y setentas (Godet, 1993). Fue hasta mediados de 1980 cuando el análisis estructural se involucra en diversos temas (Arcade, 2004; Godet, 1993).

De acuerdo con Godet (1993), existen dos formas para utilizar un análisis estructural, el primero es la utilización en la forma de decisiones, se refiere a la identificación de las variables y actores

sobre los cuales es necesario actuar para alcanzar los objetivos planteados, mientras que el segundo es la utilización en el proceso prospectivo, es decir, la investigación de las variables clave sobre las cuales debe basarse prioritariamente la reflexión sobre el futuro. Esta última, es la que se estará abordando sobre todo en el desarrollo del método Matriz de Impactos Cruzados, Multiplicación Aplicada a una Clasificación (MICMAC), en el cual la importancia de una variable se mide tanto por sus relaciones directas como por sus relaciones indirectas.

El mismo Godet (1993), señala que análisis estructural de sistemas comprende tres etapas:

a) Identificación de las variables:

Es la elaboración de una lista lo más exhaustiva posible de las variables que caracterizan el sistema constituido por el fenómeno estudiado y su contexto.

En este apartado, se considera útil realizar una reflexión colectiva sobre los factores que se deben de tener en cuenta, para esto los talleres se consideran un instrumento valioso, al igual es conveniente el realizar entrevistas no dirigidas con los representantes de los actores que participan en el sistema, por lo que también es útil adoptar diferentes puntos de vista y crear archivos de algunas sesiones de reflexión colectiva.

Para proceder a la identificación de las relaciones, es necesario dar una explicación detallada de las variables. Sin la creación de este lenguaje común, la reflexión y la identificación de las relaciones no tendrían sentido.

b) Localización de las relaciones en la matriz del análisis estructural:

Este apartado se refiere a describir la relación entre las variables. Para esto, se elabora un cuadro de doble entrada (matriz MICMAC). Las filas y columnas en esta matriz corresponden a las variables que surjan de la primera etapa.

La matriz se completa línea por línea. Para ello, se realiza una cuestión ¿Ejerce la variable  $i$  una acción afectiva sobre la variable  $j$ ? la respuesta será booleana, uno para afirmativo y cero para negativo.

La preparación de la matriz es una buena oportunidad para propiciar el diálogo, fomenta un intercambio y una reflexión que ayudan al crear un lenguaje común en el grupo de análisis prospectivo.

c) Búsqueda de las variables clave a través del método MICMAC:

El último paso es reducir la complejidad del sistema, para esto se trabaja con un subsistema interno, donde existen variables motrices (o independientes) y dependientes.

El objeto del método MIMAC es identificar las variables más motrices y dependientes, construyendo así una tipología de las variables mediante clasificaciones directas e indirectas.

En esta tercera fase, del análisis MICMAC se obtiene una matriz y un plano de influencia y dependencia de las variables del sistema de estudio. Este gráfico nombrado también como plano de motricidad, se divide en cinco secciones, incluye las variables motrices, de enlace, resultantes, excluidas y del pelotón (en la sección 3.8 se describen detalladamente cada una de estas secciones).

En resumen, el método de MICMAC permite una lectura completa del sistema, según resulten ser las variables motrices o dependientes. Finalmente, cabe destacar que no existe una lectura de los resultados de MICMAC que sea única, oficial y científica y es tarea del grupo de trabajo el plantearse preguntas y anticipar interpretaciones (Godet, 1993).

### **1.3. Gestión Integrada de los Recursos Hídricos**

El objetivo del presente apartado es analizar a la GIRH como un camino idóneo que permite atender las necesidades del recurso hídrico desde un punto de vista sostenible. Por ello, se enfocará en los principios, el plan de la GIRH y los retos que aún enfrenta en México.

#### **1.3.1. Fundamentos**

Desde sus orígenes el concepto de GIRH ha tenido diferentes connotaciones, Cap-Net (2005. P.7) se refiere a “proceso sistemático para el desarrollo sostenible, desarrollo y supervisión del recurso hídrico en el contexto de objetivos sociales, económicos y ambientales”. No obstante, el concepto aceptado mundialmente es el que propone la GWP (2009, P.22) como “proceso que promueve la gestión y el desarrollo coordinados del agua, el suelo y los otros recursos relacionados, con el fin de maximizar los resultados económicos y el bienestar social de forma equitativa sin comprometer la sostenibilidad de los ecosistemas vitales”. En síntesis, es un proceso sistémico que permite gestionar los recursos hídricos desde un enfoque sostenible.

A nivel internacional, la GIRH se había orientado al conocimiento de las autoridades de gobierno sobre las necesidades y al estableciendo una serie de acciones. Estrategia que había cubierto grandes fondos con el mínimo impacto, por ello, lo más viable fue la construcción de capacidades a nivel local o de cuencas (Díaz-Delgado et al. 2006), donde se involucren a los interesados, en una escala que permita realizar una descripción, así como una toma de decisiones a un nivel adecuado del problema (Indig et al. 2015; Kennedy et al. 2009).

Indig et al. (2015) mencionan que la GIRH ofrece una guía para alcanzar el desarrollo sostenible de los recursos hídricos, pero exige que las personas intenten cambiar sus rutinas de trabajo por un panorama amplio, el que rodea a sus acciones que son interdependientes de las demás. En este

sentido, también menciona que existen otros desafíos como los intereses sectoriales y los mitos socioculturales.

Cap-Net en 2005 exponía asuntos claves que se debían atender en la gestión del agua, mismos que siguen siendo vigentes hoy en día, al menos en México: a) la crisis de la gobernabilidad del agua, b) garantizar el agua para las personas, c) garantizar el agua para producción de alimentos, d) proteger los ecosistemas y e) atender la desigualdad de género. Esto demuestra que siguen vigentes los cuatro principios básicos de la GIRH que se muestran en el apartado 1.3.2. y que son la base significativa de este enfoque.

### 1.3.2. Origen de la Gestión Integrada de Recursos Hídricos

Los principios que sustentan a la GIRH se originaron en la Conferencia Internacional del Agua y el Medio Ambiente (CIAMA), realizada en Dublín, en enero de 1992. En esta conferencia se trataron temas de los recursos hídricos, principalmente por los problemas de escasez, situación que se estaba volviendo crítica. Ante esto, se presentaron cuatro principios rectores que se deberían adoptar a nivel local, estatal e internacional, con el propósito de fomentar nuevos enfoques para el aprovechamiento y la gestión sostenible de los recursos de agua dulce.

Los cuatro principios rectores que proponen en la CIAMA (Naciones Unidas, 1992) son:

1. El agua dulce es un recurso finito y vulnerable, esencial para sostener la vida, el desarrollo y el medio ambiente.
2. El aprovechamiento y la gestión del agua debe basarse en un planteamiento participativo, en el que intervengan los usuarios, los planificadores y los encargos de tomar decisiones a todos los niveles.

3. La mujer desempeña un papel fundamental en el suministro, la gestión y la preservación del agua.
4. El agua tiene un valor económico en los diversos usos a los que se destina y debería reconocérsele como un bien económico.

La razón por la que se considera al agua como un recurso finito surge por el hecho de que el ciclo hidrológico genera una cantidad de agua en un tiempo determinado, al consumir y contaminar más agua de la que se puede regenerar, entonces se habla de una sobreexplotación del recurso, por lo que, algún día el agua aprovechable puede terminarse. Esto no puede permitirse ya que el agua es necesaria para vivir, y para todas las actividades que se realizan en el día a día. Entre estas actividades están las de producción, cuyo fin es generar un bien económico y/o social, de esta manera el agua posee un valor económico, el cual es necesario contemplar, pues al reconocer las necesidades monetarias se alcanza un uso eficiente.

Se puede decir, que el agua involucra a todos, y, por lo tanto, todos deberían de tomar conciencia y participar en las acciones en torno a ella, los políticos, las instituciones y organizaciones, al igual que la población. Ante esto, la mujer destaca por su rol de ser quien provee el agua y la salvaguarda para el uso doméstico, pero también para el agrícola y ambiental. Sin embargo, no se le considera en la toma de decisiones como al hombre. Entonces se necesita que la posibiliten para participar tanto en el análisis de la situación como en los ejercicios que contemplen acciones en los recursos hídricos, solo así se puede lograr un manejo participativo. De esta manera, al incluir todos los elementos necesarios (sociales, ambientales y económicos) se puede llegar a un desarrollo sostenible del recurso.

El evento que vendría a reforzar la necesidad de una gestión del recurso hídrico fue la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo (CNUMAD), también conocida como la Cumbre para la Tierra, celebrada en Río de Janeiro en 1992.

Los objetivos de la CNUMAD (Naciones Unidas, 1993) fueron establecer cooperación internacional para velar por los intereses de todos, destacando el desarrollo y la parte ambiental. En ella se precisan la adopción de 27 principios, los cuales a grandes rasgos se refieren a: El derecho de toda persona a una vida saludable en armonía con la naturaleza, en este sentido la población debe tener acceso a la información y participar en las decisiones de cuestiones ambientales.

Con el propósito de lograr un desarrollo sostenible, la protección del ambiente deberá de considerarse de forma integral con el desarrollo económico por lo que se deberán de reducir las formas de producción y consumo insostenibles y adoptar para ello tecnología innovadora en el marco de la sostenibilidad. Los principios también manifiestan la necesidad de legislación ambiental, y de la creación de herramientas que permitan evaluar el impacto ambiental. Ante los problemas ambientales internacionales, deben hacer consultas entre los miembros de los países. En conclusión, los estados deben brindarse apoyo mutuo para evitar efectos nocivos.

Posteriormente, en el año 2000, se llevó a cabo el Foro Mundial sobre el Agua y Conferencia Interministerial sobre Seguridad Hidrológica en la Haya. Este evento reafirmó la necesidad de atender la problemática actual y futura del agua. Los principales desafíos por atender en ese momento fueron: la necesidad del recurso básico, y de alimentos, la protección de los ecosistemas, así como de una conciencia ambiental, aquí hacen mención sobre el rigor que se debe implementar a los que contaminen, para lo cual deberán existir reglas y procedimientos para atender dicho tema.

En el foro se destaca la participación que debe tener la GIRH y menciona lo oportuna que es, ya que incorpora a todos niveles o usuarios del agua. Pero también es un gran reto, porque requiere de una buena gobernanza.

Otro evento importante es la Cumbre Mundial sobre el Desarrollo Sostenible (Naciones Unidas, 2002), realizada en Sudáfrica, como su nombre lo indica se trataron temas relacionados a favor del desarrollo sostenible. Se habló de un desarrollo que satisfaga las necesidades de la gente de hoy en día y de las generaciones futuras, pero también de la pobreza, del agua, la salud, educación, entre otros, que están relacionados directamente con el progreso de los países.

Lo anterior, solo es un recuento de algunos eventos que se consideran bases o fundamentos de todo el camino que se ha seguido para la conformación de la GIRH, como se mencionó surge ante la necesidad de atender los problemas, pero también para ver por el futuro del agua, ya que de esto depende en gran medida el desarrollo de la sociedad.

### 1.3.3. El plan de Gestión Integrada de Recursos Hídricos

Díaz-Delgado et al. (2006), reconocen que la GIRH es un proceso que inicia con un diagnóstico de la situación en el cual se identifican los problemas, se definen estrategias, se realiza una planificación de la inversión, se implementan acciones de conservación y se hace uso del recurso, finalmente se lleva a cabo tanto una etapa permanente de operación y gestión de los recursos hídricos, como de su monitoreo. Esto, en esencia es lo que propone Cap-Net como plan de GIRH.

El proceso para desarrollar un plan GIRH (figura 1.1), consiste en un ciclo apoyado en etapas que están acompañadas por evaluaciones. Lo que se espera lograr será un plan consensado, aprobado e implementado por el gobierno. En el cual, los usuarios y los políticos van a convertirse en un

ente más en los asuntos relacionados con el agua, en el campo del desarrollo sostenible (Cap-Net, 2005).



Figura 1.1. Plan de la Gestión Integrada de Recursos Hídricos  
Fuente: Cap-Net (2005).

El plan es un proceso cíclico, que incluye una serie de pasos que son sustentados por el plan de trabajo. De acuerdo con Cap-Net (2005), las etapas incluyen:

1. Inicio: Requiere de un equipo para organizar y coordinar esfuerzos. El punto de partida importante para lograr el plan de la GIRH es la comprensión de los principios que la sustentan.
2. Plan de trabajo y participación de los interesados: el plan de la GIRH requiere el reconocimiento, movilización y un fuerte compromiso por parte de los principales

interesados, algunos de estos son los políticos, se considera necesario incluirlos desde el inicio al fin del plan, porque son los responsables de la aprobación del plan.

3. Desarrollo de una visión estratégica: la visión estratégica es una guía que permite dirigir el plan, por lo que se espera sea coherente con los objetivos del desarrollo sostenible.
4. Análisis de la situación: con el propósito de definir las estrategias, en esta fase se identifican las fortalezas y debilidades en la gestión, así como los aspectos que deben ser abordados para mejorar la situación, con el fin de alcanzar la visión.
5. Estrategias de gestión del recurso hídrico: en esta etapa se definen y escogen las estrategias para una gestión sostenible del agua, mismas que serán el sustento del plan de GIRH por que dan una orientación sobre que, quien y cuando se debe ejercer alguna acción.
6. Preparación y aprobación del plan: en base a la visión, el análisis de situación y la estrategia del recurso hídrico, se puede preparar un borrador de plan de GIRH, cuyo propósito es que los interesados y los políticos concuerden en las múltiples concesiones y decisiones que deben efectuarse.
7. Implementación, seguimiento y evaluación: esta fase comprende la ejecución del plan, así como de evaluar los avances y resultados obtenidos, y la incorporación de experiencias y la readaptación del proceso.

Al realizar un plan GIRH debe cumplir con los objetivos plasmados en cada etapa, detallando e identificando los pasos a seguir a largo plazo, que van a requerirse para continuar en el camino hacia la sostenibilidad (Cap-Net, 2005). Para este trabajo, dado que el objetivo es la identificación de las mejores estrategias generales de gestión sostenible, se contempla seguir las bases de las etapas del plan GIRH, como un modelo idóneo ya que, aunque no se llegara a un plan de GIRH como tal, sí se espera que la investigación sienta las bases para el mismo.

#### 1.3.4. Retos que enfrenta la gestión del agua en México.

En este apartado se mencionan los principales desafíos que enfrenta la gestión del agua en México, se habla de veracidad de la información, de la contaminación del agua, de la cultura ambiental, y de la gobernanza del agua.

De acuerdo con Perevochtchikova (2013), para lograr una gestión del agua dentro de esta visión integradora a largo plazo, se requiere contar con una amplia colección de información del agua que permitan determinar las tendencias de los procesos y proyecciones de su comportamiento y, con esto, poder elaborar las estrategias de acción. Ante esto, los problemas en cuanto a información se refieren, son: datos sectoriales, dispersos, incompatibles por diferencias en escalas y técnicas (en especial a escala local), por falta de continuidad, además de poco utilizados, conocidos y compartidos (sobre todo en el ámbito académico).

En este sentido, algunos de los retos que propuso Perevochtchikova (2013) y que siguen siendo clave en la gestión del agua son: fortalecer la comunicación entre la sociedad, la academia y las autoridades, y estimular la participación ciudadana proactiva y consciente de la agenda política. La investigadora considera, además, que se necesita del desarrollo e implementación de una coherente estrategia nacional dentro de una visión integrada de la gestión del agua.

En cuanto al aprovechamiento del agua del subsuelo, Pacheco-Vega (2015) indica que existe una fuerte presión por parte del sector privado (principalmente por embotelladoras de agua) sobre los gobiernos nacionales para ofrecer en venta o concesión la asignación de los derechos de usufructo de los acuíferos. Dicha presión apenas y puede ser contendida por los débiles sistemas nacionales. Por otro lado, el abatimiento de acuíferos inducido por prácticas antropogénicas y con fines principalmente económicos, vulnera la seguridad hídrica y de alimentos (Martínez-Austria et al.

2019). Por esto, es necesario fortalecer los mecanismos institucionales en la gobernanza por parte de los gobiernos, en el federal, estatal y municipal.

En relación con la seguridad hídrica, los retos que requiere atender México son disminuir la brecha fiscal, es decir la discrepancia entre las responsabilidades de los actores públicos y los recursos disponibles; la fragmentación de responsabilidades entre los diversos niveles de gobierno; así como la rendición de cuentas, que se manifiesta en la falta de reportes de la acción pública, así como para la supervisión (Martínez-Austria et al. 2019).

Actualmente, las acciones en materia de cultura ambiental por parte de la Conagua están encaminadas a la utilización sustentable del agua, mediante procesos de comunicación y divulgación, en medios masivos y alternativos de comunicación, así como en la educación formal y no formal, y en espacios de participación social (Ortega-Gaucin y Peña-García, 2016). Sin embargo, los autores consideran que las campañas no están orientadas de manera correcta, que no toman en cuenta las diferencias de la población, y que promueven una visión parcial y coyuntural del problema, en este punto es preciso hacer énfasis, se ha promovido el ahorro del agua centrado en el consumo doméstico, pero no en el uso agrícola e industrial que son los sectores que más usan y contaminan agua.

Para contrarrestar la contaminación del agua, se opta por instalar plantas de tratamiento de agua, las cuales son inadecuadas, tienen costos elevados y sus efectos se ven a largo plazo, además de que la construcción de las plantas no garantiza su operación y cuando éstas operan, no hay seguridad de que el agua tratada cumpla con las normas estipuladas. A tal efecto, la política pública sólo surtirá efectos si se enfoca en mejorar la calidad de las descargas municipales e industriales, las cuales provienen de zonas con gran actividad económica y densidad poblacional alta. Por lo

que, se debe analizar la construcción de las plantas de tratamiento que realmente valen la pena operar (Ibarraran et al. 2016).

Para atender el abastecimiento de agua se sabe que en la mayoría de los casos se requiere de entubar el agua, lo cual implica ciertos gastos, que varían de acuerdo con la distancia y altura, su disponibilidad, los materiales, la tecnología y la eficiencia, entre otras variables que cambian de un lugar a otro. Es importante considerar que las tarifas no necesariamente reflejan el costo que tiene para un organismo operador proporcionar este servicio, normalmente esta subsidiada. Esto sucede principalmente para el uso doméstico y agrícola. Sin embargo, las personas que no tienen conexión con la red deben acarrear el agua o pagar pipas, lo que significa que no se benefician del subsidio a pesar de que son las más necesitadas (CEMDA, 2006). Entonces ¿Cuál es la lógica del subsidio? No quiere decir que todos los que están conectados a la red deberían de pagar más, significa que se necesita analizar las recaudaciones por acceso al servicio.

En México, los costos ambientales no se consideran ni tampoco los costos por el tratamiento de aguas residuales, lo que lleva a imposibilitar a las inversiones necesarias en ampliación y conservación de la infraestructura, por lo que es urgente la revisión de las políticas de tarifas y subsidios. Martínez-Austria et al. (2019. p. 119) reafirman la ausencia de un ente regulador autónomo e independiente del gobierno que regule, audite y supervise los servicios de suministro de agua y saneamiento, con atribuciones para condicionar el financiamiento de los municipios con base en el cumplimiento de indicadores de rendimiento en calidad y cantidad, así como en transparencia y rendición de cuentas. En la medida que se comprendan los problemas del agua y se genere conciencia de lo grave que es la situación, se podrá en forma conjunta contribuir a buscar soluciones en todos los niveles, que influyen en la gestión del agua (CEMDA, 2016).

#### **1.4. Planeación estratégica aplicada a la gestión del agua**

En el presente apartado se expone la función de la planeación estratégica como un modelo incorporado al enfoque de GIRH. Se describen los principales principios y procesos que la fundamentan.

La planeación estratégica es el proceso por el cual se prevé el futuro y se desarrollan los procedimientos y operaciones necesarias para alcanzarlo. Por lo que, plantear estrategias implica determinar la dirección en la que una organización necesita avanzar para cumplir una misión (Leonard et al. 1998). Se puede considerar a la planeación estratégica como la orientación que se necesita seguir para alcanzar una meta que se ha fijado.

La GIRH considera como fundamental la participación de los actores de interés, por eso Díaz-Delgado et al. (2009, p. 27) la abordan desde la planeación estratégica participativa, indicando que es un proceso sistémico que integra el desarrollo del conocimiento intuitivo y analítico, mediante la participación de los involucrados y quienes a su vez se ven influenciados por el accionar del plan.

Díaz-Delgado et al. (2009) retoman los términos perspectiva, posición y rendimiento que la planeación estratégica de Morissey (propuesto en 1996a) para realizar un análisis de lo que cada etapa de la planeación estratégica (figura 1.2) supondría con respecto a la GIRH (figura 1.1), por lo que indica que ambas mantienen cierta relación. Por esto, considera a la planeación estratégica, como un instrumento útil para su implementación en una cuenca por medio de un enfoque participativo.

El proceso de planeación estratégica de acuerdo con Morrisey (1996a), se compone de tres fases de planeación, como se muestra en la figura 1.2.

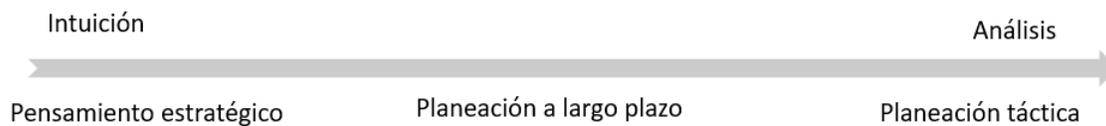


Figura 1.2. Proceso de la planeación estratégica.  
Fuente: Morrissey (1996)

Las fases de planeación se pueden describir de la siguiente manera (Morrissey, 1996):

- a) Pensamiento estratégico: en esta fase se construye una visión común del futuro y se apoya de aspectos intuitivos. Se puede decir, que se establecen las bases para la toma de decisiones en el proceso de planeación. Al hablar de bases se refiere a la visión, misión, los valores y las estrategias.
- b) Planeación a largo plazo: esta fase es punto medio entre el pensamiento intuitivo y analítico, aquí es donde se reafirman los principios sobre los cuales se realizó la planeación y se puede permitir realizar algunas modificaciones de esta.
- c) Planeación táctica: esta fase se basa en la parte analítica. Básicamente, lo que se pretende es responder qué, cómo, cuándo y quién realiza la planeación y su implementación. El propósito es identificar los resultados a lograr en un tiempo específico.

Ahora, retomando el proceso de planeación de la GIRH, se puede analizar que es una secuencia sustentada y lógica de fases que contemplan la gestión (Cap-Net, 2005) y que ésta cumple con los principios de la planeación estratégica como lo menciona Díaz-Delgado et al. (2009). Como se observa en la figura 1.2, en el pensamiento estratégico estaría presente la visión, el análisis de la situación, las estrategias y la evaluación del plan GIRH, los cuales comparten la parte filosófica de hacia dónde va la planeación. Durante el análisis de la situación y la identificación de estrategias, se considera la parte intuitiva y de análisis que propone la planeación táctica, pero

también en esta planeación se habla de un plan GIRH y su implementación. Es posible observar que todos los procesos del plan de trabajo, con excepción de la implementación recaen en una planeación a largo plazo, esto es, por que en todas las etapas de la planeación deben estar orientadas a lo que se quiere llegar. En el caso de la implementación, está más relacionada con la ejecución de los programas, proyectos y acciones de la planeación táctica, pero también con las políticas, que en muchas veces son externas al plan. En todos los casos es necesario establecer un compromiso a largo plazo, donde se contemple el plan como un ciclo que se requiere para lograr la gestión sostenible de los recursos hídricos.

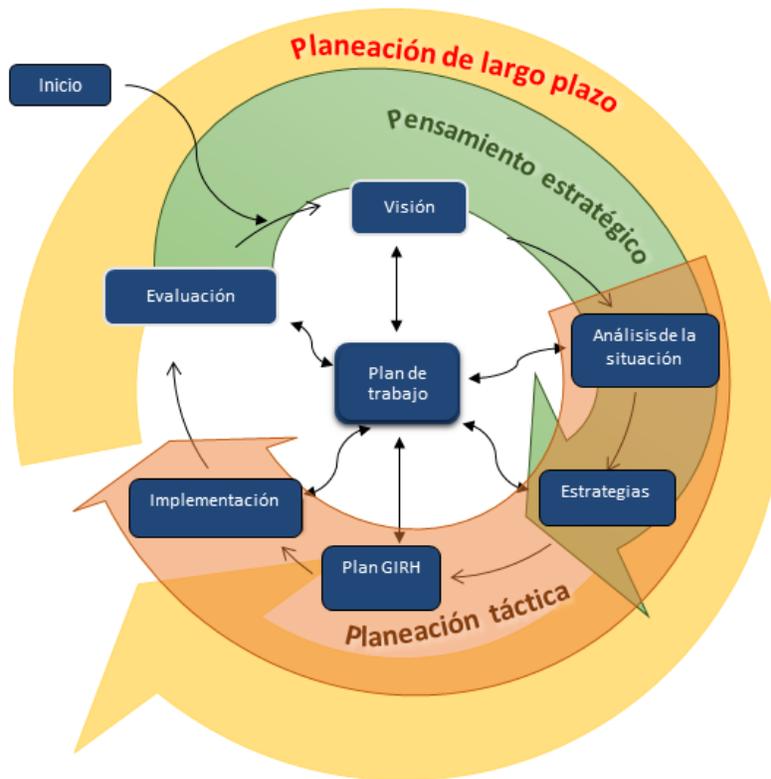


Figura 1.3. Correspondencia entre la planeación estratégica participativa y la GIRH.  
Fuente: elaborado a partir de Díaz-Delgado et al. (2009).

El proceso de planeación estratégica propuesta por Morrissey, (1996a) conlleva el uso de áreas de análisis y resultados, constituyen el medio por el que se traslada la situación del origen, previa de

la planeación, hacia la condición futura deseada. Con esta base, (Díaz-Delgado et al. 2009) proponen incorporar la articulación de Áreas Estratégicas de Planeación y Articulación (AEPA), cuyo propósito es comprender de manera global la problemática en la cuenca.

Con las AEPA se busca identificar áreas de gestión y articulación con una visión en conjunto, de ninguna manera pensar en la sectorización de las problemáticas en la cuenca. Se trata de tener una visión sistémica, mediante la construcción de un modelo conceptual donde represente de forma global el sistema de la cuenca, en conjunto con los indicadores de Presión-Estado-Impacto-Respuesta (PEIR) que estarán asociados a sus respectivas AEPA (Díaz-Delgado et al. 2009).

El modelo de indicadores PEIR es útil para comprender el proceso causa-efecto en el que intervienen factores, como la presión que ejercen las actividades humanas en la condición ambiental y socioeconómica de la cuenca (Díaz-Delgado et al. 2009; Manzano-Solís et al. 2007).

Se basa en lo siguiente:

- a) Se engloban dentro del término presión (P), todo lo referido a las presiones ejercidas por las actividades humanas, tanto las productivas como no productivas.
- b) El estado (E) se refiere a la condición del ambiente que se ve modificado por las presiones que se ejercen sobre él.
- c) En tanto, los impactos (I) son los efectos producidos sobre la población y sus actividades, derivados de los cambios en el estado natural del ambiente.
- d) Ante lo anterior, la sociedad realiza acciones para hacer frente a las situaciones presentes, esto se conoce como respuesta (R). Se traduce en acuerdos, leyes, proyectos o programas que se implementan para atender la situación actual o futura.

En México, la institución encargada de realizar la administración del agua es la Conagua, la cual promueve un sistema de trabajo de planificación hídrica tanto en la elaboración de planes y programas, así como en sistemas de implementación, seguimiento, control, retroalimentación con base en resultados y rendición de cuentas (Conagua, 2012). Sin embargo, no existe una planeación estratégica, la planeación solo está enfocada a dividir al país en regiones administrativas, con el objetivo de optimizar inversiones en proyectos con participación social limitada y controlada por los Consejos de Cuenca, es decir una planificación centralista (Hernández, 2016).

Al no existir una planeación a nivel de cuenca o local, y si el objetivo es preservar el recurso hídrico desde un punto de vista sostenible, lo lógico es que se empieza a implementar un modelo de planeación que cumpla con los requisitos de la sostenibilidad, para esto un plan a seguir es el de la planeación estratégica adaptada por la GIRH.

Por esta razón, se propone a la planeación estratégica, como una base fundamental para comprender, primeramente, el funcionamiento de la cuenca, donde también se contemplan a los actores de interés en la cuenca, por lo que se estará en sintonía con la planeación estratégica aplicada. Esto es necesario, ya que, si los actores no se ven involucrados en el plan, es un hecho que no se lograría su implementación.

Finalmente, es preciso mencionar que en el presente trabajo se estará llegando solo hasta la etapa de la identificación de estrategias generales (como se muestra en los objetivos), no obstante, este trabajo pretende sentar las bases para un plan GIRH, razón por la cual se considera los fundamentos de la planeación estratégica.

## **1.5. Geoinformática en el análisis de recursos hídricos**

### **1.5.1. Sistemas de Información Geográfico**

Los avances en la informática proveen de herramientas para el análisis y manejo de la información, y sobre todo es útil para comprender los procesos que involucran a la Gestión Integrada de los Recursos Hídricos. Para llevar un manejo sostenible de los recursos hídricos se requiere información de la situación de las cuencas, ante esto, la calidad, cantidad y disponibilidad de los datos representan un papel importante. Un mecanismo ideal que permite satisfacer las necesidades de la GIRH es mediante la implementación de un Sistema de Información Geográfico (IIAP, 2011).

Los Sistemas de Información Geográfica o SIG son un conjunto de herramientas diseñadas para obtener, almacenar, recuperar y desplegar datos espaciales del mundo real (INEGI, 2014). Ayudan a visualizar, entender e interpretar la realidad, facilitando la toma de decisiones a todos los niveles, hacen comprensibles y manejables infinidad de datos que permiten descubrir relaciones, patrones y tendencias a través de mapas, gráficos o informes (ESRI, 2019).

A pesar de que los SIG se popularizaron a finales de los años 90s, la necesidad de utilizar herramientas informáticas para representar entidades como componente espacial es más antigua (Rubio y Gutiérrez, 1997). En los años sesenta, surgieron los primeros conceptos de geografía cuantitativa y computacional, poco tiempo después se sentaron las bases de la ciencia geográfica y los SIG (Aeroterra, 2020). Fue en la década de los setenta que se empezaron a emplear para la planeación y el impacto ambiental (Rubio y Gutiérrez, 1997). Actualmente, el uso de estos sistemas se utiliza para datos de cualquier tipo, y además permiten realizar consultas en entornos web (SGM, 2017).

Las aplicaciones del entorno SIG ejecutan tareas comunes que incluyen organización y visualización de datos, producción de mapas, análisis espacial, previsión de escenarios y creación de modelos; destacan sus aplicaciones en los siguientes sectores (Peña, 2006):

- a) Científicas: ciencias medioambientales y relacionadas con el espacio, desarrollo de modelos, entre otras.
- b) Gestión: planificación física y urbana, ordenamiento territorial, evaluación y seguimiento de los recursos, entre otras.
- c) Empresarial: marketing, planificación de transportes y localización óptima.

El SIG funciona como una base de datos geográfica asociada a objetos existentes en un mapa digital y con esto dan respuesta a consultas interactivas por parte de usuarios, lo cual permite relacionar el dato con su ubicación geográfica (SGM, 2017). Se considera, que el dato es un elemento importante al hablar de un SIG, lo es, pero existen otros componentes que interfieren en él, como son (Saenz, 1992):

- a) Hardware: se refiere al computador con sus respectivos dispositivos periféricos, incluyendo dentro de ellos los que permitan la entrada y salida de datos gráficos.
- b) Software: son los comandos y programas especializados que actúan sobre la información contenida en la base de datos.
- c) Dato: La gran diferencia del potencial de un SIG, está en las facilidades que presenta para manejar conjuntamente o en forma simultánea las bases de datos espaciales y sus atributos. Pueden ser de tipo vectorial y ráster, la primera es a partir de formas geométricas como son puntos, líneas o polígonos, mientras que la segunda es mediante celdas (mostradas como una imagen).

- d) Recursos humanos: generalmente los analistas y diseñadores de sistemas, están compuestos por personal multidisciplinario, que no sólo resuelvan los problemas de entrada y manipulación de los datos, sino también la conceptualización y análisis eficiente de las bases de datos integradas.
- e) Procesos: se refieren a las instrucciones que van dirigidas a los operadores o usuarios para el manejo eficiente y seguro de un SIG.

Los SIG se han convertido en una potente herramienta para planificar y gestionar los recursos hídricos gracias a que disponen de múltiples opciones para su análisis y evaluación (Flórez-Delgado y Fernández-García, 2017). Sin embargo, el uso de estrategias de gestión integradas, conocimiento local, los métodos de recopilación y análisis de datos, pueden ser un complemento para desarrollar un estudio integrado de un sistema cuenca (Wang et al. 2016). Es verdad que en la GIRH se necesitan mecanismos que permitan la interacción entre los actores de la sociedad y en especial de los datos (IIAP, 2011), y los SIG son una herramienta que ayudan en esta tarea.

Por otro lado, una técnica que se ha integrado a los SIG con la finalidad de analizar y describir el territorio es la evaluación multicriterio (MCE, por sus siglas en inglés), utilizada para llegar a una solución compromiso y para simular distintos escenarios que lleven a tomar la decisión final. Donde cada alternativa está definida por criterios que intervienen en la evaluación, por lo que cada capa temática en una base de datos podría convertirse en un factor o limitante. Un factor es un criterio que realza o detracta la capacidad de establecimiento de una alternativa (escala continua). En cambio, un limitante restringe la disponibilidad de la alternativa en función de la actividad evaluada, generando así valores temáticos de cero y uno (Barredo y Gomez, 2006). En el presente estudio se propone el uso del MCE con la finalidad de identificar zonas (municipios) prioritarios para la gestión del agua en la cuenca del río Metztlán.

### **1.5.2. Análisis espacial**

Desde que se crearon los Sistemas de Información Geográfica (SIG) se ha incorporado el análisis espacial mediante software en el campo de la Geoinformática. Actualmente, es la etapa de la circulación de datos geográficos de manera masiva y, con ello, una amplia difusión de la dimensión espacial de la realidad (Fuenzalida et al. 2015).

Un análisis es la distinción y separación de las partes de algo para conocer su composición (RAE, 2019). En este sentido, un análisis espacial se puede entender como como una colección de procesos con los que explotar los datos espaciales (Olaya, 2014). El análisis espacial identifica las relaciones entre elementos que coexisten en un espacio determinado (Peña, 2013).

El hecho de agregar datos y visualizarlos en un mapa ya es una forma de análisis. El análisis espacial va más allá, porque aplica operaciones geográficas, estadísticas y matemáticas a los datos que serán presentados en un mapa (SIGSA, 2020). El análisis espacial permite identificar y relacionar los objetos que componen el espacio geográfico, sus atributos e interacciones (Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt Colombia, 2015).

Fuenzalida et al. (2015) mencionan que cuando se enfoca al análisis espacial desde un punto de vista temático, constituye una serie de técnicas matemáticas y estadísticas aplicadas a los datos distribuidos sobre el espacio geográfico. Pero cuando se enfoca desde la tecnología SIG se considera su núcleo, ya que el análisis espacial posibilita trabajar con las relaciones espaciales de las entidades contenidas en cada capa temática de la base de datos geográfica.

Todo análisis espacial parte de un conjunto de datos espaciales, estos pueden ser de un único tipo, o de varios que se combinan en un procedimiento concreto (Olaya, 2014). Realizar un análisis espacial implica: a) definir la perspectiva del análisis en cada escala de tiempo y espacio, b)

identificar los recursos con que se cuenta (asociados a la escala de análisis), y c) identificar las herramientas que se utilizarán para el análisis (Peña, 2013).

De acuerdo con Peña (2013), al realizar un análisis espacial, también se debe considerar la estructura del sistema (aquí incluir los atributos cualitativos y cuantitativos) que da origen un proceso del territorio; la valoración de la vulnerabilidad de dicho sistema ante el medio natural, en este apartado considerar las amenazas y riesgos provenientes del medio que lo afectan; el impacto que sufre por las actividades culturales, políticas, económicas y demográficas, así como la influencia de la población; y por último, realizar comparaciones que permitan resaltar elementos importantes dentro del mismo.

### **1.5.3. Geoportales**

Los geoportales son de gran importancia para la compartición de la información geográfica. En este trabajo se propone el desarrollo de esta herramienta para la difusión de la información generada.

Un Geoportal es un portal Web que utiliza el geoposicionamiento y la navegación por medio de mapas para visualizar y acceder a información con referencia geográfica. Resultan de gran importancia para el uso eficaz de los SIG, en la elaboración y compartición de información cartográfica en formato digital y constituyen un elemento clave para una Infraestructura de Datos Espaciales (IDE) (IMT, 2015). Un geoportal tiene el objetivo de facilitar el descubrimiento, acceso y visualización de datos geoespaciales, por medio de un navegador de internet, favoreciendo la interoperabilidad, integración, e intercambio de información entre ciudadanos, Instituciones o agentes sociales (Velazco-Flórez y Joyanes-Aguilar, 2013).

De acuerdo con Rodríguez et al. (2019), la integración de los SIG en el entorno web permite publicar metadatos directamente sobre sus servicios, así como mapas, información y una compleja variedad de servicios que los usuarios pueden ver, usar, combinar y disfrutar. Lo que se traduce en más oportunidades para compartir información y aprovechar otros servicios de interés. Los Geoportales ya no son simplemente herramientas para la visualización y creación de mapas simples, sino que se convierten en el soporte para la integración de servicios basados en SIG, que representan una fuente de datos reales, donde los usuarios pueden crear nuevas bases para el análisis espacial vinculadas a la realización de proyectos centrados en la sostenibilidad (Rodríguez et al. 2019).

En el caso de los recursos hídricos, las tendencias actuales se están centrande en la difusión de la información por medio de Geoportales, los cuales abren las posibilidades de ser herramientas útiles para la toma de decisiones y la mejora de la calidad de vida y ambiental de los pobladores. El reto es diseñar un instrumento adecuado de gestión, administración, consulta, divulgación y visualización de información geoespacial de los proyectos hídricos, para usuarios de interés y el público en general (Núñez, 2014).

## **2. MARCO LEGAL Y DE PLANEACIÓN**

Un marco legal es un conjunto de disposiciones, leyes, reglamentos y acuerdos a los que debe apegarse una dependencia, entidad o individuo en el ejercicio de las funciones que tienen encomendadas. Proporciona las bases sobre las cuales un país se rige para construir y organizar las instituciones y formular las leyes para su funcionamiento. A continuación, se realiza una recopilación de la normativa que sugiere su aplicación dentro de la zona de estudio.

### **2.1. Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos**

A nivel nacional, el máximo referente jurídico es la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos, modificada en 2019, en términos de agua establece que toda persona tiene derecho al acceso, disposición y saneamiento de agua, para consumo personal y doméstico en forma suficiente, salubre, aceptable y asequible; y el estado es el encargado de garantizarlos, así como de emitir las leyes correspondientes para dichos fines (Const., 1917, art. 4).

Asimismo, señala que las aguas dentro de los límites del territorio nacional son propiedad de la nación. La nación tiene el derecho de transmitir el dominio de ellas a los particulares; y de regular, en beneficio social, el aprovechamiento de los elementos naturales susceptibles de apropiación, con objeto de hacer una distribución equitativa de la riqueza pública para lograr el desarrollo equilibrado del país y el mejoramiento de las condiciones de vida de la población. Por lo que, se deben dictar las medidas necesarias para el establecimiento de los asentamientos humanos, con las adecuadas provisiones para evitar la destrucción de los elementos naturales (Const., 1917, art. 27). En términos generales, la constitución enfatiza que el desarrollo de la sociedad debe considerar los objetivos del desarrollo sostenible, por lo que, siendo el máximo mandato, todas las leyes y programas que se promulguen deben contemplar las disposiciones de la constitución.

## **2.2. Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente**

La Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (LGEEPA) fue modificada en 2018 para atender los mandatos de la Constitución. Es reglamentaria de las disposiciones que se refieren a la preservación y restauración del equilibrio ecológico, así como a la protección al ambiente, en el territorio nacional y las zonas sobre las que ejerce su soberanía y jurisdicción. Sus disposiciones son de orden público e interés social y tienen por objeto propiciar el desarrollo sustentable y establecer las bases para garantizar el derecho de toda persona a vivir en un medio ambiente adecuado para su desarrollo (LGEEPA, 1988, art. 1).

En el artículo 23 de la LGEEPA señala que, para contribuir al logro de los objetivos de la política ambiental, la planeación del desarrollo urbano y la vivienda, además de cumplir con lo dispuesto en el artículo 27 constitucional en materia de asentamientos humanos, menciona que el aprovechamiento del agua para usos urbanos deberá incorporar de manera equitativa los costos de su tratamiento, considerar la afectación a la calidad del recurso y la cantidad que se utilice.

En cuanto al decreto para las áreas de protección de recursos naturales, que son áreas destinadas a la preservación y protección del suelo, las cuencas hidrográficas, las aguas y en general los recursos naturales localizados en terrenos forestales de aptitud preferentemente forestal (LGEEPA, 1988, art. 53), debe contener lo expresado en el artículo 46 de la LGEEPA y es la Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) la encargada de promover el ordenamiento ecológico del territorio dentro y en las zonas de influencia de las áreas naturales protegidas, con el propósito de generar nuevos patrones de desarrollo regional acordes con objetivos de sostenibilidad (LGEEPA, 1988, art. 60).

Para el aprovechamiento sustentable del agua y los ecosistemas acuáticos, le corresponde al Estado y a la sociedad la protección de estos; para lo cual se deberá considerar la protección de suelos y bosques, y el mantenimiento de caudales básicos de las corrientes de agua, y la capacidad de recarga de los acuíferos (LGEEPA,1988, art. 88). Además, y con el propósito de asegurar la disponibilidad del agua y abatir los niveles de desperdicio, las autoridades competentes promoverán el ahorro y uso eficiente del agua, el tratamiento de aguas residuales y su reuso (LGEEPA,1988, art. 92).

Por lo anterior, parte de los criterios para el aprovechamiento sustentable del agua y de los ecosistemas acuáticos, son la formulación e integración del Programa Nacional Hidráulico; el otorgamiento de concesiones, permisos, y en general toda clase de autorizaciones para el aprovechamiento de recursos naturales y del agua, conforme a las disposiciones previstas en la LAN, o en aquellos casos de obras o actividades que dañen los recursos hidráulicos nacionales o que afecten el equilibrio ecológico (LGEEPA,1988, art. 89).

De ahí que la SEMARNAT, en coordinación con la Secretaría de Salud, expedirán las normas oficiales mexicanas para el establecimiento y manejo de zonas de protección de ríos, manantiales, depósitos y en general, fuentes de abastecimiento. Las normas para el control de la calidad de las aguas y la protección de las que sean utilizadas o sean el resultado de esas actividades, de modo que puedan ser objeto de otros usos (LGEEPA,1988, art. 90 y 108).

Las aguas residuales, éstas no podrán descargarse en cualquier cuerpo o corriente de agua o en el suelo o subsuelo, sistemas de drenaje y alcantarillado de las poblaciones, sin previo tratamiento y el permiso o autorización de la autoridad competente; deberán reunir las condiciones necesarias para prevenir la contaminación (LGEEPA,1988, art. 121 y 122). De esta forma lo que se promueve

es evitar a toda costa la reducción de la disponibilidad, siendo el Estado y la sociedad responsables de la prevención y control de la contaminación del agua (LGEEPA,1988, art. 117) para evitar riesgos y daños a la salud pública (LGEEPA,1988, art. 118).

### **2.3. Ley de Aguas Nacionales**

La Ley de Aguas Nacionales es reglamentaria del Artículo 27 de la Constitución Política en materia de aguas nacionales; es de observancia general en todo el territorio nacional, sus disposiciones son de orden público e interés social y tiene por objeto regular la explotación, uso o aprovechamiento del agua, su distribución y control, así como la preservación de su cantidad y calidad para lograr su desarrollo integral sostenible (LAN, 1992, art. 1). En cuanto al desarrollo sostenible, en su artículo 3 presenta definiciones en cuanto a la temática del agua: la gestión del agua y la Gestión Integrada de los Recursos Hídricos, además de que a lo largo de sus disposiciones maneja los términos de sostenibilidad y equilibrio del ambiente.

Esta ley, cuya última reforma es de enero del 2020, agrega un párrafo relacionado con los volúmenes de aguas residuales y añade que la autoridad del agua puede adoptar dentro de sus procesos, la utilización de materiales biodegradables, siempre y cuando técnicamente sean viables, atendiendo a las disposiciones reglamentarias en la materia (LAN, 1992, art. 88bis).

Según esta ley, el poder ejecutivo federal es el responsable de promover acciones entre los gobiernos de los estados y municipios, la coordinación de la planeación, realización y administración de las acciones de gestión de los recursos hídricos por cuenca hidrológica o por región hidrológica por medio de los Consejos de Cuenca, donde participan y asumen compromisos los usuarios, los particulares y las organizaciones de la sociedad (LAN, 1992, art. 5). En otro apartado, considera como de utilidad pública y asunto de seguridad nacional la GIRH, la

protección, mejoramiento, conservación y restauración de cuencas hidrológicas, acuíferos, y demás depósitos de agua de propiedad nacional, para lo cual emitirá Normas Oficiales Mexicanas (LAN, 1992, art. 7).

Es importante mencionar que la planeación estratégica está contemplada en esta ley y que se deberá implementar en el Programa Nacional Hídrico en los términos tanto de la LAN, como de la Ley de Planeación, con la finalidad de emitir políticas y lineamientos que orienten la gestión sustentable de las cuencas hidrológicas y de los recursos hídricos. Asimismo, los estados deberán de generar programas hídricos para su contexto territorial (LAN, 1992, art. 15).

#### **2.4. Ley General de Desarrollo Forestal Sustentable**

La Ley General de Desarrollo Forestal Sustentable es Reglamentaria del artículo 27 constitucional y fue creada en el año 2018 para atender temas en materia forestal desde un enfoque sostenible, sus disposiciones son de orden e interés público y de observancia general en todo el territorio nacional, y tiene por objeto regular y fomentar el manejo integral y sustentable de los territorios forestales, la conservación, protección, restauración, producción, ordenación, el cultivo, manejo y aprovechamiento de los ecosistemas forestales del país y sus recursos; así como distribuir las competencias que en materia forestal correspondan a la Federación, las Entidades Federativas, Municipios y demás demarcaciones territoriales (LGDFS, 2018, art. 1).

La Ley en su artículo 32 menciona que son criterios obligatorios de política forestal el orientarse hacia el mejoramiento ambiental del territorio nacional a través del manejo forestal sustentable, para que contribuyan al mantenimiento del capital natural y la biodiversidad. Sugiere también, en el artículo 25 sobre el desarrollo de acciones y presupuestos tendientes al manejo integral de las cuencas, encargando de esta labor a la Conagua, la CFE y en algunos casos la Conanp. Y es de

competencia federal (LGDFS, 2018, art. 141) el promover el desarrollo de infraestructura y facilitar condiciones para el desarrollo forestal y territorial, como, por ejemplo, las obras hidráulicas, obras de conservación de suelos y aguas, viveros forestales, entre otras. En tanto que, la Secretaría autorizará el cambio de uso de suelo en terrenos forestales por excepción, previa opinión de los estudios técnicos justificativos (LGDFS, 2018, art. 93). Con fines de restauración y conservación declarará Áreas de Protección Forestal (LGDFS, 2018, art. 125).

## 2.5. Leyes estatales

### **2.5.1. Ley estatal de agua y alcantarillado del estado de Hidalgo**

Las disposiciones de esta Ley son de orden público e interés social y regulan la participación de las autoridades Estatales y Municipales en el ámbito de su competencia, en la realización de acciones inherentes a la explotación, uso, y prestación de los servicios públicos de agua (LEAAEH, 1999, art. 1).

Es la responsabilidad del director del ayuntamiento es promover y fomentar el uso eficientemente del agua, preservación, vigilancia de su calidad y la creación de una cultura que la valore (LEAAEH, 1999, art.15); así como coordinar el desarrollo de sus actividades con organismos públicos y privados, para la implementación de campañas de asistencia técnica, capacitación, promoción y difusión, concientización y demás que se requieran para garantizar el cuidado óptimo del agua (LEAAEH, 1999, art. 84 Bis).

Este director también es responsable de promover planes y programas coordinados con los organismos públicos y privados vinculados a la cultura, cuidado y uso razonable del agua; y coadyuvar con las autoridades educativas en la aplicación de una educación ambiental en torno a la cultura del agua. Esta ley sustenta el programa de cultura del agua que opera actualmente a nivel municipal y es el encargado de realizar las actividades descritas previamente.

### **2.5.2. Ley de aguas del estado de Veracruz de Ignacio de la Llave**

La ley de aguas del Estado de Veracruz es de orden público e interés social y tiene como objetivo establecer las bases de coordinación entre los ayuntamientos y el Ejecutivo del Estado (LAEV, 2001, art. 1). El estado es el encargado de participar en un Sistema Veracruzano del Agua, será el instrumento rector de las políticas, lineamientos y normatividad técnica para la planeación, formulación, promoción, instauración, ejecución y evaluación de la Programación Hidráulica en el Estado (LAEV, 2001, art. 7), así como administrar y preservar su calidad y cantidad para lograr el desarrollo sustentable del recurso agua. De ahí que para el otorgamiento de concesiones siempre se velara por el interés colectivo.

En esta ley menciona la adopción GIRH y del desarrollo sostenible como un proceso sustentado que permite conservar el agua (LAEV, 2001, art. 4). Cabe destacar que menciona la ejecución de las acciones necesarias para incorporar en todos los niveles educativos la cultura del ahorro y uso eficiente del agua como un recurso vital escaso, promoviendo el desarrollo de investigaciones técnicas, científicas y de mercado (LAEV, 2001, art. 7), aunque no indica la ejecución de actividades o programas que manifiesten el cuidado del agua de una manera más detallada como en las leyes correspondientes de Puebla e Hidalgo.

### **2.5.3. Ley de agua para el estado de Puebla**

Las disposiciones de esta Ley (cuya última reforma es 2015), son de orden público, interés social y son de observancia general, y regulan la participación de las Dependencias y Entidades de la Administración Pública Estatal y Municipal; se crea para atender las respectivas competencias con los recursos hídricos en el marco del desarrollo sustentable del Estado de Puebla y la mitigación y adaptación ante el cambio climático (LAEP, 2012, art. 1).

En la ley se considera a la GIRH como la base de la política hídrica para el estado de Puebla y se realizará en consistencia con las políticas y estrategias de largo plazo establecidas por la Federación (LAEP, 2012, art. 5). En cuanto a la cultura ambiental menciona la necesidad de fomentar el uso racional y conservación del agua como tema de seguridad nacional y alentar el empleo de procedimientos y tecnologías orientadas a su uso eficiente, así como el instrumentar campañas permanentes de difusión sobre la cultura del agua; y destaca la creación de espacios de cultura del agua en los municipios del estado (LAEP, 2012, art. 5). Derivado de esto surgen los Espacios de Cultura del Agua (ECAS), alineándose así a las demandas de la ley.

## **2.6. Programa Nacional Hídrico**

El Programa Nacional Hídrico (PNH) 2020-2024 es un programa derivado del Plan Nacional de Desarrollo 2019-2024. Busca atender el bienestar de la población y de los ecosistemas, frente a las situaciones de déficit de los recursos hídricos. Por ello, considera la atención de cinco problemas: el acceso a los servicios de agua potable y saneamiento equitativo, uso ineficiente del agua que afecta a la población y a los sectores públicos, las pérdidas humanas y materiales por fenómenos hidrometeorológicos extremos, el deterioro cuantitativo y cualitativo del agua en cuencas y acuíferos y finalmente, la insuficiente participación y de condiciones institucionales para la toma de decisiones.

Como parte de una estrategia integral, el PNH considera que debe existir un esfuerzo conjunto del gobierno, los usuarios, organizaciones civiles y la sociedad en general, para una planificación hídrica, donde se consideren las estrategias y políticas para el aprovechamiento del agua. En ese sentido en la programación hídrica se debe incluir la disponibilidad de las cuencas, el volumen requerido para el derecho humano y para los proyectos.

## **2.7. Programa de Manejo de la Reserva de la Biosfera Barranca de Metztitlán**

La zona denominada Barranca de Metztitlán fue decretada como Área Natural Protegida con la categoría de Reserva de la Biosfera el 27 de noviembre del 2000. Por esta razón, se crea en 2003 un programa de manejo que incluye una descripción detallada y diagnóstico de la zona, identifica problemáticas, e incluye además la zonificación de la Reserva.

Al tener un programa de manejo, presenta una serie de prohibiciones como se indica para las ANP en el capítulo 1 de la LGEEPA, con la finalidad de conservar los ecosistemas. Algunas de sus prohibiciones o reglas de la RBBM son especialmente en las zonas núcleo, donde queda estrictamente prohibido verter o descargar aguas residuales o cualquier otro tipo de contaminantes; usar explosivos o cualquier otra sustancia que pueda ocasionar alguna alteración a los ecosistemas. En la zona de amortiguamiento de la Reserva, está prohibido arrojar sobre los cauces y vasos, o infiltrar en los mantos acuíferos aguas contaminadas que excedan los límites establecidos por las normas oficiales mexicanas.

## **2.8. Normas Oficiales Mexicanas en materia hídrica**

Las Normas Oficiales Mexicanas (NOM), son regulaciones técnicas de observancia obligatoria que establecen reglas, especificaciones, características o prescripciones aplicables a un producto, proceso, instalación, sistema, actividad, servicio o método de producción u operación, así como aquellas relativas a terminología, simbología, embalaje, marcado o etiquetado.

La Comisión Nacional del Agua elabora las NOM sobre la conservación, seguridad y calidad en la explotación, uso, aprovechamiento y administración de las aguas nacionales y de los bienes nacionales enunciados en el artículo 113 de la Ley de Aguas Nacionales y estipulado en el artículo 4 constitucional. Algunas de las NOM aplicables a la temática ambiental del agua son: la NOM-

001-CONAGUA-2011 está relacionada con los sistemas de agua potable, toma domiciliaria y alcantarillado sanitario; la NOM-003-CONAGUA-1996 menciona los requisitos para la construcción de pozos de agua; la NOM-004-CONAGUA-1996 para la protección de acuíferos en la extracción de agua; y la NOM-011-CONAGUA-2015 establece las especificaciones y el método para determinar la disponibilidad media anual de las aguas nacionales (Conagua, 2016).

## **2.9. Plan Municipal de Desarrollo**

Un Plan Municipal de Desarrollo (PMD) tiene como fundamento legal la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos y es un documento que presenta el conjunto de acciones relevantes y estratégicas que, con base en las demandas y necesidades de la ciudadanía, delinea propuestas y alternativas para el desarrollo del municipio, establecen las principales políticas y líneas de acción que el gobierno municipal deberá tomar en cuenta para elaborar sus programas operativos.

Bajo este sentido, cada municipio dentro de la cuenca cuenta con un PMD el cual se rige por el periodo de administración que dure el ayuntamiento. Por esto, cada uno de estos planes contienen los objetivos, estrategias, acciones y políticas públicas que el ayuntamiento ejecutará para continuar con el desarrollo municipal.

Actualmente, el PMD que rige a los municipios en su mayoría son para el periodo 2016-2020. El periodo de los municipios Huayacocotla (Veracruz) y Metepec (Hidalgo) es 2017-2020, mientras que el de Chignahuapan (Puebla) es 2018-2021. Sin embargo, en todos los casos cuentan con objetivos y metas que llevarán a cabo para seguir los lineamientos del Plan Estatal de Desarrollo (PED) que les corresponda y cumplir con las demandas de la población y según lo promulgado en el artículo 15 constitucional, así lo indican de manera general en los documentos que emite cada ayuntamiento.

### 3. MATERIAL Y MÉTODO

El presente trabajo emplea el análisis estructural de sistemas, propuesto por Godet (1993) con el propósito de revelar las variables clave. En la figura 3.1 se presenta el procedimiento general a seguir para lograr el cumplimiento de los objetivos.

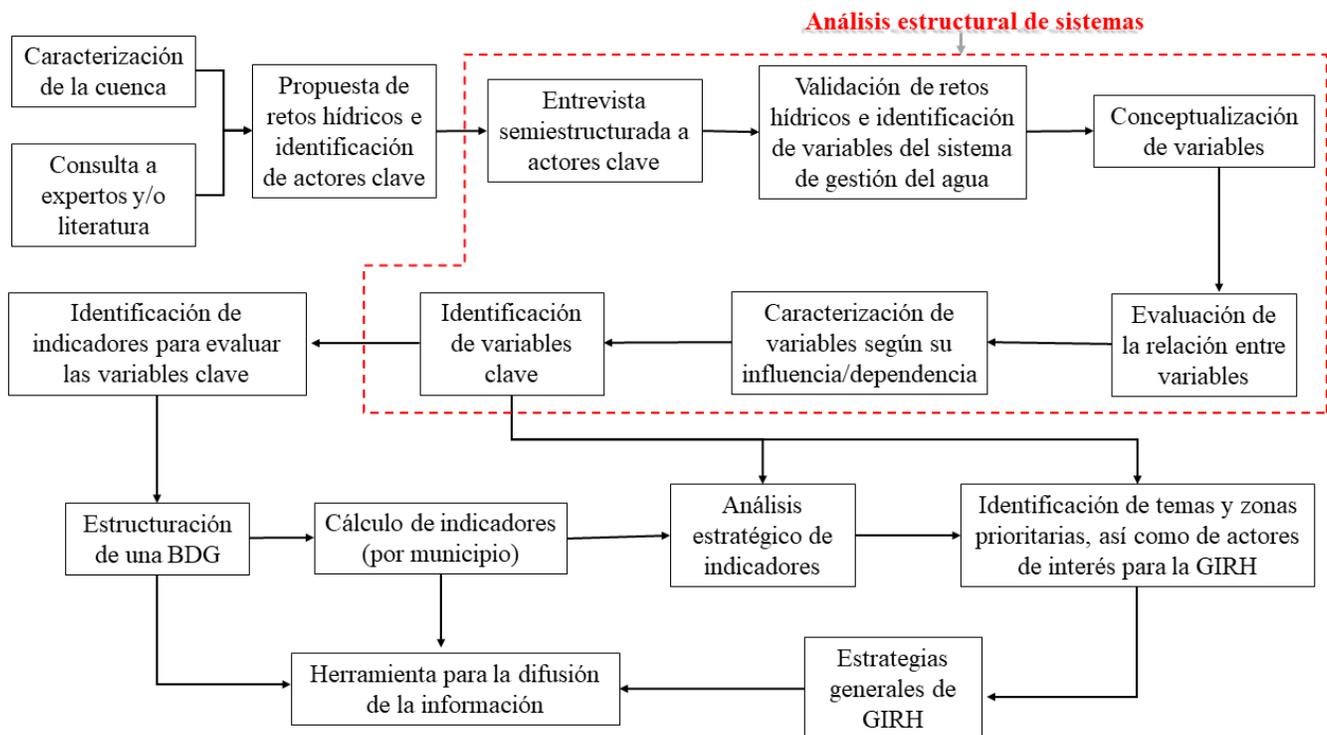


Figura 3.1. Procedimiento general para realizar el análisis sistémico y geoespacial de la gestión del agua en la cuenca de río Metztlán.

#### 3.1. Caracterización de la cuenca

El procedimiento inició con la realización de una caracterización de la cuenca del río Metztlán. Esta caracterización incluyó temas del contexto ambiental, social y económico de la cuenca desde la perspectiva de la gestión del agua. En la tabla 3.1 se presentan los datos e información básica que se consideró, así como la fuente de donde se obtuvo.

Tabla 3.1. Datos e información básica para la caracterización de la cuenca.

<b>Dato/Información</b>	<b>Formato</b>	<b>Escala</b>	<b>Fuente y año</b>
Información geoespacial de Interés Nacional que muestra la distribución del Uso del Suelo y Vegetación	Shp	1:250,000	INEGI, 2017
Conjunto de datos Edafológicos alfanuméricos	Shp	1:250,000	INEGI, 2004
Conjunto de indicadores de población y vivienda a nivel localidad del Sistema de Integración Territorial	Xls		INEGI, 2010
Marginación	Xls		Conapo, 2010
Disponibilidad de agua por acuífero	Shp	1:250,000	Conagua, 2014
Base de datos del REPDA: Aprovechamientos de aguas superficiales y subterráneas por estado	Kmz	1:250,000	Conagua, 2018
Precipitación y temperatura	Raster		UAEM-Idrisi, 2018
Áreas Naturales Protegidas	Shp	1:250,000	Conanp, 2018
Localidades urbanas Geoestadísticas	Shp	1:250,000	INEGI, 2015
Corrientes de agua	Shp	1:250,000	Conagua, 2018
Cuerpos de agua	Shp	1:250,000	Conagua, 2018
Distritos de riego	Shp	1:250,000	Conagua, 2017-2018
Carreteras	Shp	1:250,000	INEGI, 2013
Sequía	Shp		Monitor de Sequia de Norteamérica, 2019
Unidades económicas	Shp	1:250,000	INEGI, 2015

Fuente. Elaboración propia.

La delimitación de la cuenca se realizó por medio de un punto de salida el cual se ubica en la parte baja de la misma y con el uso del Modelo Numérico de Altitud (MNA) del Servicio Geológico de Estados Unidos de América (USGS, por sus siglas en inglés), esto mediante el uso del programa de sistema de monitoreo y modelación geoespacial Terrset.

La clasificación climática se realizó con el módulo automatizado de la clasificación climática Köppen-García desarrollado por el Centro de Recursos Idrisi de la Universidad Autónoma del Estado de México (CRI-UAEM). Para la clasificación, el módulo utiliza como entrada las capas

de la temperatura media mensual y de la precipitación mensual, del periodo 1960-2010. Para el cálculo de la temperatura media mensual se consideró el dato máximo y mínimo de cada mes para cuyo propósito fue promediarlo.

Para consultar la existencia de sequía para el año 2019 en la cuenca, se consultó al Monitor de Sequías de Norteamérica, el cual presenta la información mensual en capas vectoriales y la caracteriza en cinco categorías, como anormalmente seco (D0), sequía moderada (D1), sequía severa (D2), sequía extrema (D3) hasta sequía excepcional (D4), donde D0 se trata de una condición de sequedad, no es una categoría de sequía y D4 pérdidas excepcionales, escasez total de agua en embalses, es probable una situación de emergencia debido a la ausencia de agua.

La información de aprovechamientos superficiales y subterráneos en la cuenca se obtuvo del Registro Público de Derechos de Agua (REPGA) proporcionado por la Conagua. Este registro proporciona información sobre los títulos de concesión de los usuarios de aguas nacionales, el uso, así como el volumen de agua concesionada por año.

Una manera de conocer cuáles son las principales actividades económicas por municipio, es mediante el Directorio Estadístico Nacional de Unidades Económicas (DENUE) que produce el INEGI, el cual ofrece las unidades económicas activas en el territorio nacional, establecido por el Sistema de Clasificación Industrial de América del Norte (SCIAN) y adaptado para México.

A la par de la caracterización de la cuenca, se consultó bibliografía y a expertos para aclarar o detallar información en la conceptualización del sistema de gestión del agua en la cuenca. El resultado de este par de actividades fue una propuesta de identificación de retos hídricos en la cuenca, así como la identificación de actores clave en los cuales apoyarse en la siguiente etapa.

### **3.2. Propuesta de retos hídricos e identificación de actores clave**

Con la finalidad de validar los retos hídricos identificados en la cuenca, es decir, confirmar aquellos que existen y son evidentes, y descartar el resto, se consultó a los actores clave identificados. En una primera instancia, se consideró a directores de organismos operadores de agua potable y saneamiento, cultura del agua, responsables de áreas naturales protegidas y a jefes de distritos de riego. En esta parte se consideró como tema central los usos del agua, como uso para el sector agropecuario, ambiental y recreativo, doméstico y uso con fines industriales.

Se identificó que lo ideal era contar con entrevistas con los usuarios del agua, autoridades y población en general de cada una de las localidades en la cuenca, pero ante la limitación de tiempo y recursos (materiales, monetarios y humanos), sólo se aplicó la entrevista a actores clave que representaban a los demás actores y sus respectivos territorios.

### **3.3. Entrevista semiestructurada a actores clave**

El instrumento para recolectar la información fue la entrevista semiestructurada. Este tipo de instrumentos permite un diálogo con el entrevistado dando sólo pautas generales que aseguren mantenerse en el tema deseado, pero dando libertad al entrevistador para ahondar en aspectos específicos que considere pueden ser de utilidad en la investigación.

La entrevista tuvo una orientación de análisis causal. Se inició con preguntas que permitieran identificar los retos hídricos presentes en la cuenca. Posteriormente se preguntó sobre las causas que dan origen a dichos retos, así como las consecuencias resultantes de la manifestación de cada reto. Finalmente, se buscó recopilar información sobre las soluciones o acciones actuales que aplican autoridades, sociedad o academia para tratar de resolver cada reto.

### 3.4. Validación de retos hídricos e identificación de variables del sistema de gestión del agua

A partir de las respuestas plasmadas en las entrevistas semiestructuradas, se obtuvo un listado de 36 variables que se consideraron como las variables generales del sistema de gestión del agua de la cuenca del río Metztlán (tabla 3.2). En este sentido, y desde la perspectiva del análisis estructural, la experiencia de Godet (1993, p. 68) lo lleva a señalar que la lista de variables no debe ser mayor a 70 u 80. Por lo tanto, en esta investigación no fue necesario recurrir a la simplificación de variables.

Tabla 3.2. Variables generales encontradas para la cuenca del río Metztlán.

No.	Nombre de la Variable	No.	Nombre de la Variable
1	Acceso al servicio de agua para el sector agropecuario	19	Degradación del suelo
2	Conflictos entre usuarios del agua	20	Acceso al servicio de agua en las viviendas
3	Disponibilidad de agua durante la época de estiaje	21	Abastecimiento del agua
4	Eficiencia en el sistema de riego	22	Acceso al servicio de drenaje
5	Sistema de bombeo de agua de pozos	23	Gestión del servicio de agua
6	Abandono de la agricultura	24	Tandas del agua
7	Volumen de extracción en la pesca	25	Sistemas de medición del servicio de agua
8	Producción agrícola	26	Fugas de agua en la red de agua
9	Cultura ambiental	27	Sistema de cobro por el uso del servicio de agua
10	Disponibilidad de agua a la fauna y flora silvestre	28	Calidad del agua
11	Contaminación del agua por agroquímicos	29	Enfermedades de origen hídrico
12	Contaminación del agua por residuos sólidos	30	Disposición adecuada de aguas residuales
13	Contaminación del agua por la industria textil	31	Capacidad de almacenamiento
14	Deforestación	32	Letrinas de arrastre
15	Protección de áreas naturales	33	Potabilización del agua
16	Turismo	34	Participación en el tratamiento de aguas residuales
17	Reforestación	35	Medidas en la regulación del agua
18	Eutrofización de la laguna	36	Inversión en las plantas de tratamiento de agua

### 3.5. Conceptualización de variables

Una vez definidas las variables, se realizó una conceptualización de cada una de ellas en el contexto propio de la cuenca del río Metztlán (tabla 3.3). Básicamente, se ofrece la definición de la variable y las características y condiciones que tiene su presencia en la cuenca bajo estudio. La finalidad de esta etapa es asegurar que todos los evaluadores del sistema logren una visión común de sus componentes y sus evaluaciones se realicen considerando el contexto local y no sus experiencias previas (que pueden corresponder a contextos muy distintos).

Tabla 3.3. Conceptualización de las variables generales del sistema en la cuenca del río Metztlán.

No.	Nombre	Descripción
1	Acceso al servicio de agua para el sector agropecuario	Disponibilidad de agua para consumo del ganado y para la agricultura, como servicio municipal, del distrito de riego o por medio de acuerdo entre comités de agua.
2	Conflictos entre usuarios del agua	Desacuerdos entre los usuarios del agua, relativos al uso de agua, el sistema de cobro, acceso y su infraestructura de distribución.
3	Disponibilidad de agua durante la época de estiaje	Cantidad de agua que corre o es almacenada en los cuerpos de agua de la cuenca.
4	Eficiencia en el sistema de riego	Relación entre el volumen de agua consumida por la planta y la cantidad de agua que se utiliza para su riego
5	Sistema de bombeo de agua de pozos	Proceso que comprende la extracción del agua subterránea, su conducción y mantenimiento en la línea de agua.
6	Abandono de la agricultura	Abandono de la agricultura principalmente por la emigración, la pérdida de fertilidad de los suelos y el cambio en la temporada de lluvias.
7	Volumen de extracción en la pesca	Cantidad de peces extraídos por la pesca en la laguna principalmente.
8	Producción agrícola	Cantidad de productos que generan los terrenos por superficie agrícola, aquí se incluyen los de temporal y riego.
9	Cultura ambiental	Conciencia de la relación existente entre los seres vivos y su entorno, que propicie la adopción de valores sobre el cuidado del medio ambiente.
10	Disponibilidad de agua a la fauna y flora silvestre	Disponibilidad de agua para el consumo de la flora y fauna silvestre.
11	Contaminación del agua por agroquímicos	Se refiere a la contaminación del agua por desechos producto de agroquímicos que van desde sus residuos sólidos hasta su contaminación.
12	Contaminación del agua por residuos sólidos	Se refiere a la contaminación del agua por el arrojamiento de recipientes sólidos en general, que desechan tras su aplicación, y que estos de alguna manera llegan al agua.
13	Contaminación del agua por la industria textil	Se refiere a la contaminación del agua por los desechos de la industria textil, principalmente el agua no tratada de las lavadoras de mezclillas, la industria quesera y otras.
14	Deforestación	Sobreexplotación de la superficie boscosa

Tabla 3.3. Conceptualización de las variables generales del sistema en la cuenca del río Metztlán (continuación).

No.	Nombre	Descripción
15	Protección de áreas naturales	Consiste en la inclusión tanto de la población como de las diferentes dependencias existentes en la cuenca en la conservación de los recursos naturales
16	Turismo	Comprende las actividades de recreación, descanso y culturales que implican desplazamiento por la cuenca
17	Reforestación	consisten en acciones para la repoblación de especies arbóreas
18	Eutroficación de la laguna	Proceso en el cual el agua sufre una concentración de nutrientes propiciando un crecimiento excesivo de plantas acuáticas, principalmente por los nitratos y fosfatos
19	Degradación del suelo	Provocada por la erosión del suelo, es el proceso de pérdida en la fertilidad del suelo.
20	Acceso al servicio de agua en las viviendas	Disponibilidad de agua potable dentro de la vivienda, donde el servicio es provisto por el ayuntamiento o por acuerdos entre comités de agua entre comunidades
21	Abastecimiento del agua	Actividad que permite cubrir las necesidades de agua dentro de las viviendas. Servicio provisto por el municipio
22	Acceso al servicio de drenaje	Se refiere a que el sanitario de la vivienda cuente con conexión al servicio de drenaje que ofrece el municipio.
23	Gestión del servicio de agua	Proceso sustentado en el conjunto de actividades, políticas e instrumentos mediante el cual el estado y sus habitantes promueven la regulación del aprovechamiento sustentable del agua
24	Tandas del agua	Distribución del agua potable para las viviendas de forma alternativa de proveer la distribución de esta a la población
25	Sistemas de medición del servicio de agua	Se refiere al uso de medidor de agua en algunas cabeceras municipales con fines de cobro por el servicio.
26	Fugas de agua en la red de agua	Fugas de agua en las instalaciones que conducen el agua desde el origen a las viviendas
27	Sistema de cobro por el uso del servicio de agua	Esquema del cobro del servicio de agua potable en los municipios. Los cuales son tarifas fijas por año de acuerdo con el uso del agua que le den, en su mayoría es por uso doméstico, agropecuario e industrial.
28	Calidad del agua	Condición del agua para poder ser consumida o usada en diferentes actividades bajo un estándar de calidad.
29	Enfermedades de origen hídrico	Enfermedades que padece la población, los cultivos y el ganado, los cuales pueden ser causados por el consumo ya sea directo o indirecto del agua de mala calidad.
30	Disposición adecuada de aguas residuales	Que el agua residual sea tratada antes de darle un segundo uso o de desecharla en los cuerpos de agua.
32	Letrinas de arrastre	Es una alternativa de sanitario ya que no toda la población tiene la posibilidad y el acceso al servicio del drenaje, por lo que se utiliza en zonas rurales. Es un tipo de letrina que acumula el excremento humano en un hoyo en el suelo y utiliza agua para su arrastre.
33	Potabilización del agua	Consiste en la desinfección del agua de tal manera que pueda ser utilizada para el consumo humano. En la cuenca para su potabilización se recurre al uso de hipoclorito de sodio
34	Participación en el tratamiento de aguas residuales	La iniciativa que parte tanto de la población como de las autoridades por el tratamiento del agua residual.
35	Medidas en la regulación del agua	Adopción de diferentes medidas que permitan el cuidado del agua
36	Inversión en las plantas de tratamiento de agua	Conjunto de acciones que promuevan mayor inversión en tecnología que permita la ampliación y reactivación de las plantas tratadoras de agua.

### 3.6. Evaluación de la relación entre variables

Con las variables conceptualizadas, se procedió a realizar la evaluación de las relaciones entre variables. Este análisis hizo explícita la estructura del sistema de gestión del agua en la cuenca del río Metztlán. Se solicitó a siete expertos en GIRH y en temas relevantes para la gestión del agua en la cuenca que evaluaran la matriz con el fin de llegar a un consenso y así evitar algún sesgo por parte de quien desarrollo el proyecto.

El llenado de la matriz se realizó para cada evaluador, y sólo cuatro de los siete expertos realizaron de forma satisfactoria. Por cada pareja de variables, se planteó la siguiente cuestión ¿existe una relación de influencia directa entre la variable a y la variable b? si era afirmativo se registraba el valor uno, en el caso contrario se colocaba un cero. Este apartado dio como resultado 1,260 iteraciones (que son el resultado de la matriz de  $36 \times 36$ , exceptuando la diagonal) por evaluador. Este procedimiento permitió ordenar y clasificar ideas dando lugar a la creación de un lenguaje común dentro del grupo y a la vez redefinir las variables y por consecuencia afinar el análisis del sistema.

Para realizar esta actividad, y con el propósito de reducir la complejidad que conllevaba el llenado de la matriz, se apoyó de la aplicación “*llena MID*” utilizada por Manzano et al. (2019). Consistió en adaptar la aplicación con los datos de la cuenca. Por lo que, ya estaba en condiciones de poder realizar la evaluación por cada evaluador.

Figura 3.2. Aplicación informática *Llena MID*.  
Fuente: Manzano et al. 2019.

De lo anterior, se obtuvieron cuatro matrices. Lo que prosiguió fue integrarlas en una sola, para esto se consideró la mayoría de los votos como primera fase, en segundo lugar, la decisión del evaluador que logró mayor consistencia en el llenado de la matriz. Una vez definida la matriz final las siguientes etapas se trabajaron con el programa computacional MICMAC (acrónimo de Matriz de Impactos Cruzados, Multiplicación Aplicada a una Clasificación),

Respecto a esta consistencia, es importante mencionar que el porcentaje de llenado de la Matriz de Impactos Directos (MID) fue de 27%, Godet (1993, p. 80) ofrece un parámetro para asegurar una evaluación consistente, al indicar que la experiencia parece demostrar que una buena tasa de cumplimiento se sitúa alrededor del 15 % y 35%, mientras que tasas superiores revelan un cumplimiento excesivo de relaciones que se consideraron incorrectamente como directas (y menos pertinente será el método MICMAC en la consideración de las relaciones indirectas).

### **3.7. Caracterización de variables según su influencia/dependencia**

El análisis estructural de sistemas permite identificar las relaciones de influencia directa, relaciones de influencia indirecta y, como aporte de Manzano et al. (2019), las relaciones de influencia total. La revisión de la jerarquización de las variables en las diferentes clasificaciones (directa, indirecta y potencial) es un proceso que permite revelar la importancia de las variables

A continuación, se describe a detalle el proceso de trabajo con MICMAC, el cual condujo a la caracterización de las variables según su condición de influencia y dependencia, así como al reconocimiento de las variables clave del sistema de gestión del agua de la cuenca. A partir de la MID se identifican las relaciones indirectas. Para esto, se eleva la MID a una potencia recomendada por el programa MICMAC (que es cuando alcanza la estabilidad en las jerarquías tanto de dependencia como de influencia), resultando una matriz de influencias indirectas (MII). Finalmente, y de acuerdo con la propuesta Manzano et al. (2019), se integran la MID y la MII en una matriz de influencia total (MIT), para esto es necesario elevar la MII se estandarice dividiendo cada celda entre el máximo valor de la matriz, por lo cual se le denominó Matriz de Influencia Indirecta Estandarizada (MIIE), finalmente la MIT se integra sumando la MID y la MIIE.

### **3.8. Identificación de variables clave**

El procedimiento anterior, permite destacar la importancia de ciertas variables, pero de igual manera permite revelar ciertas variables que debido a sus acciones indirectas juegan un papel sustancial (y que la clasificación directa no ponía de manifiesto). Los resultados en términos de influencia y de dependencia de cada variable pueden estar representados sobre un plano de motricidad (el eje de abscisas corresponde a la dependencia y el eje de ordenadas a la influencia).

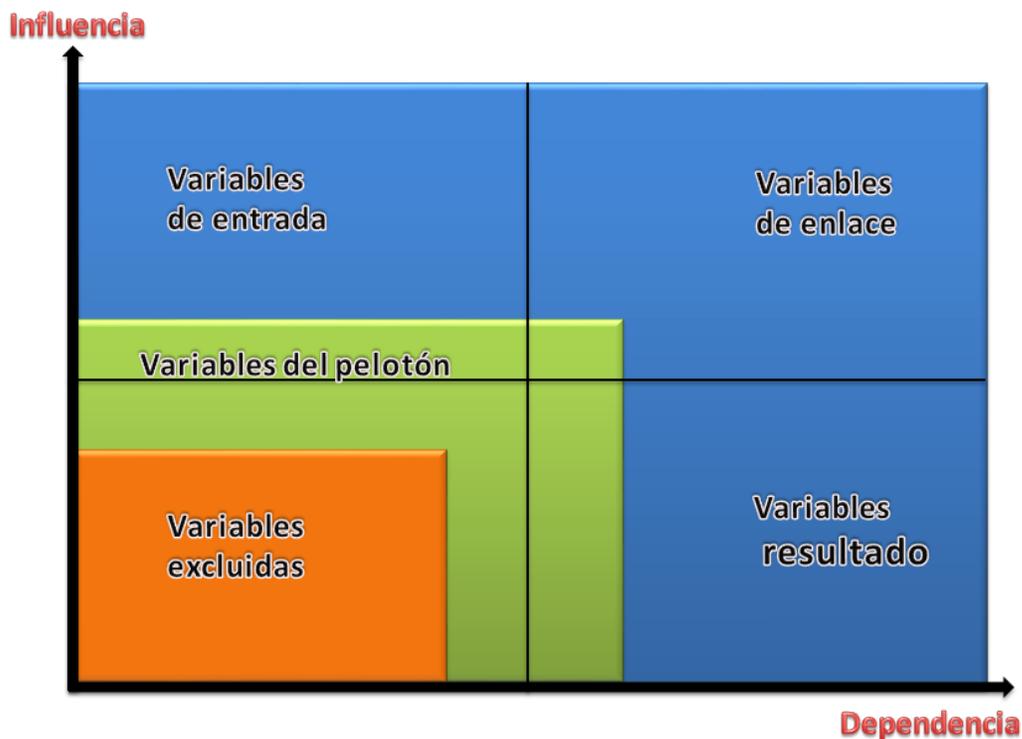


Figura 3.3. Plano de influencia-dependencia.  
Fuente: Godet, 2000.

Este plano de motricidad, también llamado de influencia-dependencia (figura 3.3), se subdivide en cinco secciones: las variables de entrada son las motrices y poco dependientes (cuadrante superior izquierdo), estas son las que condicionan el resto del sistema; las variables de enlace son muy influyentes y dependientes (cuadrante superior derecho), por lo que cualquier acción sobre estas repercute sobre otras y son altamente influenciadas; en cuanto a las variables resultado son poco influyentes y muy dependientes (cuadrante inferior derecho); las variables excluidas constituyen a factores autónomos y como el nombre lo indica pueden ser excluidas (cuadrante inferior izquierdo), aunque depende del objetivo; y finalmente las variables pelotón (franja entorno al punto intermedio de influencia y dependencia) cuya característica es que no se pueden definir claramente como pertenecientes a alguna de las categorías anteriores.

Para lograr la representación de la zona del pelotón en el plano de influencia y dependencia, se utilizó el método Goodness of Variance Fit (GVF) o mejor conocido como método de rompimientos naturales de Jenks, diseñado para encontrar el mejor arreglo de valores en diferentes clases. Es un proceso iterativo (ecuación 1), cuyo propósito es encontrar conjuntos de datos que representan una clase y son muy parecidos entre sí en el interior de la misma y son más diferenciados respecto a las otras clases (ESRI, 2019). Es importante señalar que Godet no ofrece un método para delinear esta zona pelotón, por lo que entre diversos métodos (media, desviación estándar, clúster), el GVF se ajustó mejor a los propósitos de este tipo de análisis.

$$GVF = \frac{SDAM - SDCM}{SDAM} \quad (\text{Ecuación 1})$$

Donde:

$$SDAM = \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \quad (\text{Ecuación 2})$$

$$SDCM = \sum_{h=1}^m (x_i h_i - \bar{x}_h)^2 \quad (\text{Ecuación 3})$$

*SDAM*= suma de las desviaciones cuadradas para la media de la matriz.

*SDCM*= suma de las desviaciones cuadradas para la media de la clase.

*x*= dato *i* del conjunto de datos.

*n*=total de datos.

$\bar{x}$ =media del conjunto de datos.

*h*=1,2,3...*m*.

*m*=total de las clases.

El método consistió en realizar un arreglo de los datos de forma ascendente de los valores de influencia y acomodarlos en tres grupos (bajo, medio y alto) con igual número de datos, esto originó límites entre las clases, los cuales se fueron moviendo de forma iterativa hasta el punto de que alcanzó el mejor arreglo, es decir, cuando el valor del GVF fue cercano a uno.

Como resultado final de esta parte del procedimiento fue la identificación de las variables clave, que de acuerdo con Godet (2000) son las variables más influyentes y dependientes del sistema, siendo estas las que se ubican en los cuadrantes de entrada, enlace y salida, pero al mismo tiempo fuera de la zona de pelotón y del cuadrante de las variables excluidas (zona color azul en la figura 3.3).

### **3.9. Identificación de indicadores para evaluar las variables clave**

Una vez conocidas las variables clave del sistema de gestión del agua en la cuenca del río Metztlán, fue posible identificar los temas prioritarios a nivel de cuenca para una gestión sostenible del agua. Sin embargo, es un hecho que estas variables no tienen el mismo comportamiento a lo largo y ancho de la cuenca, y para hacer explícita esta heterogeneidad espacial, se asoció cada una de las variables clave a un indicador con la finalidad de obtener una evaluación cuantitativa de la misma.

Para este apartado se buscó el indicador que permitiera evaluar a la variable clave, para esto se propuso al menos un indicador por cada una de éstas, que tuvieran una escala temporal y espacial similar y que permitiera poder evaluarla con los datos disponibles por las instituciones y/o dependencias del gobierno correspondientes. Para esta investigación, de las 12 variables clave identificadas, se logró reconocer un indicador para 11 de ellas, que aseguraran evaluar la condición del sistema desde un punto de vista integrado (tabla 3.4).

Tabla 3.4. Relación de indicadores clave en la gestión del agua en la cuenca del río Metztlán

<b>Variable</b>	<b>Indicador</b>	<b>Fuente y año</b>
Acceso al servicio de agua para el sector agropecuario	Volumen de agua concesionada para el sector agropecuario	REPDA CONAGUA 2018
Conflictos entre usuarios del agua	Conflictos registrados entre usuarios del agua	Censo de población y vivienda INEGI 2010
Abandono de la agricultura	Superficie con abandono de la actividad agrícola	Uso de suelo y vegetación S. VI INEGI 2018
Producción agrícola	Rendimiento de la producción agrícola	Cierre agrícola SIAP 2018
Cultura ambiental	Población atendida por espacios de cultura ambiental	Registro Nacional de Espacios de Cultura del Agua (ECA) 2014
Protección de áreas naturales	Superficie protegida por municipio	ANP CONANP 2019
Gestión del servicio de agua	Porcentaje de viviendas con acceso al servicio de agua	ITER INEGI 2010
Sistema de cobro por el uso del servicio de agua	Proporción de localidades que pagan el servicio de agua	Censo de Población y Vivienda INEGI 2010
Disposición adecuada de aguas residuales	Proporción de VPH con disponibilidad de drenaje	Censo de Población y Vivienda INEGI 2010
Participación en el tratamiento de aguas residuales	Número de plantas de tratamiento de aguas residuales	agua.org CONAGUA 2017
Medidas en la regulación del agua	Sin indicador	
Inversión en las plantas de tratamiento de agua	Rendimiento real del caudal tratado respecto a la capacidad instalada	agua.org CONAGUA 2017

Es preciso mencionar que, para la variable *medidas en la regulación del agua* no se contó con información para poder generar un indicador. Se pensó en el número de pláticas o talleres que proporciona el municipio, y se solicitaron estos datos mediante el portal de transparencia, sin embargo, la respuesta fue parcial y no se logró integrar toda la información necesaria para generar dicho indicador.

Por situaciones como la anterior, y con la finalidad de asegurar la mayor cantidad de indicadores disponibles, se decidió calcular los indicadores a nivel municipal para cada uno de los 25 municipios en la cuenca, y que además contaran con información entre los años 2010-2018.

### 3.10. Estructuración de una BDG

Para el cálculo de los indicadores, primero se estructuró una base de datos geoespacial (BDG). En esta estructuración se emplearon las etapas básicas del diseño e implementación de bases de datos: diseño conceptual, diseño lógico e implementación. En términos generales, en el diseño conceptual se expresó la conceptualización de cada indicador y la forma de calcularlo. En el diseño lógico se plasmaron los procesos lógicos a seguir para realizar el cálculo de los indicadores en un contexto geoespacial. Finalmente, durante la implementación se calcularon los indicadores dentro de la BDG.

A continuación, se muestra la fase que consistió en el desarrollo conceptual de la base de datos. En la tabla 3.5 se indica el nombre del indicador a que se refiere, así como la manera de calcularlo.

Tabla 3.5 cálculo de indicadores

Indicador	Descripción	Cálculo	Variables para el cálculo
<b>Volumen de agua concesionada para el sector agrícola</b>	Indicador que permite conocer el volumen de agua concesionada utilizada en el sector agrícola por municipio. Este indicador en complemento con el de producción agrícola es interesante para ver qué tan eficiente es el sistema de producción en la cuenca.	$volconAM = \frac{volcon\_A}{sup\_agri}$ (Ecuación 4)	VolconAM: Volumen de agua concesionada para consumo agrícola por municipio (mill. m3. Año/has) volcon_A: Volumen de agua concesionada por municipio (mill. m3. año) sup_agri: Superficie con actividad agrícola en el municipio de la cuenca (Has).
<b>Número de conflictos registrados entre usuarios del agua</b>	Se refiere a la proporción de conflictos registrados entre usuarios del agua, y pueden deberse a la falta de infraestructura o servicio de agua, la falta de drenaje y alcantarillado, por sequía, inundaciones o clima adverso y por la contaminación ambiental de acuerdo con el censo de población y vivienda 2010	$Confli\_P = \frac{Conflict}{Confli\_T} * 100$ (Ecuación 5)	Confli_P: Proporción de conflictos registrados por municipio (%). Conflict: Número de conflictos registrado entre usuarios del agua por municipio Confli_T: Total de conflictos registrado entre usuarios del agua, en la cuenca es igual a 22.

Tabla 3.5 cálculo de indicadores (continuación)

Indicador	Descripción	Cálculo	VARIABLES para el cálculo
<b>Superficie con abandono de la actividad agrícola</b>	Se refiere a la pérdida de superficie con actividad agrícola por municipio entre dos temporalidades. Se compara el cambio del uso del suelo agrícola entre el año 2013 (serie V) y el año 2017 (serie VI).	$aban\_agri = sup\_agr1 - sup\_agr2$ (Ecuación 6)	sup_agr1: superficie agrícola por municipio en hectáreas para el año 2013 sup_agr2: superficie agrícola por municipio en hectáreas para el año 2017 aban_agr: diferencia entre la superficie agrícola. Rend: rendimiento de la producción agrícola (ton/has)
<b>Rendimiento de la producción agrícola</b>	Es la relación de la producción total de cultivos cosechados por hectárea de terreno utilizada.	$Rend = \frac{Vol\_prod}{sup\_cose}$ (Ecuación 7)	Vol_prod: Volumen de producción de la superficie cosechada (ton) sup_cose: Es la superficie de la cual se obtuvo producción (has).
<b>Población atendida por espacios de cultura ambiental</b>	Población atendida por cada espacio de cultura del agua por municipio.	$Ecul\_pob = \frac{pob\_tot}{ne\_amb}$ (Ecuación 8)	pob_tot: Población total por municipio ne_amb: Número de espacios de cultura del agua o relacionados al cuidado del agua Ecul_pob: Espacios de cultura por población
<b>Superficie (%) protegida por municipio</b>	Proporción de la superficie municipal que se encuentra como área natural protegida.	$sup\_prot = \frac{sup\_mun}{sup\_anp} * 100$ (Ecuación 9)	sup_prot: porcentaje del área natural protegida por municipio sup_anp: Superficie del municipio que se encuentra como área natural protegida. (Has) sup_mun: Superficie del municipio
<b>Porcentaje de viviendas con acceso al servicio de agua</b>	Proporción de viviendas particulares habitadas con acceso al servicio de agua en la vivienda	$PO\_VPH\_A = \frac{VPH\_AGUA}{T\_VPH} * 100$ (Ecuación 10)	PO_VPH_A: Proporción de viviendas particulares habitadas con acceso al servicio de agua en la vivienda. T_VPH: Total de viviendas particulares habitadas en los municipios VPH_AGUA: Total de viviendas particulares habitadas con servicio de agua.

Tabla 3.5 cálculo de indicadores (continuación)

Indicador	Descripción	Cálculo	VARIABLES para el cálculo
<b>Proporción de localidades que pagan el servicio de agua</b>	Proporción de localidades con disponibilidad de sistema de cobro en el municipio correspondiente a la cuenca.	$p_{cobro} = \frac{lo_{cobro}}{n_{cobro}} * 100$ (Ecuación 11)	<i>n_loc</i> : número de localidades <i>lo_cobro</i> : localidades con sistema de cobro. <i>P_cobro</i> : proporción de localidades que cuentan con un sistema de cobro. (%) <i>PO_VPH_D</i> : Proporción de VPH con disponibilidad de drenaje.
<b>Proporción de VPH con disponibilidad de drenaje</b>	Total de viviendas particulares habitadas que tienen disponibilidad a la red de drenaje publica por municipio.	$PO_{VPH\_D} = \frac{VPH\_DRE}{T\_VPH} * 100$ (Ecuación 12)	<i>T_VPH</i> : Total de viviendas particulares habitadas en los municipios <i>VPH_DRE</i> : Total de viviendas particulares habitadas con servicio de drenaje.
<b>Número de plantas de tratamiento de aguas residuales</b>	Es el número de plantas de tratamiento de aguas residuales ubicadas dentro de la cuenca por municipio.	N_p_trat	N_p_trat: número de plantas de tratamiento de aguas
<b>Rendimiento real respecto a la capacidad instalada</b>	Se refiere al rendimiento que tiene la planta de tratamiento respecto a la capacidad instalada. Es decir, que porcentaje trata respecto a lo real o para lo que fue instalado.	$c_{real} = \frac{c_{tratado}}{c_{t\_inst}} * 100$ (Ecuación 13)	<i>c_real</i> : rendimiento real respecto a la capacidad instalada. (%) <i>c_t_inst</i> : caudal instalado para tratar (m <sup>3</sup> /s) <i>c_tratado</i> : caudal tratado (m <sup>3</sup> /s)

Con el propósito de hacer mejor la distribución de los indicadores, estos se agruparon a manera de entidades de acuerdo con las temáticas: agropecuario, social, conservación y agua y saneamiento (figura 3.4). La forma de relacionar los atributos entre cada tema fue la Clave Estatal (Cve\_edo) y municipal (Cve\_mun), misma que fungió como clave primaria entre las tablas o también conocida como entidades. Por lo que, ya se estuvo en condiciones de continuar con la etapa de implementación.

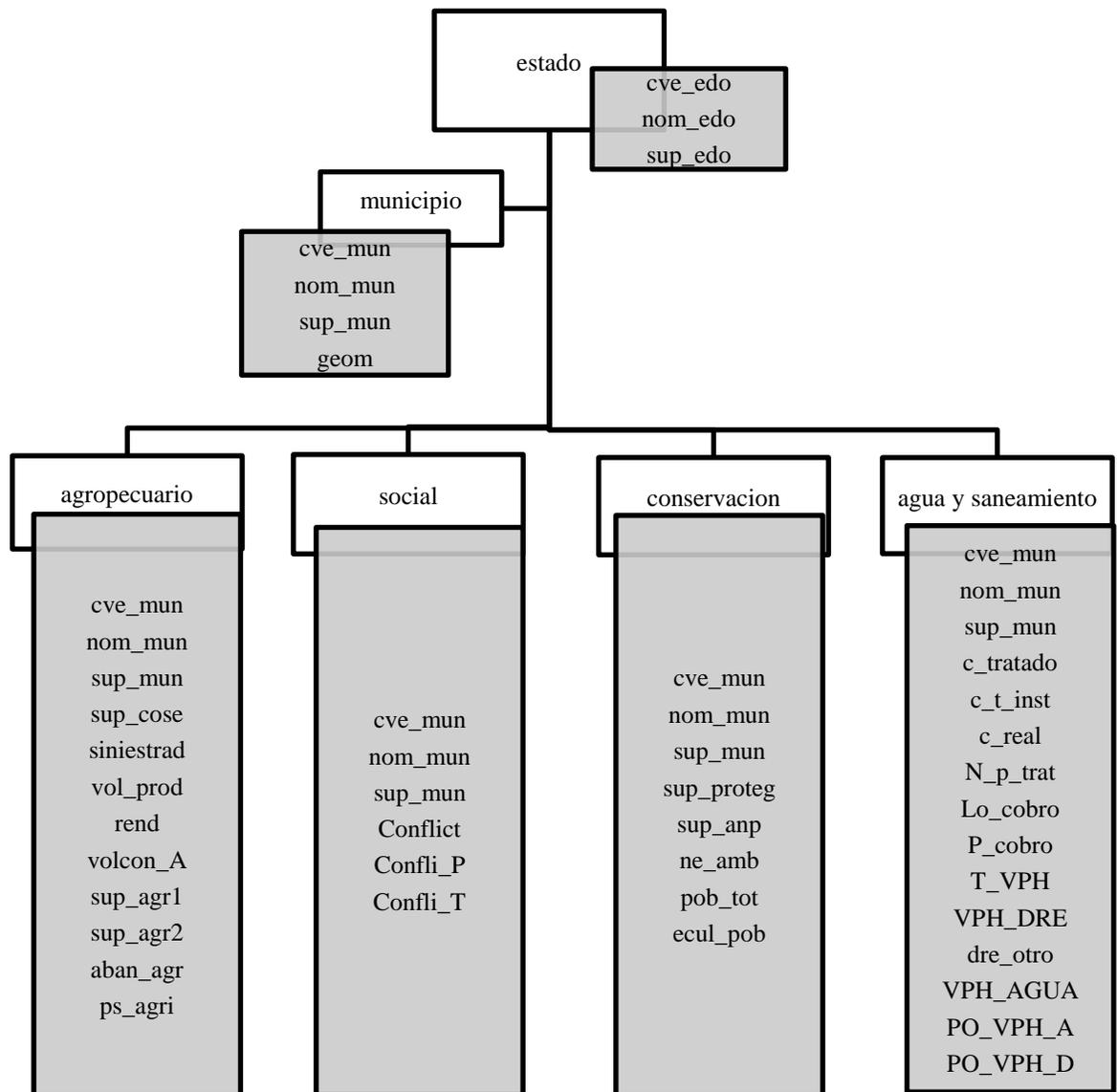


Figura 3.4. Esquema propuesto para el diseño de una Base de Datos Geoespacial

### **3.11. Cálculo de indicadores por municipio**

Como se mencionó anteriormente, durante la implementación se calcularon todos los indicadores identificados. En esta parte del proceso se trabajó con el Sistema de Información Geográfica QGIS y con el sistema gestor de bases de datos PostgreSQL adicionado con la extensión geoespacial PostGIS (para trabajar en un contexto de BDG). Se optó por trabajar con estos sistemas porque son de acceso libre, por su flexibilidad y por la compatibilidad existente entre ambos.

La BDG se administró por medio de pgAdmin de PostgreSQL. La herramienta PgAdmin admite desde la interfaz gráfica hacer búsquedas en lenguaje de consulta estructurada (SQL, por sus siglas en inglés), y desarrollar la base de datos relacional de forma fácil. Además, permite manejar la BDG desde QGIS por medio de PostGIS y de esta manera se vuelve más sencilla su manipulación.

### **3.12. Análisis estratégico de indicadores**

Con todos los resultados parciales generados a este punto (variables clave del sistema y sus respectivos indicadores geoespaciales), se estuvo en condiciones de realizar un análisis estratégico de los indicadores. En este análisis estratégico se clasificaron los indicadores clave según su carácter en el marco de trabajo Presión-Estado-Impacto-Respuesta o PEIR y según pertenencia a alguna de las categorías de las Áreas Estratégicas de Planeación y Articulación (AEPA) propuestas por Díaz et al. (2009) y Manzano (2017). La propuesta de estas caracterizaciones busca el manejo de un marco común entre gestores de procesos de GIRH.

### **3.13. Identificación de temas, zonas prioritarias y actores de interés para la GIRH**

Adicionalmente, se obtuvo la identificación de temas (variables clave influyentes/dependientes) y zonas (municipios) prioritarias para la gestión del agua en la cuenca del río Metztitlán.

Como complemento a MICMAC, sobre todo para analizar visualmente la estructura del sistema de gestión del agua en la cuenca del río Metztlán, se recurrió al software libre Gephi, creado principalmente para el análisis de redes y conectividad global. En esta herramienta cuando se selecciona una variable, el programa indica todas aquellas variables con las cuales está relacionada, ayudando así a identificar los temas prioritarios hacia donde se debería de orientar la gestión del agua en la cuenca.

Por otro lado, y con la finalidad de revelar las zonas prioritarias para la gestión sostenible en la cuenca, se optó por integrar la información de todos los indicadores en una sola capa. Esto fue posible, haciendo uso del método de MCE por medio de una combinación lineal ponderada (WLC, por sus siglas en inglés). Para llevar a cabo esta tarea, se empleó el módulo de MCE de TerrSet.

Para iniciar la evaluación multicriterio se necesitó contar con doce capas ráster, una por cada indicador, obtenidas en el apartado 3.11 e importadas al software. Como los valores de estos nuevos archivos estaban expresados en distintas magnitudes y unidades de medida (tabla 3.5), fue necesario estandarizarlas para que sus valores quedaran entre cero y uno, en un esquema adimensional. Esta normalización se realizó con la herramienta fuzzy de TerrSet. De forma específica, para la lógica difusa se empleó el tipo de función de membresía lineal para todos los indicadores, y con excepción de tres de ellos, se empleó una forma de la función de membresía monótonicamente decreciente (tabla 3.5).

Tabla 3.5. Criterios para la estandarización de indicadores

No.	Indicador	Forma de la función de membresía	Valores	
			Rangos	Unidades
1	Volumen de agua concesionada para el sector agropecuario	Incremento	0-19,416,000	mill. m <sup>3</sup> /año
2	Número de conflictos registrados entre usuarios del agua	Incremento	0-5	Número
3	Abandono de la superficie con actividad agrícola	Decremento	0-1,337.34	Has
4	Rendimiento de la producción agrícola	Decremento	1.6-22.6	ton/ha
5	Espacios de la cultura de agua por población atendida	Incremento	534-50,528	hab./espacio
6	Superficie protegida por municipio	Decremento	0-88	%
7	Porcentaje de viviendas con acceso al servicio de agua	Decremento	42.8-96.8	%
8	Proporción de localidades que pagan el servicio de agua	Decremento	0-55	%
9	Proporción de VPH con disponibilidad de drenaje	Decremento	26.6-94.2	%
10	Número de plantas de tratamiento de aguas residuales	Decremento	0-4	Número
11	Rendimiento real del caudal tratado respecto a la capacidad instalada	Decremento	0-100	%

Una vez estandarizados los indicadores, se procedió a realizar la MCE bajo el esquema de combinación lineal ponderada (WLC). Los pesos necesarios para la ponderación en este método se obtuvieron a partir del grado de influencia en la MIT de las variables clave que están asociadas a cada indicador, pero convirtiéndolas a una escala entre cero y uno, y de manera tal que la suma total de ellos sea igual a uno (tabla 3.6).

Tabla 3.6. Ponderación de indicadores para el MCE.

<b>Indicador</b>	<b>Valor de influencia en MIT</b>	<b>Pesos</b>
Volumen de agua concesionada para el sector agropecuario	12.27	0.05
Número de conflictos registrado entre usuarios del agua	16.93	0.07
Abandono de la superficie con actividad agrícola por municipio	4.77	0.02
Rendimiento de la producción agrícola	6.43	0.03
Espacios de la cultura de agua por población atendida	41.56	0.17
Superficie protegida por municipio	32.09	0.13
Porcentaje de viviendas con acceso al servicio de agua	46.90	0.19
Proporción de localidades que pagan el servicio de agua	8.85	0.04
Proporción de VPH con disponibilidad de drenaje	25.60	0.10
Número de plantas de tratamiento de aguas residuales	26.82	0.11
Rendimiento real del caudal tratado respecto a la capacidad instalada	22.77	0.09
<b>Total</b>		<b>1.00</b>

Así mismo, y con toda esta información en su conjunto, fue posible identificar a los actores de interés necesarios de involucrar en un proceso de GIRH para la cuenca. Estos actores podrían ser usuarios del agua, organizaciones comunitarias, instituciones del gobierno municipal, estatal y federal, organizaciones de la sociedad civil y/o instituciones de investigación. Se realizó una caracterización de los actores de interés según su grado de interés e influencia en un proceso de gestión sostenible del agua, siguiendo para ello los principios de las fases iniciales de la gestión de proyectos.

### **3.14. Estrategias generales de GIRH**

Con toda la información obtenida en el desarrollo de esta investigación, fue posible identificar estrategias generales y diferenciadas espacialmente para un proceso de GIRH, así como a los actores corresponsables para su implementación efectiva.

### **3.15. Herramienta para la difusión de la información**

Para dar cumplimiento al último objetivo específico de la investigación, se propuso un medio para la difusión de los resultados generados. En este caso se propone un Geoportal de las bases de datos que incluya herramientas para la consulta, visualización y descarga de información, con la idea de que sea puesto a disposición de los actores de interés. Para generar esta propuesta de Geoportal se trabajó con el gestor de base de datos PostgreSQL, bajo el servidor de código abierto GeoServer. Este servidor es de código abierto para compartir datos geoespaciales, además de que publica conjuntos de datos a través de estándares establecidos por la Open Geospatial Consortium (OGC), como son los servicios WFS, WMS, WCS, entre otros, garantizando así su interoperabilidad.

Todas las bases de datos del proyecto fueron almacenadas en un servidor local, es decir, la aplicación cliente está almacenada en la misma máquina (a diferencia de un servidor remoto, donde la ubicación de la base de datos es diferente de donde está instalada la aplicación cliente (Morales et al. 2015)).

Para fines de este trabajo, y con el propósito de mostrar la propuesta de Geoportal se utilizó Apache Tomcat como contenedor web con soporte de servlets (significa que se le pueden añadir aplicaciones y este las gestionará desde su administrador).

La administración de la base de datos del proyecto se realizó desde QGIS, desde donde se realiza la conexión al servidor de bases de datos, por medio de pgAdmin y mediante el manejador SQL. La información incluida en la base de datos fue utilizada para generar mapas publicables mediante el uso del software QGIS y GeoServer.

A continuación, se detalla el proceso que incluyó el desarrollo del Geoportal.

1. Identificación de los requerimientos del usuario.

Como primer paso fue necesario definir qué se iba a considerar para mostrar en el Geoportal, así como a qué público iba dirigido. En este caso se pretendió dar el contexto general de la gestión del agua en México, así como la información analizada de dependencias gubernamentales y la generada en este trabajo. La información será dirigida a los actores de interés en la cuenca, que en este sentido son encargados de ANP y distritos de riego, directores municipales de agua y saneamiento, operadores de programas de cultura ambiental, así como a los diferentes usuarios del agua y tomadores de decisiones entorno a la gestión sostenible del agua en la cuenca. No obstante, la información es libre para investigadores o personas que deseen conocer más de la cuenca.

## 2. Conformación de la base de datos.

Para este paso se retomó la base de datos creada para el cálculo de los indicadores.

## 3. Diseño de la base de datos.

Al igual que en el paso anterior, para el diseño de la base de datos se continuo con la lógica mostrada en la sección 3.11.

## 4. Proceso de publicación de la información

En el contexto de GeoServer, se necesitó crear un espacio de trabajo, que es donde se almacena toda la información, dentro de éste se creó un almacén de datos con origen en la base de datos geoespacial, creada en etapas previas, y aquí es donde se agregó cada capa, de tal manera que cada una de ellas necesitó de un almacén de acuerdo con su tipo de formato, que en general fue de tipo vectorial.

A cada capa se le agregó un nombre, el título del almacén y un resumen de su contenido, además, se estableció un sistema de referencia y un estilo, lo estilos se generaron en QGIS y se guardaron en formato .sld, por lo que ya en GeoServer fue posible adaptarlos a las

capas correspondientes. Posteriormente, se comprobaron los estilos de las capas mediante la opción de previsualización de capas, esta opción permite visualizar si el estilo elegido es como se esperaba y si está bien publicado.

## 5. Desarrollo de la interfaz Web.

El desarrollo completo del entorno Web se programó sobre html que a su vez hace interacción con las hojas de estilo (css), y recupera las capas que se almacenaron en GeoServer.

La web del Geoportal (figura 3.5) fue compuesta por ocho páginas, por lo que contiene varios archivos .html uno por cada una de ellas.

En la parte superior de las páginas (header) se presenta un navegador desde el cual se puede navegar entre ellas. Se creó una carpeta contenedora en el que se añadieron los archivos .css que contendrán los estilos de la web, y una para los archivos en JavaScript (librerías). Además, se colocó una imagen de portada (a) que pertenece a la cuenca de estudio. A continuación, se presenta el contenido general de las páginas:

En la página de inicio del Geoportal (b), los usuarios podrán conocer las funciones que lo integran, así como la visualización de capas(c) con la información de la cuenca.

Como parte de la bienvenida, se tiene un apartado que explica el objetivo del proyecto, y lo que contiene a grandes rasgos.

Cuenta con un apartado (c) de caracterización de la zona de estudio, en el cual se presentan los aspectos sociales, económicos y ambientales presentes en la cuenca.

En las siguientes secciones (d): gestión del agua, indicadores y estrategias, se tiene la finalidad de dar a conocer las generalidades de la gestión del agua en México y en la cuenca, además de mostrar las condiciones de la misma por medio de indicadores,

información que es posible descargar y finalmente indicar cuales son las estrategias para llevar una gestión sostenible del agua.

Por último (e), se tienen enlaces que permiten abundar sobre la normativa y las dependencias e instituciones que se refieren en el contenido de las páginas, así como la información de contacto.

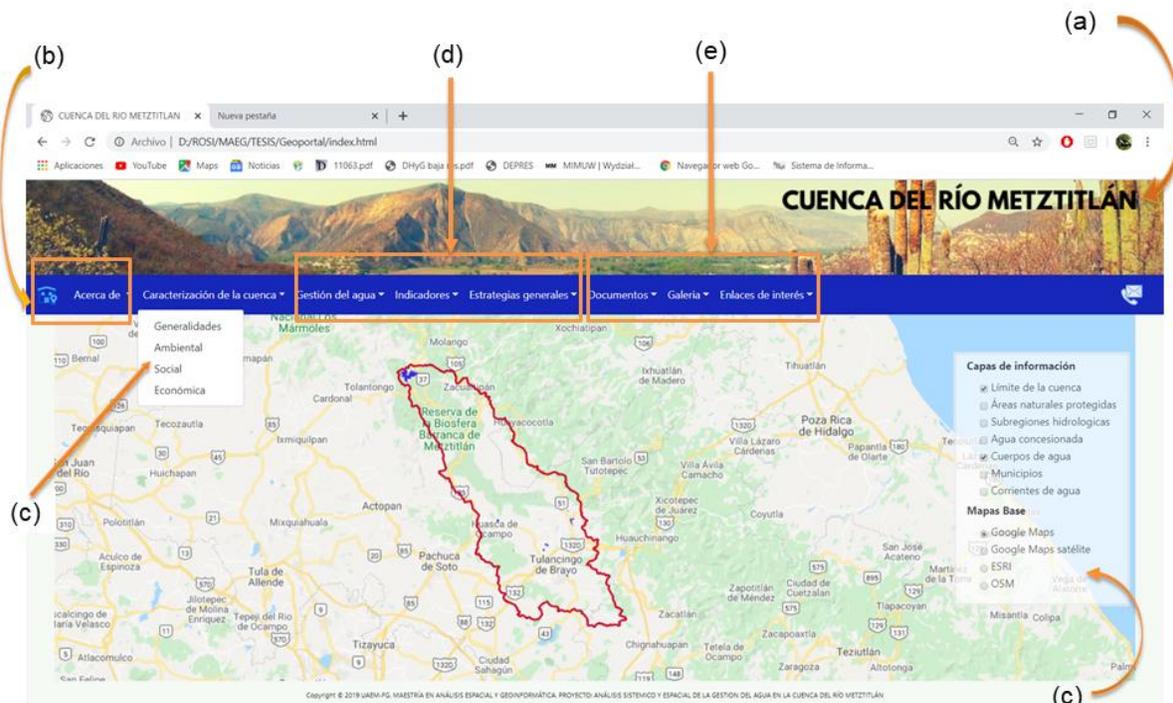


Figura 3.5. Diseño del Geoportal para la cuenca del río Metztitlán.

Lo que restaría del Geoportal es buscar la manera de difundir la información mediante el servidor remoto. De esta manera, se podría compartir esta publicación en línea, a un número indeterminado de usuarios independientemente de su ubicación geográfica, cuyo único requerimiento es poseer una conexión a Internet y un navegador. Sin embargo, este último aspecto quedó fuera de los objetivos de la investigación, por lo que no se muestran resultados de su implementación.

## 4. RESULTADOS

### 4.1. Caracterización de la cuenca

#### 4.1.1. Localización

La zona de estudio fue la cuenca del río Metztitlán (figura 4.1), ubicada en el centro este del estado de Hidalgo (México), entre las coordenadas 19° 53' 41'' y 20° 45' 05'' latitud norte, y 98° 55' 04'' y 98° 08' 39'' longitud oeste. Su superficie es de 2,880 km<sup>2</sup> y abarca parte de los estados de Hidalgo (91%), Puebla (2.5%) y Veracruz (6.5%). Consta de 25 municipios que se encuentran total o parcialmente dentro de la cuenca de los estados ya mencionados.

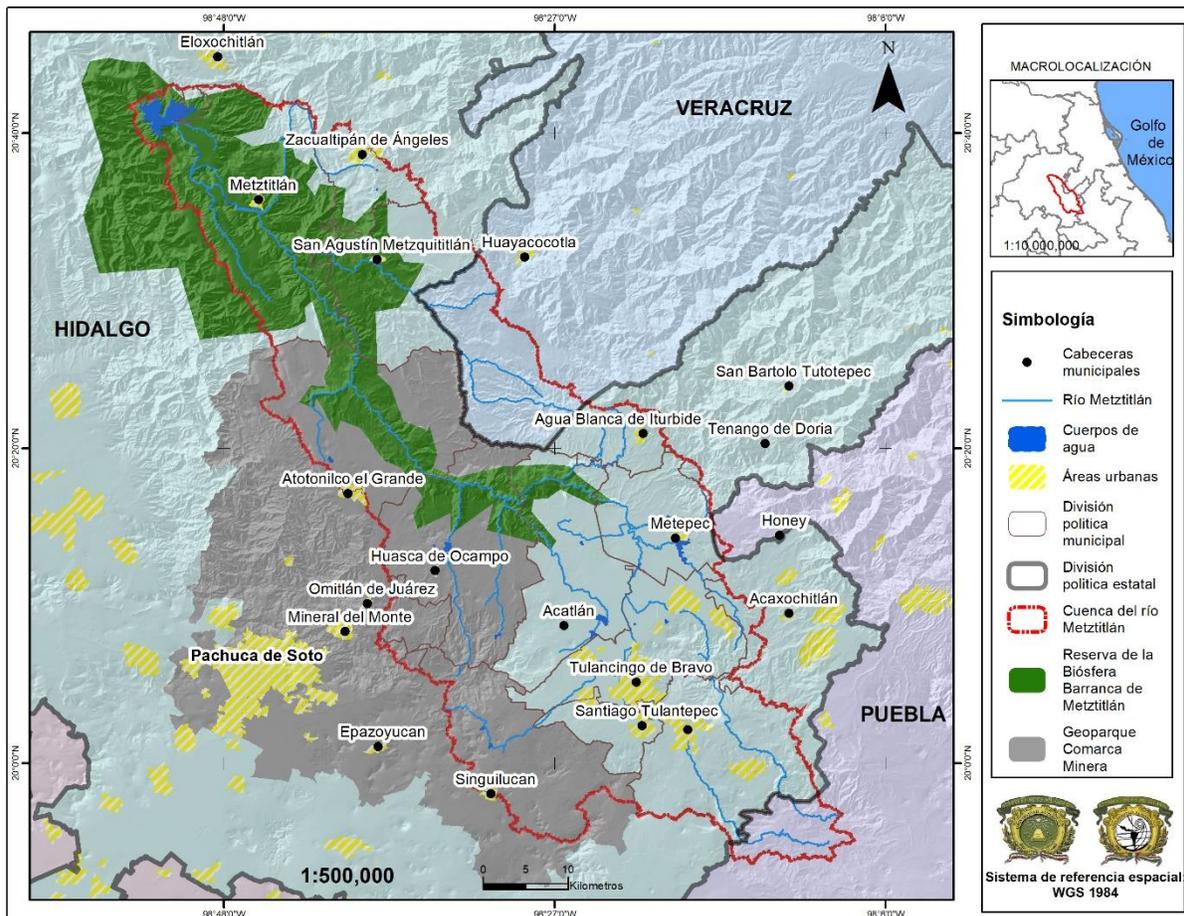


Figura 4.1. Ubicación de la cuenca del río Metztitlán.

En cuanto a las características del medio físico en la cuenca, en general presenta una topografía accidentada, con pendientes pronunciadas y escarpadas; fisiográficamente, se ubica en la provincia de la Sierra Madre Oriental, y en la provincia del Eje Volcánico Transversal. Tiene un sistema de topoformas bastante complejo, pasando de sierras, mesetas, valles y llanuras. Los suelos predominantes son los feozem, luvisoles y vertisoles, los dos primeros con características similares, generalmente se encuentran en lugares templados, son ricos en materia orgánica y tienden a ser fértiles, en cambio los vertisoles son suelos de climas semiáridos y se caracterizan por ser arcillosos (INEGI, 2001).

#### **4.1.2. Clima**

Con base en la clasificación climática de Köppen-García, en la cuenca del río Metztlán el clima predominante de acuerdo con su condición térmica es seco semiárido, semicálido templado y templado (figura 4.2). El clima que tiene mayor presencia es el templado (color azul en la figura 4.2), por su condición de precipitación es de tipo húmedo y subhúmedo, presenta un verano fresco largo, con poca oscilación térmica con un régimen de lluvias de verano y un porcentaje de precipitación invernal entre el 5 % y 10.2 %. Además, se caracteriza por presentar sequía intraestival o canícula, es decir, la disminución de las lluvias durante el periodo lluvioso en verano. En general, en toda la cuenca se tiene un periodo de sequía intraestival con excepción del municipio de Huayacocotla y áreas colindantes (norte de San Agustín Metzquitlán, oeste de Agua Blanca, solo por referir algunos municipios del noreste de la cuenca).

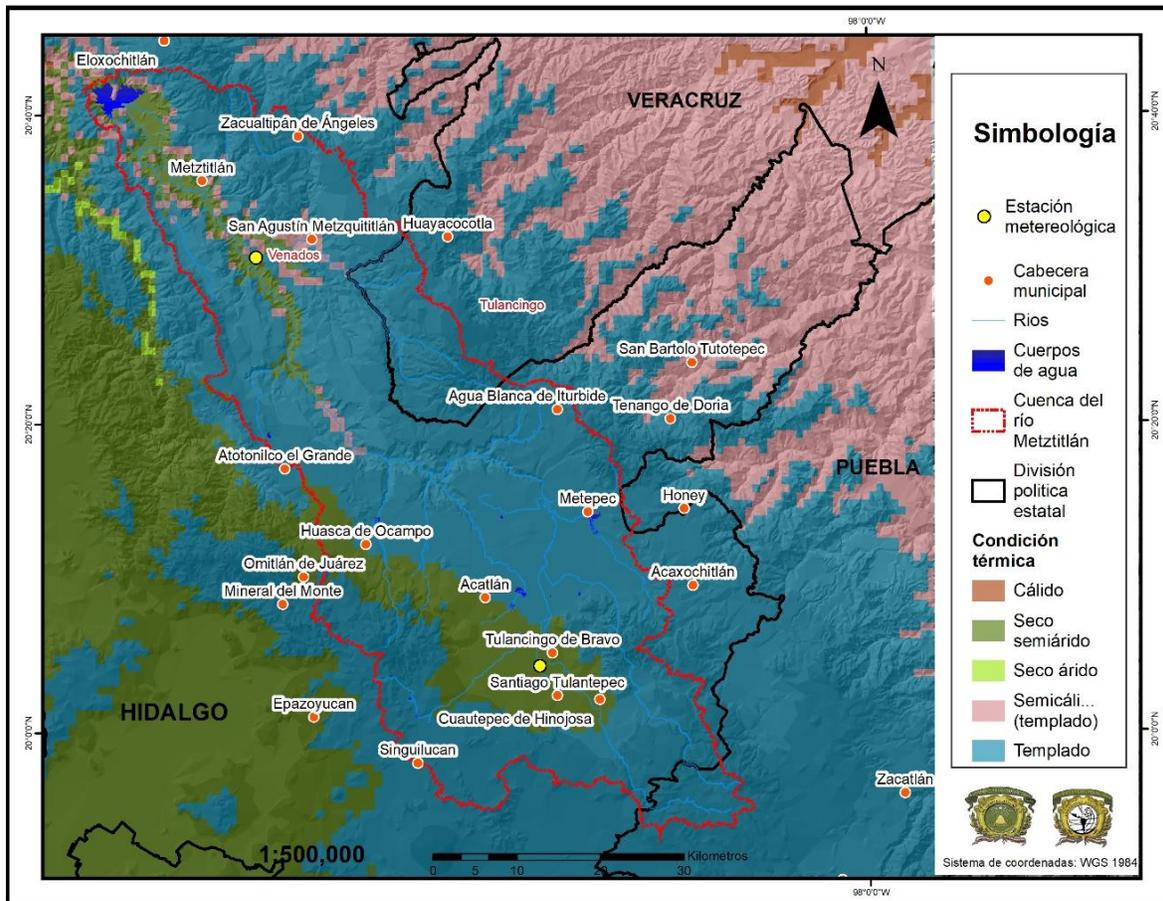


Figura 4.2. Condición térmica presente en la cuenca del río Metztitlán.

En la parte baja de la cuenca, en la zona conocida como la Vega de Metztitlán, se presenta un clima seco semiárido, con una oscilación térmica muy extremosa, y en sus zonas aledañas el semicálido templado, de tipo subhúmedo con régimen de lluvias entre verano e invierno y con un porcentaje de precipitación invernal menor al 18 %. De acuerdo con la estación de Venados (Tabla 4.1) la temperatura es del 20.3 °C, con una precipitación de 440.1 mm anuales.

Tabla 4.1. Comportamiento de la precipitación y temperatura en la estación Venados, Hidalgo.

Estación 13-062 Venados. Log. -98° 40' N Lat. 20°28'O 1329 msnm

Mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual	P/t	%pi	Osc
T (°C)	16.1	17.7	20.5	22.5	23.5	23.0	22.0	22.3	21.5	19.7	17.9	16.6	20.3	21.7	5.1	7.4
P (mm)	9.3	3.9	9.2	22.1	39.6	72.3	58.1	50.6	109.0	49.6	12.1	4.3	440.1			

Fuente: García, 2004.

El clima seco semiárido también se tiene en la parte alta, específicamente en la franja que cubre desde Huasca de Ocampo, Acatlán y termina en Tulancingo, con régimen de lluvias de verano y porcentaje de precipitación invernal entre el 5 % y 10.2 %. El promedio anual de la temperatura de esta zona es de 14.8°C y con precipitación anual de 543.3 mm (tabla 4.2).

Tabla 4.2. Comportamiento de la precipitación y temperatura en la estación Tulancingo, Hidalgo. Estación 13-061 Tulancingo. Log. -98° 22' Lat. 20°4' 2181 msnm

Mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual	P/t	%pi	Osc
T (°C)	11.9	13.2	15.5	16.8	17.3	16.8	16.0	15.9	15.5	14.1	12.8	12.1	14.8	36.6	5.6	5.4
P (mm)	8.8	8.9	12.7	27.2	50.1	92.6	67.7	67.5	117.4	61.6	19.9	8.9	543.3			

Fuente: García, 2004.

Detallando esta clasificación climática de Köppen-García, los climas dominantes dentro de la cuenca (figura 4.3) son templados (Cb(w<sub>1</sub>)(i')gw" y Cb(w<sub>1</sub>)igw"), y secos semiáridos (BS<sub>1</sub>hw(e)gw", BS<sub>1</sub>k'w(i')gw"). Los climas templados Cb manifiestan un verano fresco ya que no superan los 22 °C de media en el mes más cálido, además la temperatura de al menos cuatro meses es superior a los 10°C. Estos climas se caracterizan por distribuirse en altitudes de los 800 msnm a los 1,000 msnm, y en zonas montañosas. En la cuenca se manifiestan al sureste, en los límites del parteaguas.

Por el contrario, los climas BS son secos, la diferencia entre el BS<sub>1</sub>hw y BS<sub>1</sub>k'w es la temperatura, el primero con una temperatura media anual mayor de 18°C, mientras que el BS<sub>1</sub>k'w tiene una temperatura media anual menor a 18°C, solo el mes más cálido alcanza los 18°C. Bajo estas condiciones de temperatura se puede desarrollar vegetación herbácea escasa y xerófila, vegetación predominante en la parte baja de la cuenca, específicamente en la zona de la Barranca de Metztitlán.

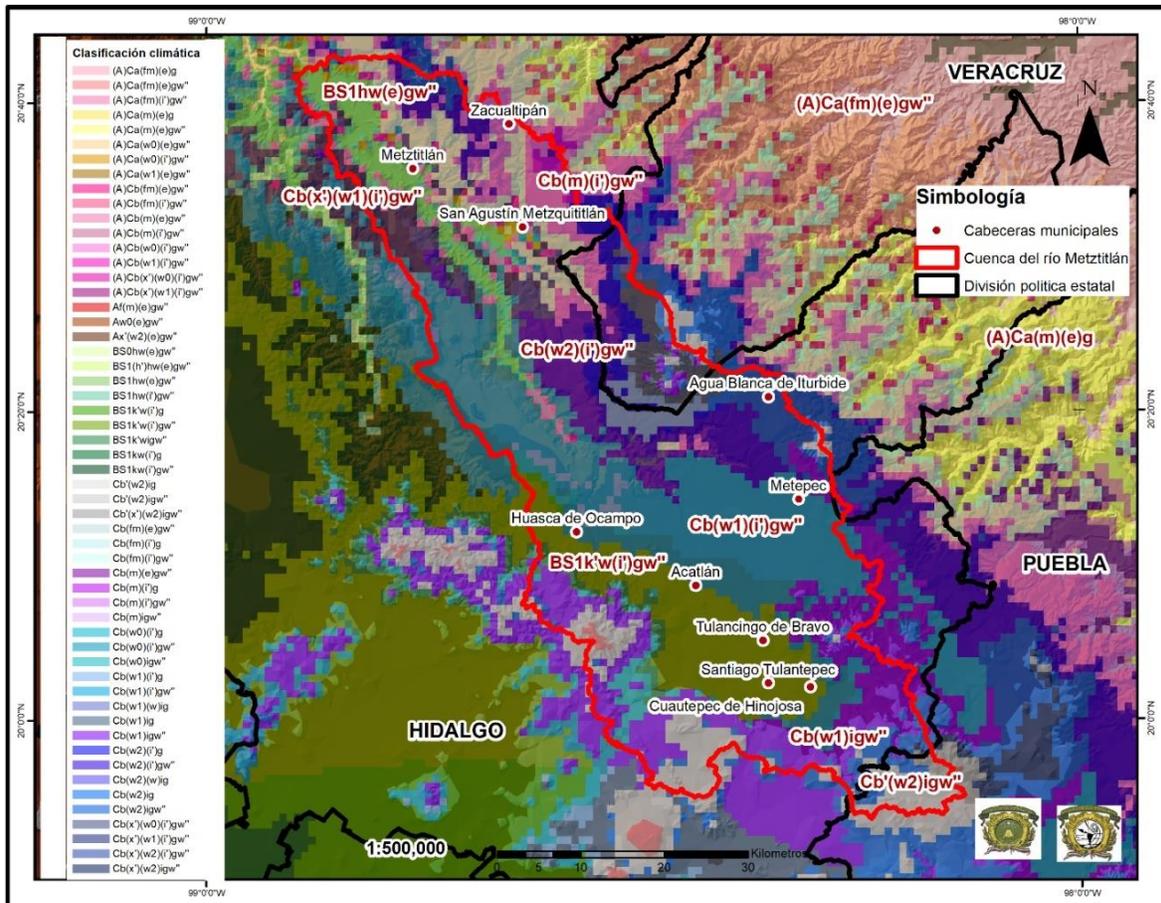


Figura 4.3. Clima presente en la cuenca del río Metzquitlán.

En la cuenca se observa que el clima es decisivo en las condiciones ambientales, la escasa precipitación principalmente en los meses de invierno, en la zona media y baja de la cuenca, y las altas temperaturas dan origen a zonas semiáridas, estos factores son contundentes al realizar acciones entorno a la gestión del agua. Sobre todo, porque del clima en gran medida depende la disponibilidad natural del agua, y de los demás recursos naturales necesarios para la vida.

### 4.1.3. Hidrología

La cuenca se encuentra dentro de la Región Hidrológica 26 Río Pánuco (RH26) sobre la vertiente del Golfo de México (figura 4.4). La RH26 tiene una superficie de 97,195.727 kilómetros cuadrados desde su nacimiento en el Valle de México hasta la desembocadura del cauce principal en el Golfo de México. Comprende principalmente parte de la Ciudad de México y los estados de Guanajuato, Hidalgo, México, Querétaro, San Luis Potosí, Tamaulipas y Veracruz, así como pequeñas porciones de los estados de Nuevo León, Puebla y Tlaxcala. Para fines de gestión del recurso hídrico superficial, se ha dividido en 77 cuencas hidrográficas, cuyo escurrimiento medio anual es de 20,223.564 millones de metros cúbicos (DOF, 2018).

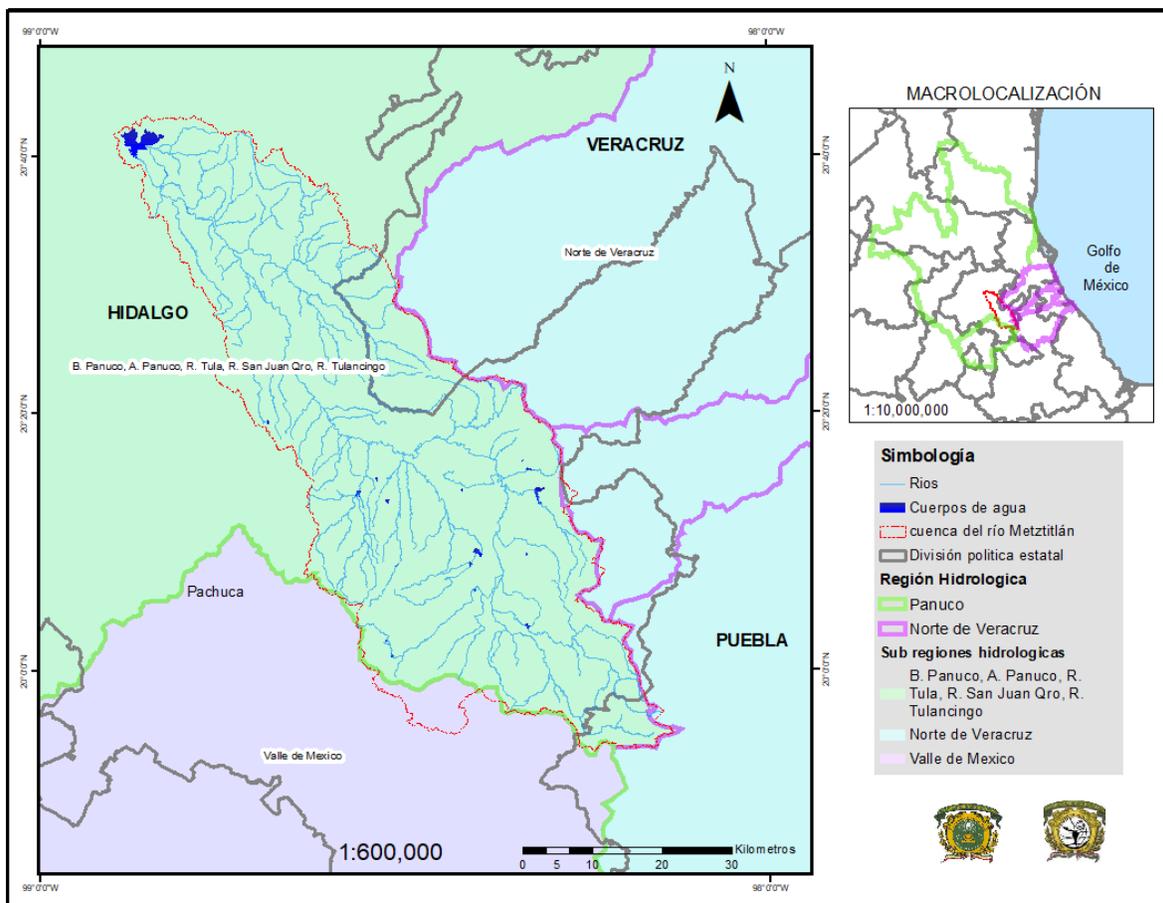


Figura 4.4. Ubicación de la cuenca en la Región Hidrológica

En la RH26 el volumen total concesionado para el aprovechamiento de las aguas nacionales superficiales es de 7,048.583 millones de metros cúbicos por año, equivalente al 35% del escurrimiento medio anual. Los principales usos del agua concesionada en el área de estudio son el agrícola (65.4%), la generación de energía eléctrica (19.9%) y para los servicios un 4.6%; mientras que de aguas subterráneas es de 949.195 millones de metros cúbicos por año para uso agrícola en un 68.0%, público urbano (20.7%) e industrial con un 8.1% (DOF, 2018).

En la RH26 se ubican 10 Áreas Naturales Protegidas federales, diversas Áreas Naturales Protegidas estatales y cinco sitios RAMSAR; incluida aquí la RBBM y el sitio RAMSAR laguna de Metztlán el cual comprende los municipios de Eloxochitlán y Metztlán, ubicados en la cuenca de estudio en el Estado de Hidalgo.

#### **4.1.3.1. Situación de los recursos hídricos**

##### **4.1.3.1.1. Acuíferos**

Un Acuífero es cualquier formación geológica por las que circulan o se almacenan aguas del subsuelo que pueden ser extraídas para su explotación, uso o aprovechamiento y cuyos límites laterales y verticales se definen convencionalmente para fines de evaluación, manejo y administración de las aguas nacionales del subsuelo (LAN, 2016); el agua subterránea que se encuentra almacenada en los acuíferos es una parte importante del ciclo hidrológico y en el contexto de la gestión del agua dentro de una cuenca.

En la cuenca de Metztlán se tienen presentes tres acuíferos (figura 4.5): Metztlán, Huasca-Zoquitlan y el del valle de Tulancingo (ubicado en la parte alta de la Cuenca del Río Metztlán), los dos primeros cuentan con disponibilidad, pero el de Tulancingo se encuentra en déficit

(Conagua, 2018), como se muestra en la tabla 4.3. Por lo que no existe volumen disponible para otorgar nuevas concesiones y asignaciones, o incrementar el volumen de las ya existentes, este.

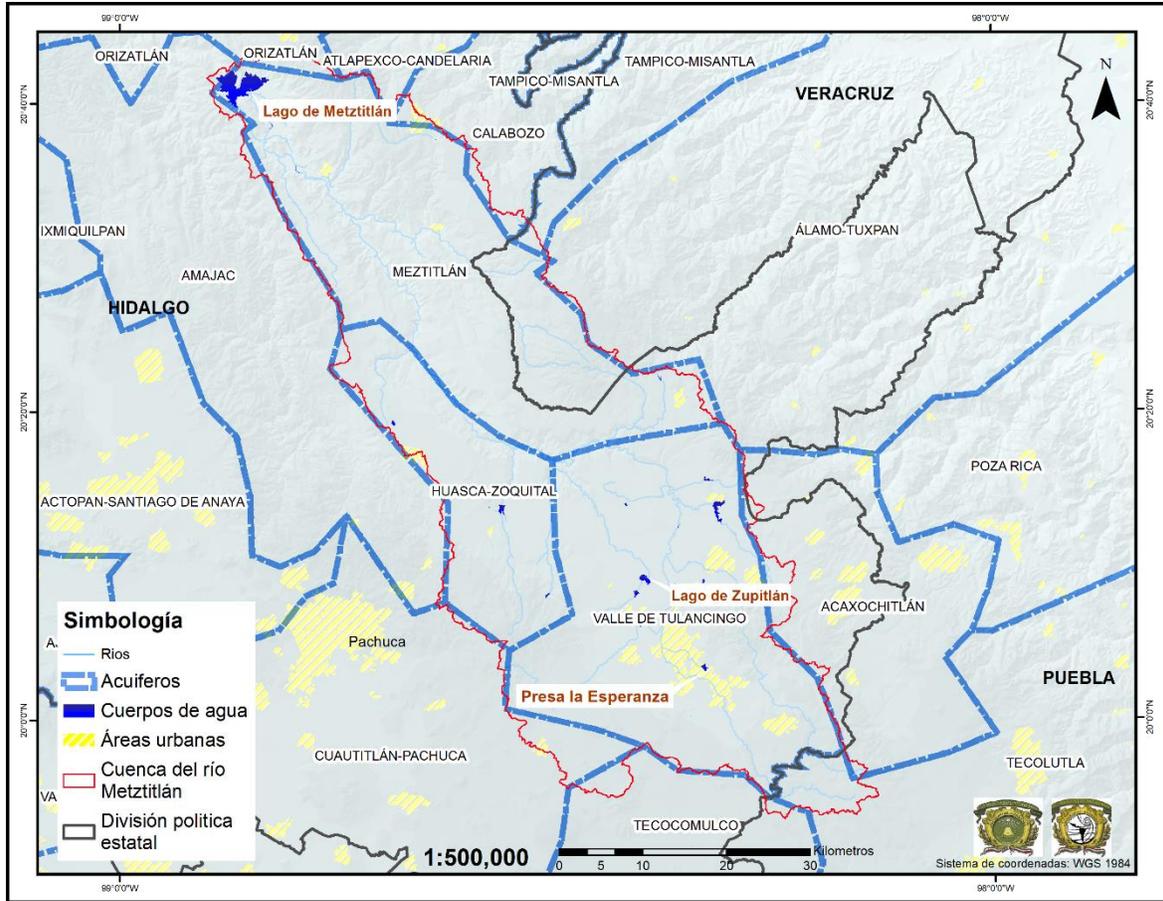


Figura 4.5. Acuíferos que comprende la cuenca del río Metztitlán.

Tabla 4.3 Disponibilidad media anual de aguas subterráneas en los acuíferos ubicados en la cuenca del río Metztitlán.

Clave	Nombre	Disponibilidad (mill. m <sup>3</sup> )	Déficit (mill. m <sup>3</sup> )
1314	Meztitlán	16.55	0
1315	Huasca-Zoquital	10.58	0
1317	Valle de Tulancingo	0	-6.84

Fuente. Datos de Conagua para el DOF, 2019.

De acuerdo con el REPDA al año 2018, en la cuenca existían 339 captaciones de agua subterránea, el volumen total es de 60.6 millones de metros cúbicos al año, de los cuales 46.4 millones de metros cúbicos anuales son para uso agrícola, 10.9 millones de metros cúbicos anuales para uso público urbano, 2.7 millones de metros cúbicos anuales para uso doméstico, pecuario, servicios y múltiples, y 0.6 millones de metros cúbicos anuales para uso industrial.

La creciente demanda de agua a partir de la década de los setentas motivó la perforación de pozos profundos para la explotación intensiva del acuífero Valle de Tulancingo (DOF, 2019). Y en los últimos años, grupos de productores han emprendido ambiciosos proyectos de desarrollo agrícola, para lo cual han construido varios pozos con una gran capacidad de extracción, tan solo para el valle de Tulancingo en dicho sector se aprovecha el 70% del total del agua concesionada para este fin, dicho volumen lo aprovechan la mitad de los pozos registrados, específicamente los municipios de Tulancingo, Metepec, Acatlán y Cuauhtémoc (figura 4.6).

La demanda de agua para proyectos de desarrollo agrícola, ha generado un incremento en el número de pozos especialmente en el valle de Tulancingo, situación que pone en riesgo al acuífero, lo que impactaría negativamente en el ambiente y en el abastecimiento de agua para todos los habitantes, considerando que en la superficie del mismo se extiende un valle fértil donde el sector agropecuario han sido un importante factor para el desarrollo.

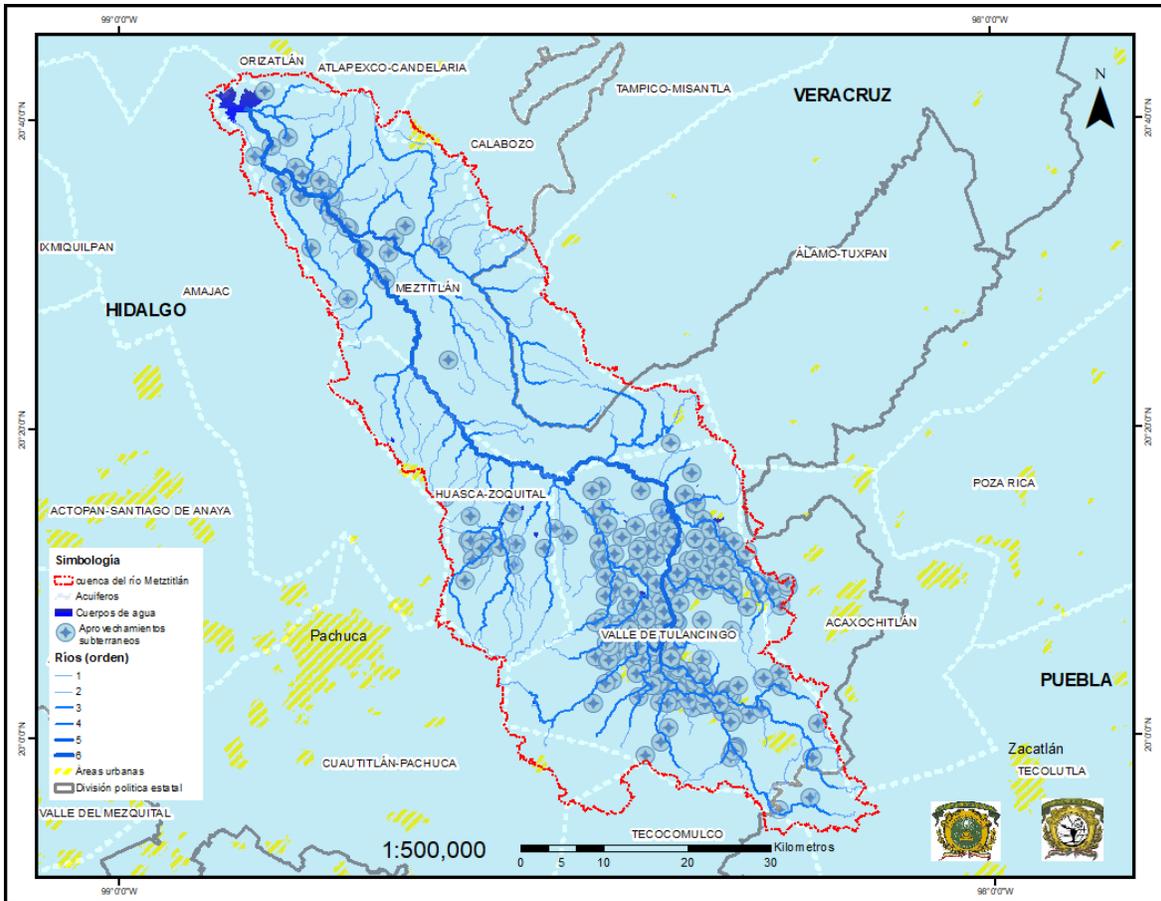


Figura 4.6. Aprovechamientos subterráneos registrados en la cuenca del río Metztlán.

#### 4.1.3.1.2. Agua superficial.

Se considera como agua superficial toda el agua que se encuentran en la superficie del suelo, y es producto de las escorrentías generada por las lluvias. Pueden presentarse como corrientes de agua que se mueven en una dirección, como los ríos y manantiales, o en aguas en calma como son los lagos.

De acuerdo con REPDA, para el año 2018 se tenía registro de 552 concesiones de agua superficial dentro de la cuenca (figura 4.7). Las cuales consumen 98,241,285.04 de m<sup>3</sup> por año. De esto el 67.3 % es para el sector agrícola, el 12.5% para la acuacultura, el 8.32% para el sector de

generación de energía eléctrica, y el resto (11.87 %) es utilizado para uso doméstico, público urbano, industrial y servicios múltiples.

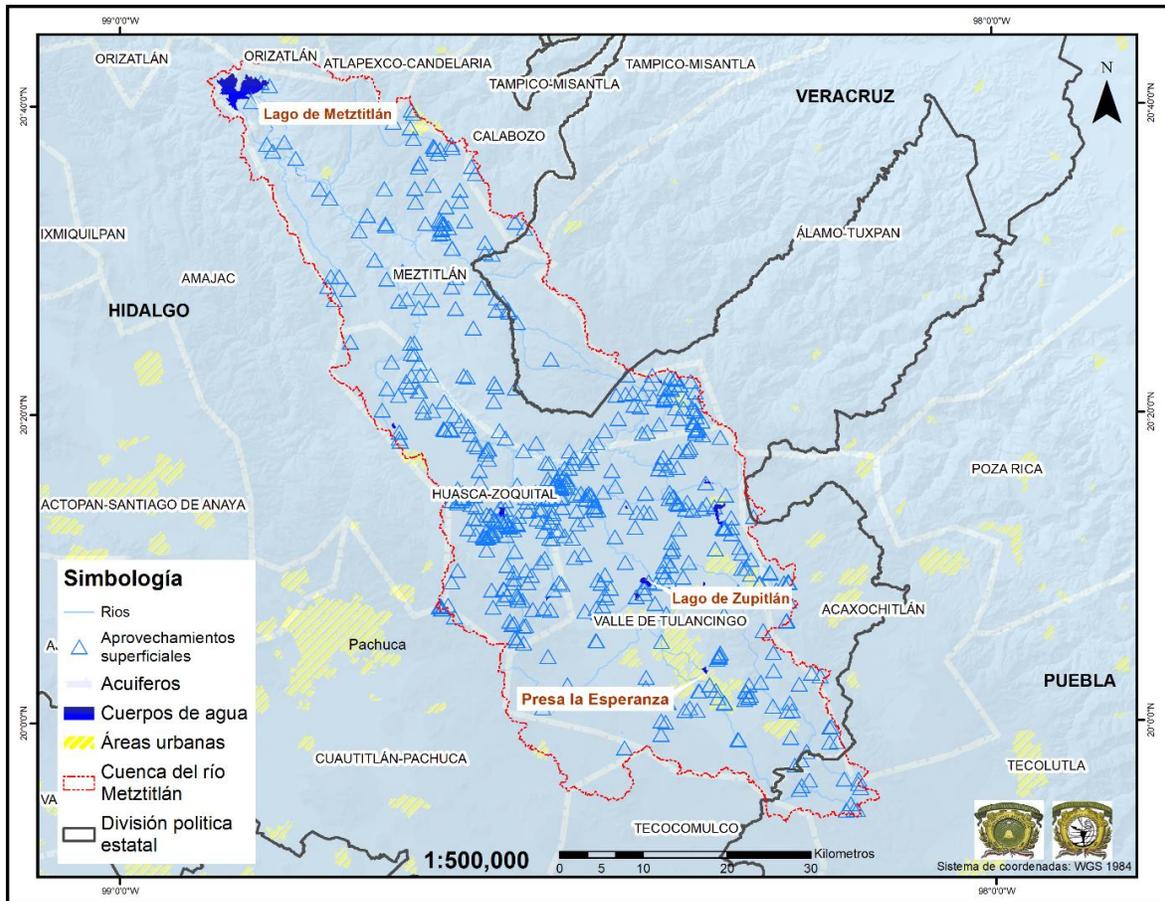


Figura 4.7. Aprovechamientos superficiales registrados en la cuenca del río Metztlán.  
Fuente: elaboración con datos de REPDA.

La infraestructura hidráulica principal se compone de la presa de almacenamiento la Esperanza que se localiza al sureste del Valle y suministra agua al Distrito de Riego (DR) 028 Tulancingo. Otro embalse importante, al norte del Valle es el lago de Zupitlán, también destaca el lago de Hueyapan que se utiliza para abastecimiento de agua potable a la región. Y el lago de Metztlán, ubicada en la parte baja de la cuenca, que almacena un total de 365 millones de metros cúbicos.

El lago de Metztitlán se encuentra entre los municipios Metztitlán y Eloxochitlán, en la parte baja de la cuenca, en el estado de Hidalgo, a 1,246 msnm. Es una zona de reposo del agua que lleva el río Metztitlán, genera una zona inundable donde se establecen las aves migratorias durante el periodo invernal, y además tiene la función de retener tanto nutrientes como sedimentos; generar la recarga de acuíferos subterráneos, y servir como estabilizadora de las condiciones climáticas locales, principalmente de la temperatura, razones que originaron para que se decretara como sitio RAMSAR (Conanp, 2004).

#### 4.1.3.1.3. Distritos de riego

Un distrito de riego (DR) es una superficie ubicada dentro de una zona de riego, que cuenta con obras de infraestructura hidráulica, aguas superficiales y del subsuelo, así como vasos de almacenamiento, una zona federal, de protección y demás bienes y obras conexas, pudiendo establecerse también con una o varias unidades de riego (LAN, 2020).

Para el 2017, la Conagua reportó la operación de 86 distritos de riego en el país con 3.2 millones de hectáreas, representados mediante 470,407 usuarios. Un usuario puede ser un productor rural propietario o poseedor de una superficie registrada en el padrón de usuarios de un Distrito de riego.

En la cuenca existen dos distritos de riego, el de Metztitlán (008) con una superficie de 4,904.69 has y Tulancingo (028) 980.2 has (figura 4.8), para el primero se reportaron 3,149 usuarios, mientras que para el segundo 484. La Conagua reporta que la superficie regada con aguas superficiales para el distrito de riego de Metztitlán son 3,789 has, mientras que para Tulancingo apenas son 824 has; en tanto que no existen reportes para superficies regadas con aguas subterráneas para ambos distritos de riego; estas en conjunto consumen un volumen de agua superficial de 44,022 m<sup>3</sup> (Conagua, 2018).

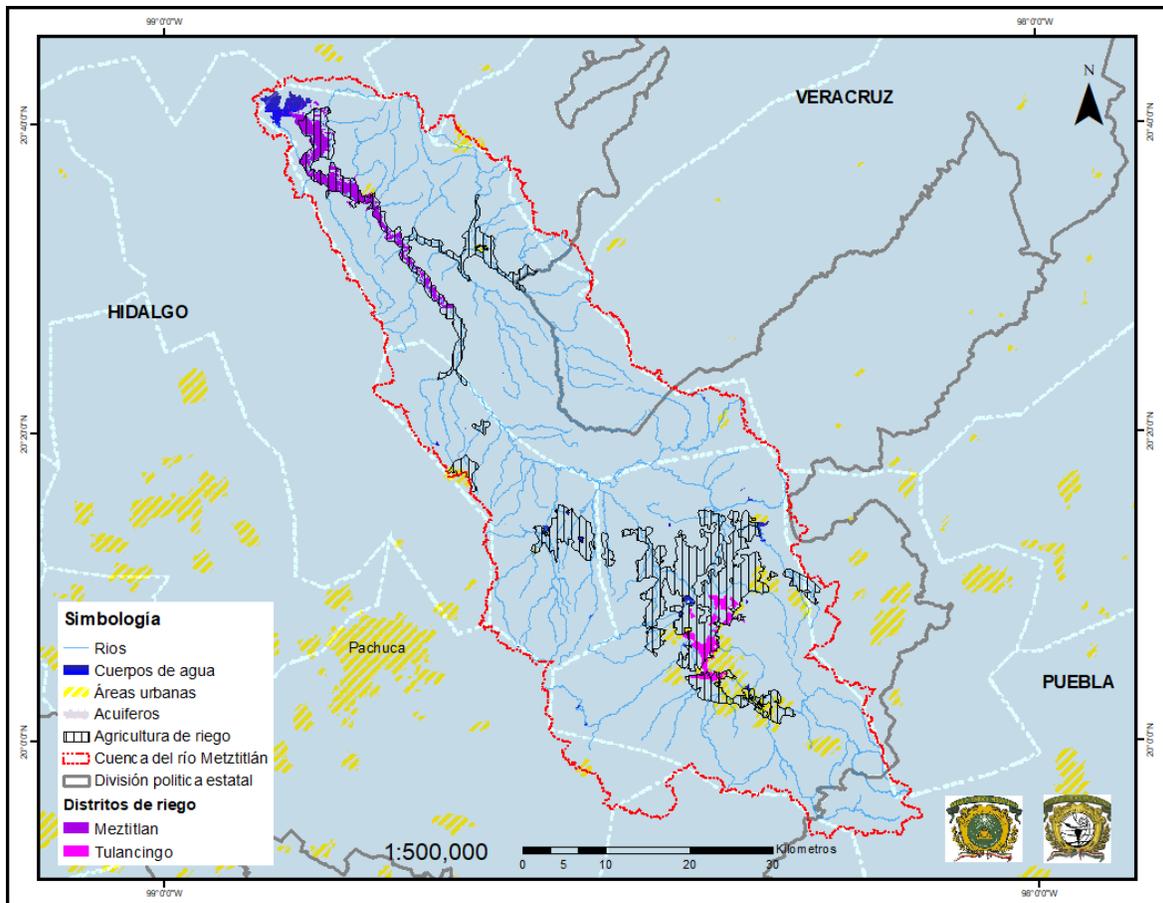


Figura 4.8. Distritos de riego dentro de la cuenca del río Metztlán. Elaborado en base a la información de Conagua e INEGI para el año 2017.

En el DR 008 las actividades económicas que se realizan son de producción agropecuaria, que es la principal fuente de sustento de la población. Destaca la agricultura, teniendo como principales cultivos el maíz de grano, frijol, pastos, avena, ejote, elote, nuez, y maíz forrajero (SIAP, 2018).

En lo que respecta al DR 028, las principales actividades que se realizan son la agricultura de riego y la ganadería intensiva. Los cultivos que aquí se producen son principalmente perennes, entre ellos, la alfalfa forrajera, trébol y pasto forrajero, pero también se pueden encontrar cultivos cíclicos, como maíz forrajero, avena, frijol, chile, tomate y calabaza. La actividad ganadera se lleva a cabo mediante unidades de producción bovina, esta actividad es la principal consumidora de la

producción forrajera. Además, la región del valle de Tulancingo es una de las más importantes en la producción de leche y queso del estado de Hidalgo (SIAP, 2018). Dichas actividades se ven afectadas, especialmente en la fragmentación de las áreas de cultivo y el abandono de estas, por invasión de la mancha urbana de la ciudad de Tulancingo, debido crecimiento demográfico y al desarrollo industrial con el que cuenta la ciudad (Hernández-Acosta, 2011).

#### **4.1.4. Uso de suelo y vegetación**

En la Cuenca, para el año 2017, el uso del suelo y la vegetación se distribuía de la siguiente manera (figura 4.9): el 49.15% está destinado a la agricultura de riego y temporal. Siendo la agricultura de temporal la que ocupa la mayor superficie (38.7%), y se sitúa a todo lo largo de la cuenca; la vegetación secundaria ocupa el segundo lugar con el 13.37%, en esta categoría se incluye aquella vegetación que ha sufrido cambios significativos por las actividades humanas o perturbaciones naturales, son asociaciones que pueden ser de vegetación secundaria arbustiva y/o arbórea de pino-encino, matorral o selva baja caducifolia, se desarrollan a orillas del río, en zonas aledañas a los sitios agrícolas, así como de los bosques, como producto de las alteraciones al medio; los pastizales inducidos cubren el 9.38 %, seguidos de los matorrales con un 8.07% y de bosque de pino (7.06%). Solo el 1.79% de la superficie de la cuenca corresponde a asentamientos humanos, localizados principalmente en la parte alta de la cuenca (zona urbana de Tulancingo); y finalmente, en el 11.17% restante incluye al bosque mesófilo de montaña, bosque de encino y otros (tabla 4.4).

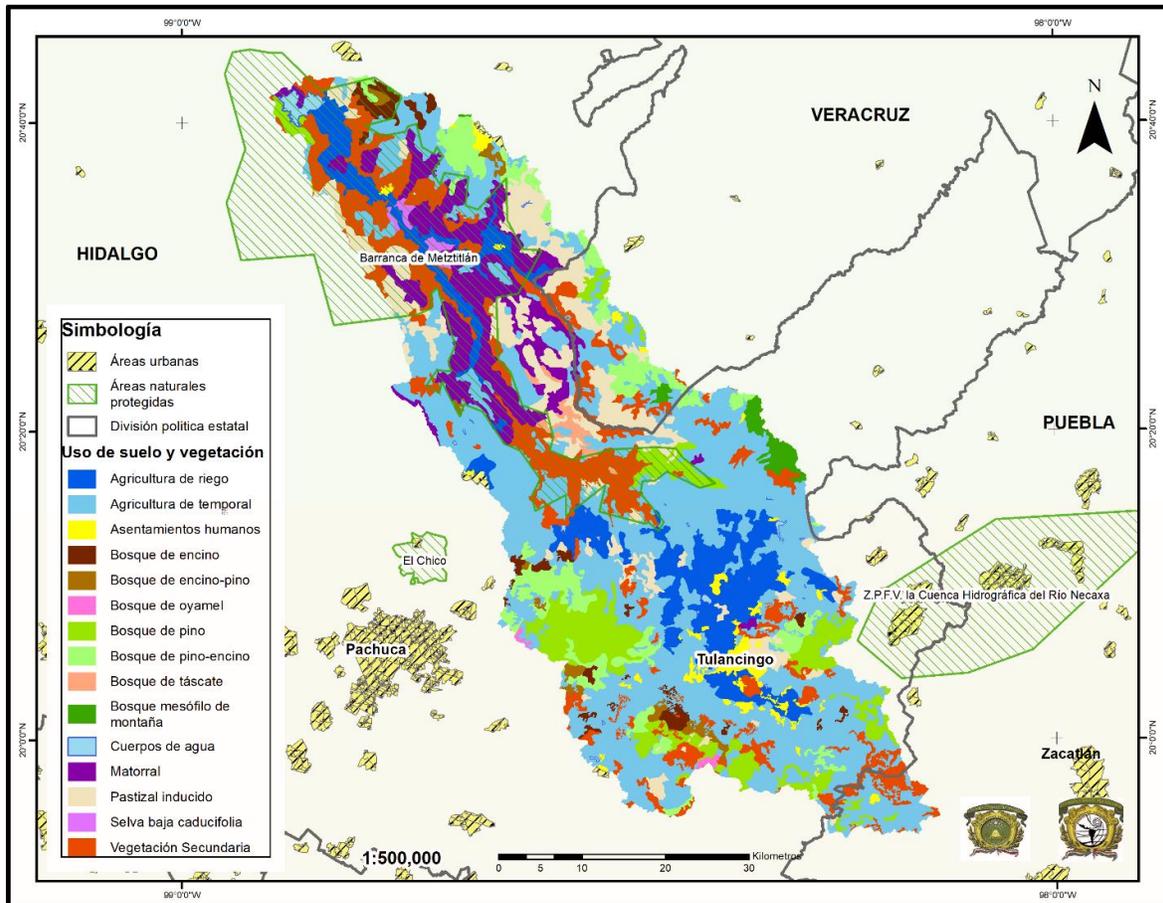


Figura 4.9. Uso de suelo y vegetación en la cuenca del río Metztitlán.  
Fuente: elaboración propia con datos de Inegi, 2017.

Como se refirió, el principal uso de suelo en la cuenca corresponde al agrícola (tabla 4.4), se puede decir que este ha propiciado la reducción de los bosques y, por ende, la generación de vegetación secundaria, producto del abandono de las tierras de cultivo.

Ahora bien, parte del territorio se ha destinado como ANP, de las 96,042.95 hectáreas de la superficie decretada como RBBM, el 72 % se encuentra dentro de la cuenca, específicamente en su parte media y baja (área rayada de color verde en la figura 4.9). También es preciso mencionar que existen dos áreas más de protección (parque el Chico y la zona de protección del río Necaxa), aunque no se encuentran dentro de la misma, son muestra del grado de afectación de los recursos locales y de la necesidad de su protección.

Tabla 4.4. Distribución del uso del suelo y la vegetación en la cuenca del río Metztlán.

<b>Categoría</b>	<b>Superficie (Has)</b>	<b>Superficie (%)</b>
Agricultura de riego	30,116.64	10.46
Agricultura de temporal	111,474.74	38.70
Asentamientos humanos	5,170.23	1.79
Bosque de encino	4,579.58	1.59
Bosque de encino-pino	2,527.80	0.88
Bosque de oyamel	413.99	0.14
Bosque de pino	20,326.46	7.06
Bosque de pino-encino	17,329.78	6.02
Bosque de táscate	1,721.86	0.60
Bosque mesófilo de montaña	2,819.04	0.98
Cuerpos de agua	1,664.12	0.58
Matorral	23,258.57	8.07
Pastizal inducido	27,025.37	9.38
Selva baja caducifolia	1,107.90	0.38
Vegetación Secundaria	38,522.47	13.37
<b>Total</b>	<b>288,058.55</b>	<b>100.00</b>

Fuente: Elaboración propia con datos de INEGI, 2017.

En la barranca de Metztlán las especies de flora representativas son: mezquite (*Prosopis laevigata*), nopal (*Opuntia sp.*), viejito (*Cephalocereus senilis*), acacia (*Acacia sp.*), colubrina (*Colubrina ehrenbergii*), hinchador (*Pseudosmodium andrieuxii*), y pitayo (*Isolatocereus dumortieri*) (Conanp, 2004). Además, Villavicencio et al. (2015) mencionan que en algunas comunidades destacan la importancia de ciertas especies, por su interés ornamental, como el viejito que es una especie endémica y está bajo la categoría de amenazada de acuerdo con la NOM-059-SEMARNAT-2010. La biznaga *Echinocactus platyacanthus*, utilizada para consumo humano y ornamental, también se encuentra en la misma norma en la categoría de protección especial.

Un estudio realizado por Hornung-Leoni et al. (2019), muestra la diversidad de especies de la familia Bromeliaceae y Orchidacea, especialmente por su endemismo presente en la RBBM. Entre las bromelias encontradas están *Tillandsia tortilis*, *Hechtia lepidophylla*, *H. deceptrix*, *T.*

*mauryana* y *Hechtia sp.* (endémica de la reserva). En cuanto a las orquídeas encontraron *Sotoa confusa*, *L. speciosa*, y *Laelia gouldiana*, está última presente solo dentro de la RBBM, considerada extinta in situ, especie que solo se encuentra en los árboles de mesquite (*Prosopis laevigata*) y crece cerca de las casas de los habitantes locales, lo que probablemente ha contribuido a mantener su existencia.

De acuerdo con Mendoza y Quevedo (2019), en la franja ribereña del río Metztlán las especies predominantes son herbáceas, de la familia Asterácea y Poaceae, en menor medida la *Malvaceae* y *Solanaceae*. La primera representada por la especie *Conyza Less* y la segunda por *Eragrostis Wolf*. En el mismo estudio, los autores refieren que las familias Asterácea y Poaceae son recurrentes en sitios donde hay alteraciones naturales debido a las crecidas de los ríos.

#### **4.1.5. Población**

De acuerdo con INEGI (2010), en la cuenca se tenía registrado un total de 377,891 habitantes distribuidos en 637 localidades, predominan las de tipo rural (621 localidades) que concentran el 45 % del total, mientras que las urbanas son 16 localidades y concentran el 55 % del total de la población. Los municipios en los cuales se concentra la influencia urbana son Tulancingo de Bravo, Zacualtipán de Ángeles, Cuauhtepic de Hinojosa, Santiago Tulantepec y Metztlán, mismos que pertenecen al estado de Hidalgo (figura 4.10).

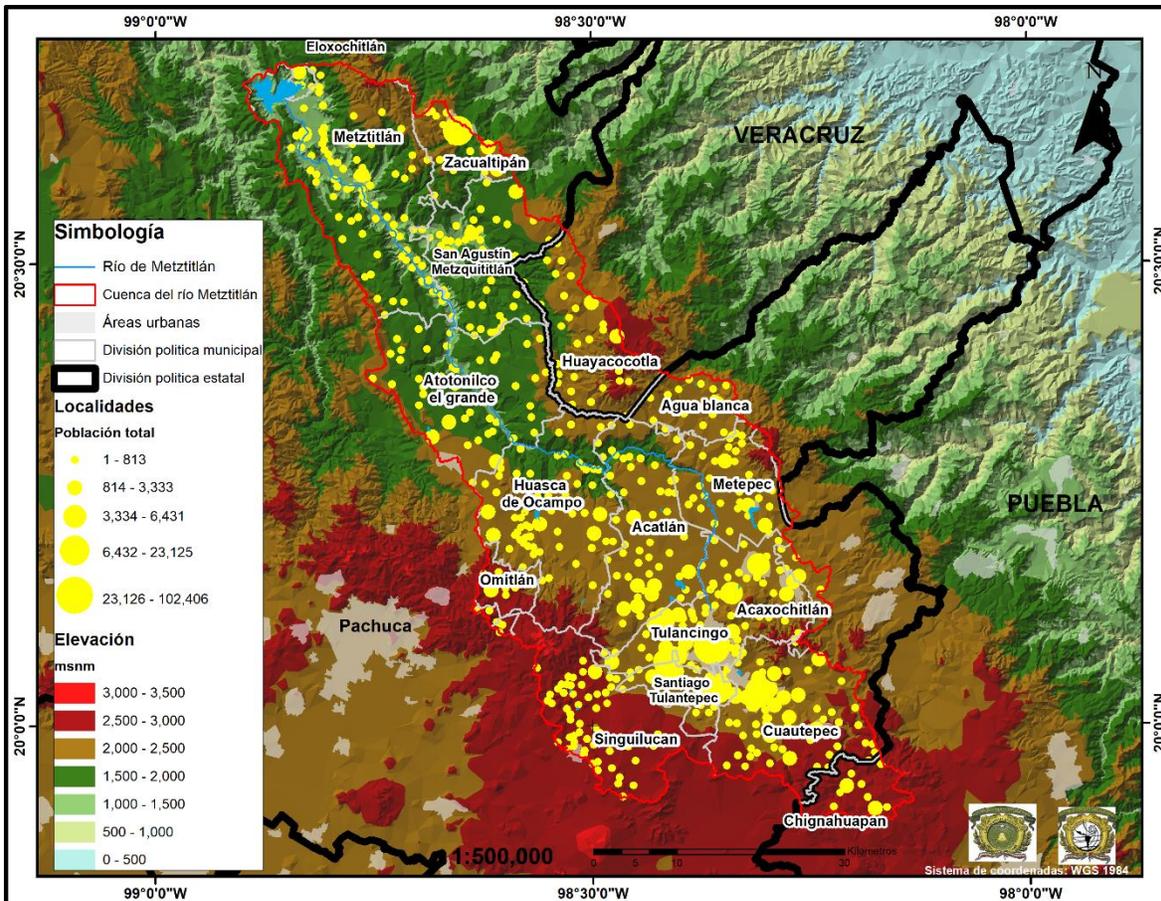


Figura 4.10. Población por localidades en la Cuenca del Río Metztlitlán.  
Fuente: elaborado con datos de INEGI, 2010.

Del conjunto de los 25 municipios que comprenden la cuenca, sólo 19 tienen presencia de asentamientos humanos dentro de la misma, siendo 17 del estado de Hidalgo los cuales comprenden el 97.4 % de la población total, uno del estado de Puebla (1%) y el restante del estado de Veracruz con el 1.6%. La relación se muestra en la tabla 4.5:

Tabla 4.5. Habitantes por municipio en la cuenca del río Metztitlán para el año 2010.

Clave	Municipio	No.	%
Municipal		Habitantes	
13077	Tulancingo de Bravo	151,584	40.1
13016	Cuautepec de Hinojosa	49,018	13.0
13056	Santiago Tulantepec de Lugo Guerrero	33,495	8.9
13081	Zacualtipán de Ángeles	26,630	7.0
13001	Acatlán	20,077	5.3
13037	Metztitlán	17,392	4.6
13024	Huasca de Ocampo	17,182	4.5
13012	Atotonilco el Grande	11,123	2.9
13035	Metepc	11,099	2.9
13057	Singuilucan	7,829	2.1
13036	San Agustín Metzquititlán	7,638	2.0
13004	Agua Blanca de Iturbide	7,480	2.0
30072	Huayacocotla	6,089	1.6
21053	Chignahuapan	3,825	1.0
13002	Acaxochitlán	2,561	0.7
13045	Omitlán de Juárez	2,435	0.6
13020	Eloxochitlán	1,104	0.3
13039	Mineral del Monte	796	0.2
13022	Epazoyucan	534	0.1
	<b>Total</b>	<b>377,891</b>	<b>100</b>

Fuente: Elaboración propia con datos de INEGI, 2010.

#### 4.1.6. Marginación

La marginación es un fenómeno estructural múltiple que valora dimensiones, formas e intensidades de exclusión en el proceso de desarrollo, expresa la falta de oportunidades y desigualdad en la distribución del progreso, que excluye a diversos grupos sociales, incidiendo en los niveles de bienestar y en la creación de capacidades, recursos y, por ende, en el desarrollo (Comisión Nacional de Población [Conapo], 2016). En este sentido, el grado de marginación es de gran utilidad para identificar aquellos municipios que carecen de servicios básicos, o para identificar cual es la razón que los ubica dentro de cierta categoría de marginación.

De acuerdo con la Conapo (2010), en la cuenca el grado de marginación en la mayoría de los municipios se encuentran en el nivel medio (figura 4.11), excepto San Bartolo que presenta una alta marginación, sin embargo, la superficie de este es muy pequeña dentro de la cuenca.

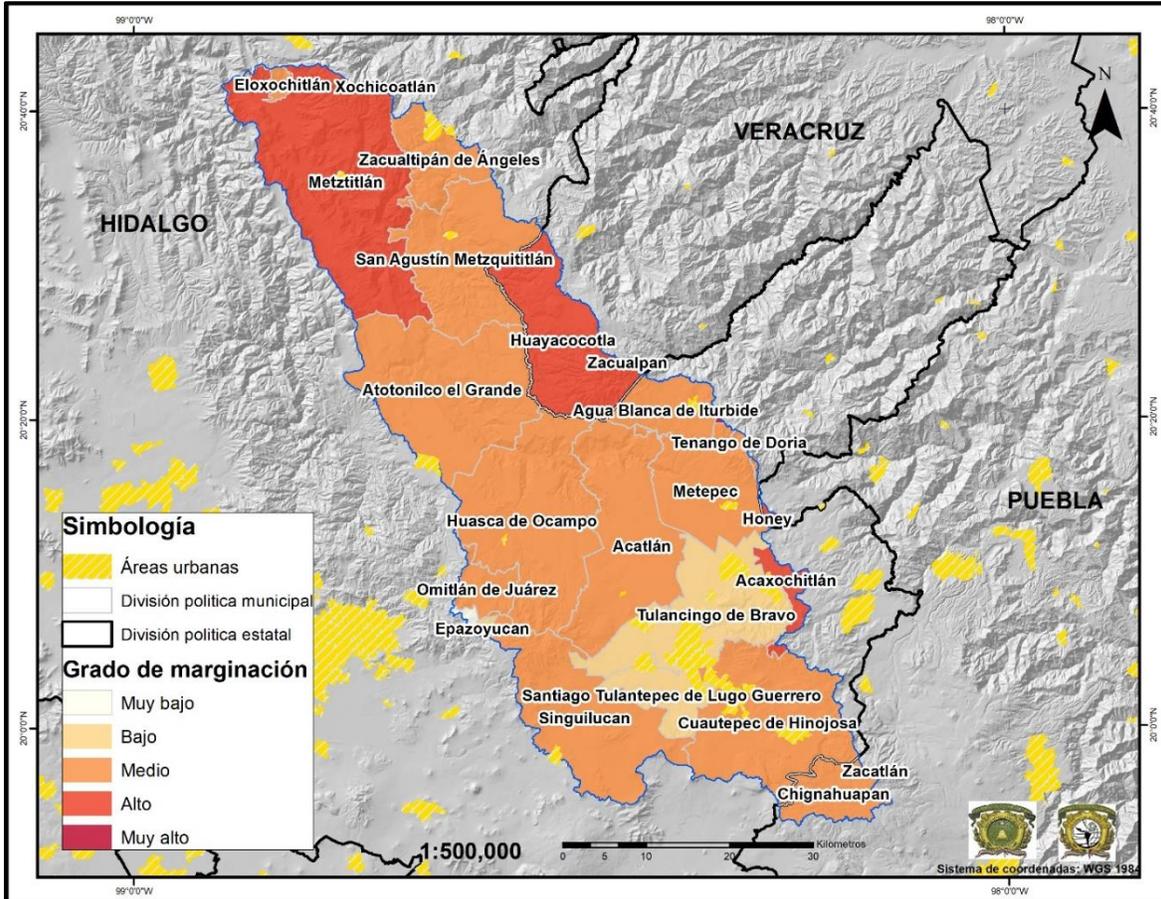


Figura 4.11. Grado de marginación por municipio en la cuenca del río Metztlán.

El grado de marginación se obtuvo del índice de marginación generado por la Conapo en el año 2010, dicho índice se compone de cuatro dimensiones socioeconómicas que son la educación, vivienda, distribución de la población e ingresos. El procedimiento incluye el método de componentes principales, y aplicado a nueve indicadores calculados para los municipios, los cuales se clasificaron en cinco grupos. En la tabla 4.6 se muestra el grado de marginación por municipio de acuerdo con la caracterización ya mencionada.

Tabla 4.6. Grado de marginación por municipio en la cuenca del río Metztlán.

Municipios	Rangos en el índice de marginación		Grado de marginación
	Límite mínimo	Limite máxima	
Mineral del Monte	-2.4485	-0.9890	Muy bajo
Tulancingo, Santiago Tulantepec y Epazoyucan.	-0.9890	-0.5025	Bajo
Acatlán, Agua Blanca de Iturbide, Atotonilco el Grande, Cuauhtepic de Hinojosa, Chignahuapan, Eloxochitlán, Huasca de Ocampo, Metepec, Omitlán, San Agustín Metzquititlán, Tenango de Doria, Singuilucan, Xochicoatlán, Zacualtipán, Zacatlán.	-0.5025	0.4706	Medio
Zacualpan	0.4706	1.4436	Alto
San Bartolo Tutotepec	1.4436	3.3896	Muy alto

Fuente: elaboración propia con datos de Conapo, 2010.

De acuerdo con la tabla 4.6 en promedio los municipios se encuentran en un grado de marginación medio, sin embargo, al analizar por localidad (figura 4.12) cuáles son las que tienen un mayor número con un grado de marginación muy alto se encuentran Cuauhtepic de Hinojosa y Tulancingo, en el estado de Hidalgo, y Huayacocotla en Veracruz, lo cual no se ve reflejado a nivel municipal al considerar las estadísticas totales de cada municipio. Son localidades que dieron un alto valor de marginación a causa de sus condiciones de educación y vivienda, en cuanto al porcentaje de población de 15 años o más analfabeta y sin primaria completa, y por la variable de vivienda en el porcentaje de viviendas particulares con piso de tierra y el promedio de ocupantes por cuarto en viviendas particulares habitadas. Por otro lado, Tulancingo también destaca por presentar el mayor número de localidades dentro de la categoría de muy baja marginación, esto es principalmente por contar con un muy bajo porcentaje de viviendas particulares sin energía eléctrica.

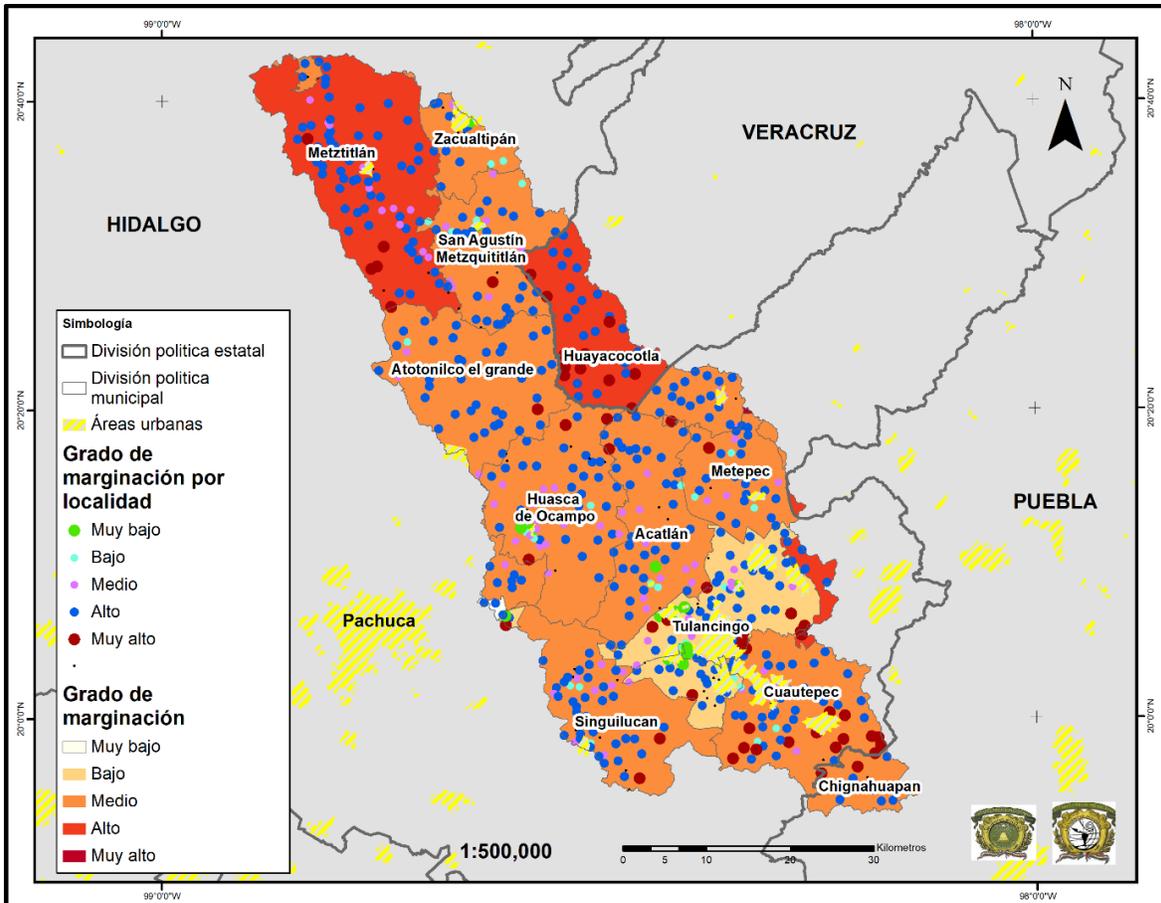


Figura 4.12. Grado de marginación por localidad en la cuenca del río Metzquitlán.

#### 4.1.7. Actividades económicas

Una actividad económica es una acción o proceso para producir bienes o servicios, cuyo fin es satisfacer las necesidades de la sociedad. Las actividades económicas se clasifican en primarias, secundarias y terciarias; las primeras se encuentran en la primera fase del proceso de producción, se considera como primaria a la ganadería, la agricultura, la pesca o aquella actividad que implique la extracción de la materia prima. En cuanto a las actividades secundarias son las que se encargan de producir bienes y servicios mediante labores de producción y transformación de materias primas, aquí se incluyen las industrias manufactureras y de construcción. Por último, las terciarias son las que realizan la distribución y comercialización de los productos y servicios como el comercio, los bienes raíces, las actividades gubernamentales entre otras.

Las unidades económicas ofrecen los datos de identificación, ubicación, actividad económica y tamaño de los negocios activos en el territorio nacional, principalmente, para los establecimientos grandes. En la figura 4.13 se muestra la distribución de las unidades económicas presentes en la cuenca para el año 2018.

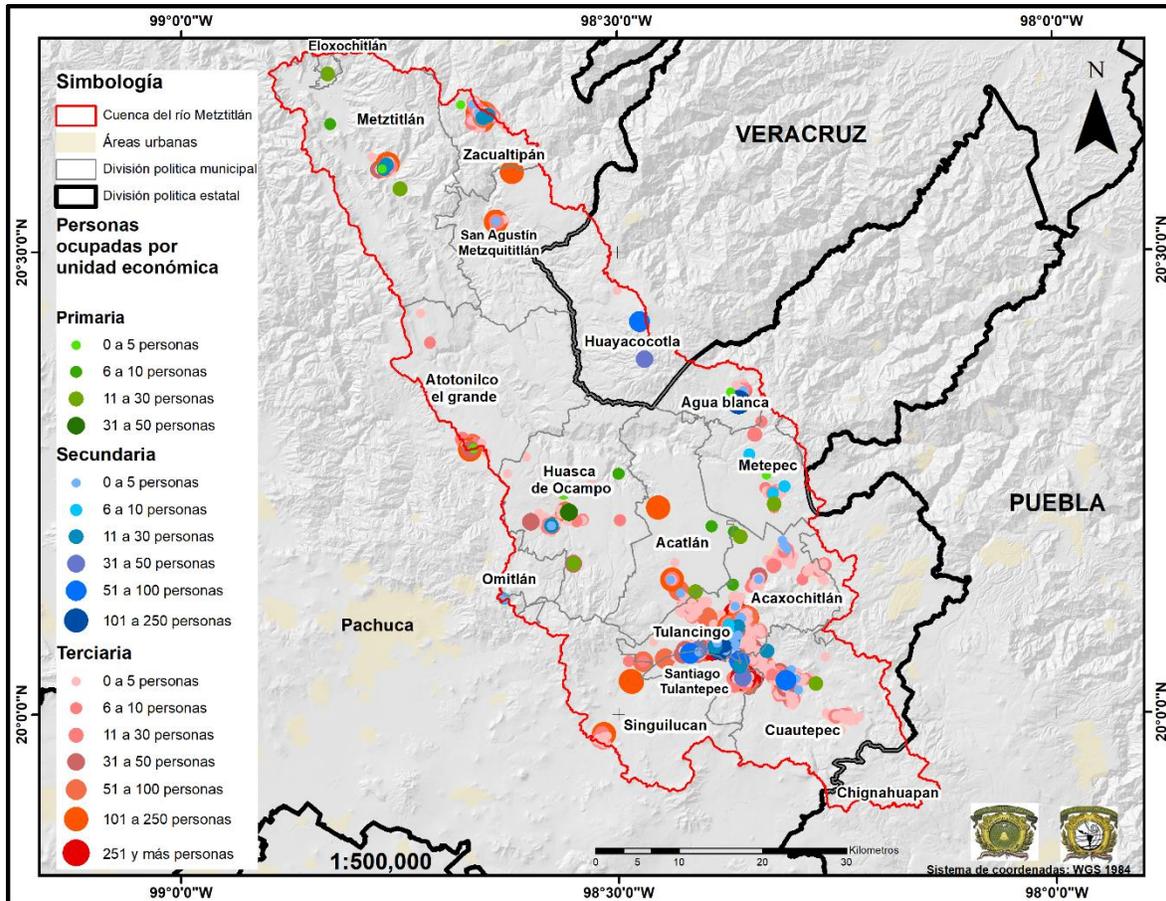


Figura 4.13. Personas ocupadas por unidad económica en la cuenca del río Metztlán. Fuente: Elaborado con datos del DENU, 2018.

De acuerdo con lo anterior, las unidades económicas en la cuenca se comportan de la siguiente manera: bajo el rubro de las actividades primarias, la acuacultura es la actividad predominante, se practica en los municipios de Huasca de Ocampo, Tulancingo, Metztlán y Eloxochitlán; por actividades secundarias se incluye la construcción, la generación, transmisión y distribución de energía eléctrica, suministro de agua y gas por ducto, y la minería, siendo Tulancingo el principal

productor en los tres y además, el que ocupa el mayor número de personas (101-250) en el sector, en segundo lugar Cuauhtepc y Santiago Tulantepec. Cabe mencionar que Mineral del monte y Metepec destacan por la minería, específicamente de caolín (tipo de arcilla empleada en la construcción) ; en cuanto a las actividades terciarias destacan por mayoría de establecimientos las ubicadas en la zona metropolitana de Tulancingo (incluye Santiago Tulantepec y Cuauhtepc), en el comercio al por menor en tiendas de abarrotes, ultramarinos y misceláneas, de ropa, artículos de papelería, frutas y verduras, así como salones y clínicas de belleza y peluquerías, y restaurantes con servicio de preparación de antojitos, aunque los que tienen mayor ocupación de personal (más de 250 personas) son la fabricación de telas, el comercio al por mayor y los hospitales.

Al analizar por municipio las aglomeraciones de unidades económicas respecto con aquellas actividades que hacen más uso de agua (figura 4.14), se encontró que: en el caso de Cuauhtepc y Tulancingo sobresalen por la fabricación de ropa y bolsos, la elaboración de productos agrícolas textiles y la fabricación de calzado con corte de piel, en la última actividad también destaca la participación del municipio de Zacualtipán, se recalcan estas actividades ya que son las que utilizan más agua en su proceso de producción, por mencionar para producir un par de zapatos con piel bovina se utilizan ocho mil litros de agua a diferencia de un huevo que solo requiere 135 litros.

En el caso de Huasca de Ocampo (color verde bandera en la figura 4.14) sobresale el servicio de hoteles, cabañas, actividades de pesca y acuacultura, y el comercio al por menor de artesanías, evidente de una región con aptitudes turísticas. De igual manera Metztitlán destaca en turismo en especial por los parques de diversiones y acuáticos.

Y finalmente, se ha de aclarar que algunas actividades propias del sector primario no se reflejan, no son una unidad económica porque no existe un establecimiento. Vale la pena hacer mención

que la actividad agrícola y ganadera tienen una importante participación en la cuenca (apartado de distritos de riego (4.1.3.1.3)), sin embargo, municipios como Santiago Tulantepec, Zacualtipán y Tulancingo destacan porque en ellos se realizan actividades de matanza de ganado, aves y otros animales comestibles (sector secundario), por lo que se puede referir que hacia estos municipios se envían los productos del sector primario.

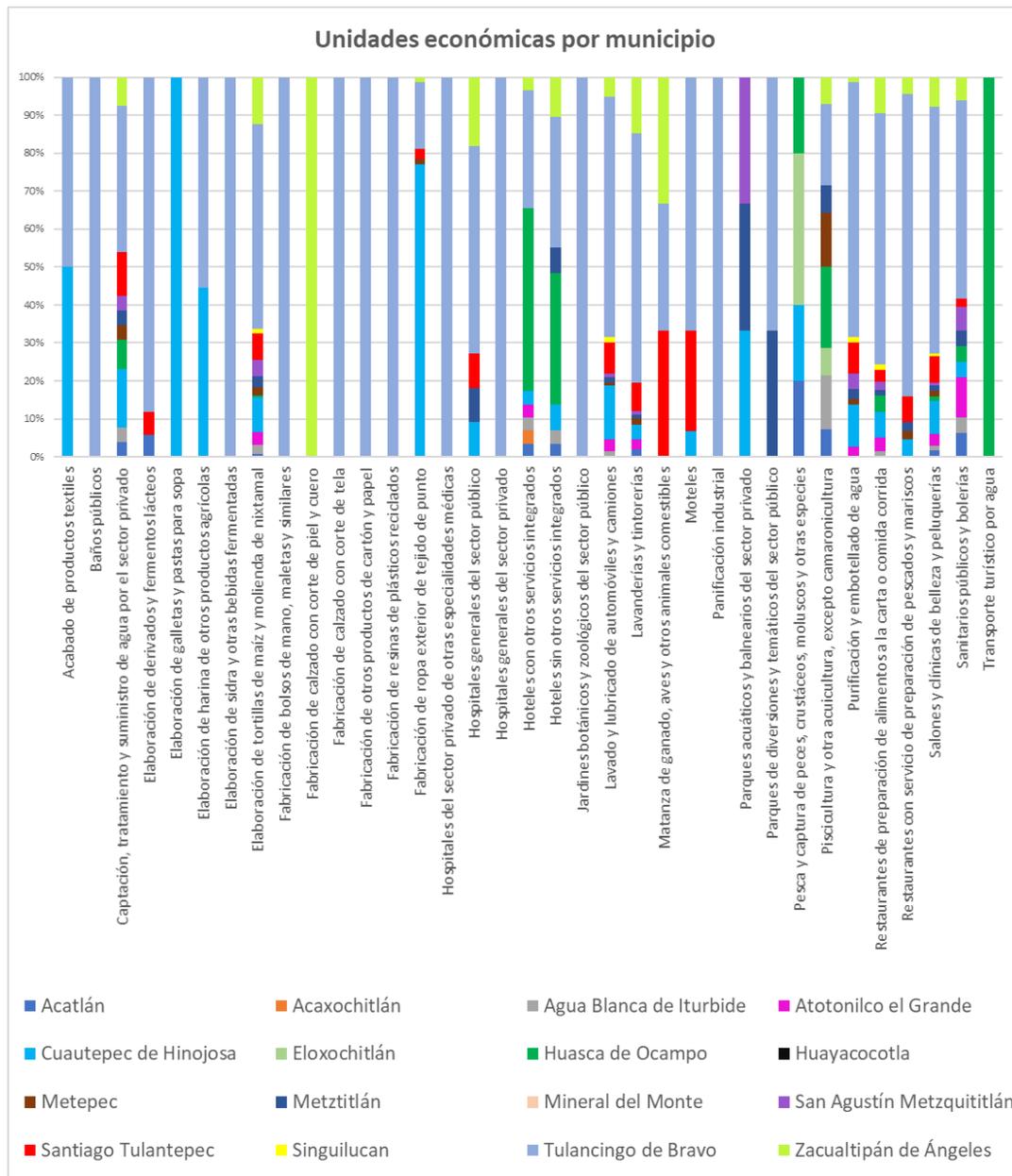


Figura 4.14. Unidades económicas por municipio en la cuenca Metzquitlán  
Fuente: Elaborado con datos del DENUE, 2018.

#### 4.1.8. Vulnerabilidad ante riesgos hídricos

En la cuenca de Metztlán han ocurrido inundaciones. Los eventos más recientes se presentaron en los años 1999 y 2005 (López-Herrera et al., 2015). De acuerdo con la CONANP (2003) las precipitaciones extremas elevan la magnitud de las inundaciones y de sus efectos, sobre todo por la presencia en la cuenca del aprovechamiento de los recursos geológicos, tala y erosión hídrica, que en su conjunto inducen a la pérdida de suelo antropogénica en la RBBM y favorecen la ocurrencia de inundaciones.

Ante los problemas de inundaciones la CONAGUA construyó dos túneles para aumentar el desfogue en la laguna y prevenir la afectación de los terrenos agrícolas del DR-08, pero esos no han sido suficientes y se construye un tercer túnel. Esta última obra no fue aceptada inicialmente por la RBBM, ya que argumentaba que la construcción del tercer túnel podría extraer excesivamente el agua de la laguna hasta niveles graves, sin embargo, en un estudio realizado por Mendoza et al., (2011) indicó que tal riesgo era bajo, por lo que, los autores realizaron una serie de recomendaciones para evitar riegos mayores.

En cuanto a la ocurrencia de sequías en la zona de estudio, según lo reportado por el Monitor de Sequía de Norteamérica, durante el año 2019 se tuvo un comportamiento catalogado como *anormalmente seco*, en gran parte de la cuenca, y con *sequía moderada*, en una superficie menor de la misma. Solo en tres meses no se presentó condición alguna de sequía (figura 4.15). Espacialmente, dos hechos son importantes de destacar sobre el comportamiento temporal de la sequía. En primer lugar, una porción de la margen norte y noroeste, así como en la parte alta de la cuenca (al suroeste) son las zonas que más condiciones de sequía presentan (*anormalmente seco* en la época lluviosa de la cuenca y con *sequía moderada* durante la parte seca de la misma). En

cambio, como segundo elemento a resaltar, la parte media de la cuenca es la zona donde no se aprecia influencia de sequía alguna en la mayor parte del año 2019.

Al referirse como anormalmente seco se trata de una condición de sequía. Se presenta al inicio o al final de un periodo de sequía; al inicio puede ocasionar el retraso de la siembra de los cultivos anuales, el limitado crecimiento de los cultivos y pastos, además existe el riesgo de incendio en la cubierta vegetal; al final del período de sequía puede persistir un déficit de agua, los pastos y cultivos pueden no recuperarse completamente. En tanto la sequía moderada es una categoría de sequía, se caracteriza por presentar algunos daños en los cultivos y pastos; existe un alto riesgo de incendios en la vegetación, al mismo tiempo que propicia bajos niveles de agua en ríos, arroyos, embalses, abrevaderos y pozos, por lo que implica una restricción en la disponibilidad del agua.

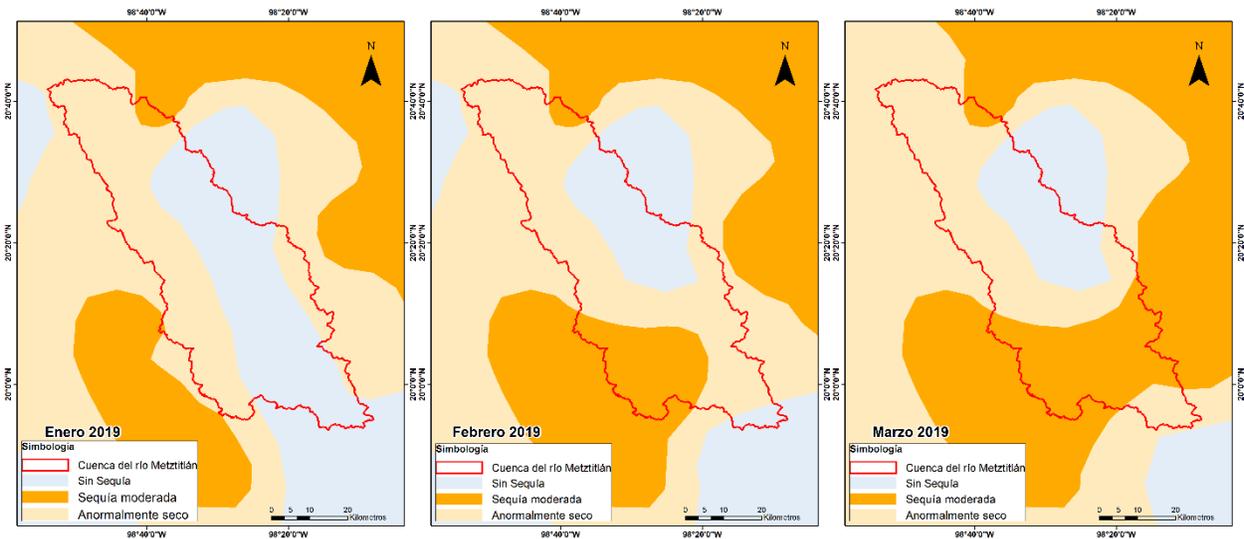


Figura 4.15. Presencia de sequía en la cuenca del río Metztlán.

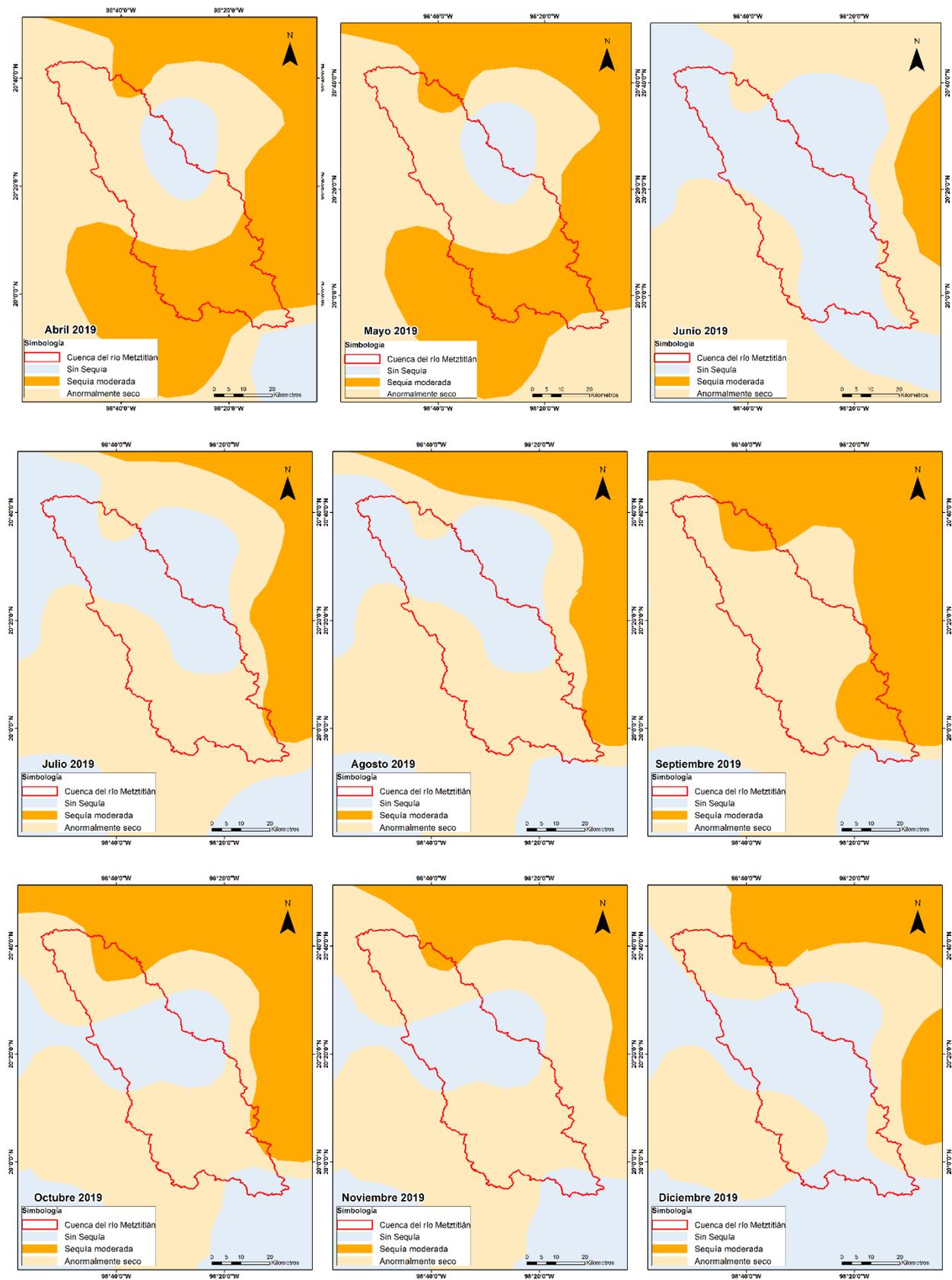


Figura 4.15. Presencia de sequía en la cuenca del río Metztitlán (continuación).

Finalmente, es importante señalar que en los meses de febrero y marzo del año 2020, vecinos, autoridades y medios de comunicación alertaron por la sequía presentada en la barranca de Metztitlán. De acuerdo con fuentes periodísticas la Laguna de Metztitlán perdió el 95% de su agua, quedando una pequeña franja de agua rodeada de un desierto de tierra arenosa y agrietada, por lo que es un golpe a los ecosistemas, la fauna silvestre y la actividad agrícola (La Jornada, 31, 24; El Universal, 24; La Silla Rota Hidalgo, 25/02/2020), por lo que se tendrían que realizar acciones para atacar este problema que afecta directamente a los vecinos de Metztitlán, además de que, la pérdida total del agua de la laguna puede desencadenar problemas más amplios.

#### **4.2. Variables clave en la gestión del agua en la cuenca del río Metztlán**

Las entrevistas semiestructuradas (anexo 1) se aplicaron a directores de agua y saneamiento municipal, operadores municipales del programa de cultura del agua, al jefe de los distritos de riego, y al encargado de la ANP RBBM. Por cuestiones de tiempo y de recursos, y también por la falta de iniciativa de algunas autoridades, solo se entrevistó a diez de los veinticinco directores de agua de los municipios, pero se contó con dos entrevistas de los encargados de cultura del agua y la del encargado de la reserva de la biósfera.

Para lograr una mejor caracterización e identificación de los retos hídricos se realizaron recorridos por la cuenca para el reconocimiento de las actividades económicas y acciones entorno al manejo del agua. Se realizó un recorrido por la planta de tratamiento de la cabecera municipal de Metztlán (ubicada en la parte baja de la cuenca) en compañía del C. Jesús Moreno, director de agua y saneamiento en ese momento, quien explicó las limitantes y problemática que tienen al ser el municipio contenedor de las repercusiones sobre todo del agua que llega a la laguna por las afluentes de la parte alta. Además, se hizo un recorrido en compañía de personal de la RBBM para conocer las instalaciones y recibir pláticas sobre el jardín botánico de cactáceas y por la zona de la laguna de Metztlán, con propósito de conocer las acciones que se realizan y cómo han logrado dar continuidad a la zona de conservación (anexo 2).

Es importante recordar que con la aplicación de las entrevistas se obtuvieron las variables generales del sistema de gestión del agua (tabla 3.2) necesarias para realizar el análisis estructural, mismas que fueron caracterizadas en la tabla 3.3 y utilizadas en la evaluación de la relación entre variables por el método MICMAC.

Como parte de los resultados correspondientes a la relación de influencia-dependencia por los expertos y el proceso hasta llegar a la MIT (anexo 3), se obtuvo la influencia y dependencia total de cada variable. El resultado de aplicar el GVF, para la suma de influencia total, así como la suma de dependencia total, se muestra en la figura 4.16: la clase para la influencia baja agrupó a los valores entre 0.21 y 12.27; la de las variables del pelotón considera valores de 12.27 a 23.54; y la clase para los datos de mayor influencia se agrupó en valores mayores a 23.54 hasta 48.90. En cuanto a las clases de dependencia total, la clase de baja dependencia quedó delimitada entre 4.43 y 16.21; la clase para las variables pelotón incluyó valores de 16.21 hasta 25.26; y finalmente, la clase de las variables más dependientes que van de 25.26 hasta valores de 42.4.

La aplicación del GVF ayudo para revelar la zona del pelotón y para dar mejor categorización a las variables clave. Al representar las variables en un plano de influencia-dependencia, es posible identificar a las variables clave (área azul de la figura 4.16), las cuales se comportan de la siguiente manera:

- Variables de entrada, son las ubicadas en el cuadrante superior izquierdo (34, 30, 15 y 9) son las variables motrices, cualquier cambio en ellas repercutirá en el sistema, al ser muy influyentes y poco dependientes son variables clave al momento de realizar acciones por lo que se requiere analizar sus cambios;
- variables de enlace, son las del cuadrante superior derecho (36, 35 y 23), son variables muy influyentes y dependientes por lo que tienden a ser muy inestables, cualquier acción sobre ellas repercutirá sobre otras variables y al mismo tiempo algún efecto sobre ellas, modificando así la dinámica global del sistema.

- Las variables de salida son las ubicadas en el cuadrante inferior derecho (27, 8, 6, 2 y 1), estas son muy dependientes y poco influyentes. Sus cambios se explican por los impactos provenientes de otras variables, en especial las de entrada y enlace;
- Todas las restantes, variables del pelotón y excluida no son consideradas dentro de las variables clave.

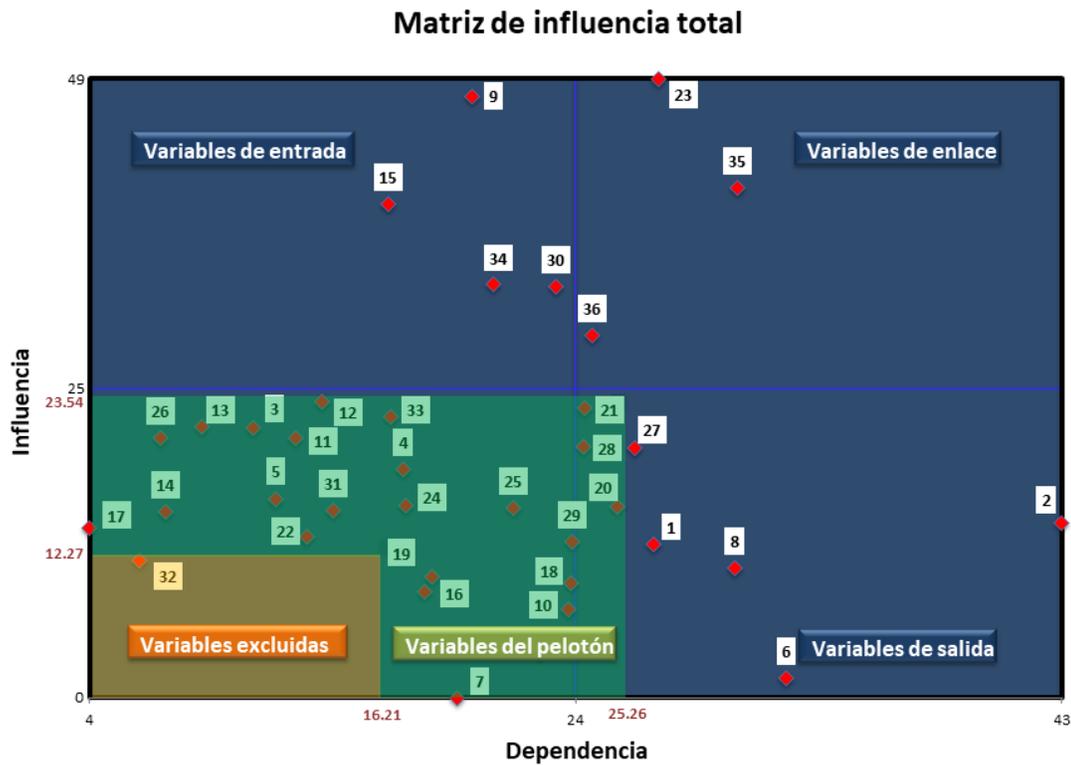


Figura 4.16. Plano de influencia-dependencia de la MIT en la gestión del agua en la cuenca del río Metztitlán.

Las variables clave tienen la característica que presentan una alta influencia y/o dependencia o ambas. Ayudan a analizar la dinámica del sistema y a reducir su complejidad. De ahí que, de las 36 variables generales se redujo a 12 variables clave (tabla 4.7).

Tabla 4.7. Categorización de las variables clave en la gestión del agua en la cuenca del río Metztlán.

<b>Categoría</b>	<b>No.</b>	<b>Nombre de la Variable</b>
Entrada	9	Cultura ambiental
	15	Protección de áreas naturales
	30	Disposición adecuada de aguas residuales
	34	Participación en el tratamiento de aguas residuales
Enlace	23	Gestión del servicio de agua
	35	Medidas en la regulación del agua
	36	Inversión en las plantas de tratamiento de agua
Salida	1	Acceso al servicio de agua para el sector agropecuario
	2	Conflictos entre usuarios del agua
	6	Abandono de la agricultura
	8	Producción agrícola
	27	Sistema de cobro por el uso del servicio de agua

De las variables clave y en complemento para la planeación estratégica, se categorizaron en la tabla 4.8 en AEPA que servirán para la identificación de actores en la gestión del agua en la cuenca.

Tabla 4.8. Categorización de las variables clave en AEPAS y en PEIR

<b>No.</b>	<b>Nombre de la variable</b>	<b>Tema</b>	<b>Tipo</b>	<b>AEPA</b>	<b>PEIR (Presión-Estado-Respuesta-Impacto)</b>
1	Acceso al servicio de agua para el sector agropecuario	Agropecuario	Salida	Social	Presión
2	Conflictos entre usuarios del agua	Agropecuario	Salida	Social	Respuesta
6	Abandono de la agricultura	Agropecuario	Salida	Económico	Impacto
8	Producción agrícola	Agropecuario	Salida	Económico	Presión
9	Cultura ambiental	Ambiental	Enlace	Social	Respuesta
15	Protección de áreas naturales	Ambiental	Enlace	Social/ Institucional	Respuesta
23	Gestión del servicio de agua	Doméstico	Entrada	Social	Respuesta
27	Sistema de cobro por el uso del servicio de agua	Doméstico	Salida	Económico	Respuesta
30	Disposición adecuada de aguas residuales	Doméstico	Enlace	Ambiental	Respuesta
34	Participación en el tratamiento de aguas residuales	Industrial	Enlace	Social	Respuesta
35	Medidas en la regulación del agua	Industrial	Entrada	Ambiental	Impacto
36	Inversión en las plantas de tratamiento de agua	Industrial	Entrada	Económico	Impacto

### 4.3. Indicadores para evaluar las variables clave del sistema de gestión del agua en la cuenca

Se identificó a once de los doce indicadores como se indicó en la tabla 3.4. Además, en la tabla 3.5 del apartado 3.11 se mostró como se calcularon cada uno de ellos. Cabe destacar que de los 25 municipios que integran la cuenca, solo se obtuvieron datos para 19 de ellos, esto porque en los restantes no se cuenta con población o superficie de la cual poder tomar dicha información.

Para la generación de indicadores y como se describió en la sección de metodología se realizó la creación de la BDG. La estructura con la que conto la BDG consiste en cuatro tablas (agropecuario, agua y saneamiento, social y conservación), cada una de ellas con sus respectivos atributos, es decir campos con datos que fueron ocupados en el cálculo de los indicadores y que están agrupados de acuerdo con las características en común (tablas 4.9 a 4.12).

Tabla 4.9. Características de los datos para el cálculo de indicadores del tema agropecuario

Nombre de campo	Tipo	Long.	Descripción
cve_mun	string	5	Código que identifica al municipio
nom_Mun	string	50	Nombre del municipio
Sup_mun	Double	10	Superficie del municipio
sup_cose	Double	10	Superficie cosechada
Siniestrada	Double	10	Superficie siniestrada del cultivo
Vol_prod	Double	10	Volumen de producción
Rend	Double	10	Rendimiento
volcon_A	Double	10	Volumen de agua concesionada por municipio
V_prod	Double	10	Valor de la producción
sup_agr1	Double	10	Superficie con actividad agrícola del año 2013
sup_agr2	Double	10	Superficie con actividad agrícola del año 2017
ps_agri	Double	10	Proporción del municipio con actividad agrícola
volconAM	Double	10	Volumen de agua concesionada por municipio para el sector agrícola

Tabla 4.10. Características de los datos para el cálculo de indicadores del tema agua y saneamiento

Nombre de campo	Tipo	Long.	Descripción
cve_mun	string	5	Código que identifica al municipio
nom_Mun	string	50	Nombre del municipio
sup_mun	Double	10	Superficie del municipio
c_tratado	Double	10	Caudal tratado
N_p_Trat	Double	10	Número de plantas de tratamiento
Lo_cobro	Integer	10	Número de localidades con disponibilidad de sistema de cobro
P_cobro	Integer	10	Porcentaje de disponibilidad del sistema de cobro por municipio
T_VPH	Integer	10	Total de viviendas particulares habitadas en los municipios
VPH_DRE	Integer	10	Total de viviendas particulares que tienen disponibilidad de drenaje por municipio
dre_otro	Integer	10	Disponibilidad de drenaje pero de otro tipo
VPH_AGUA	Integer	10	Total de viviendas particulares habitadas con servicio de agua
PO_VPH_A	Double	10	Proporción de viviendas particulares habitadas con acceso al agua en la vivienda
PO_VPH_D	Double	10	Proporción de viviendas particulares habitadas con acceso al servicio de drenaje en la vivienda
c_real	Double	10	Rendimiento real del caudal tratado

Tabla 4.11. Características de los datos para el cálculo de indicadores del tema social

Nombre de campo	Tipo	Long.	Descripción
cve_mun	string	5	Código que identifica al municipio
nom_Mun	string	50	Nombre del municipio
sup_mun	Double	10	Superficie del municipio
Conflict	Integer	10	Número de conflictos registrado entre usuarios del agua
pob_tot	Integer	10	población total
Confli_P	Double	10	Proporción de conflictos registrados por municipio (%)
Confli_T	Double	10	Total de conflictos registrado entre usuarios del agua, que es igual a 22.

Tabla 4.12. Características de los datos para el cálculo de indicadores del tema conservación

Nombre de campo	Tipo	Long.	Descripción
cve_mun	string	5	Código que identifica al municipio
nom_Mun	string	50	Nombre del municipio
sup_mun	Double	10	Superficie del municipio
sup_proteg	Double	10	porcentaje de área natural protegida por municipio
sup_anp	Double	10	Superficie del municipio que se encuentra como área natural protegida
ne_amb	String	10	Numero de espacios de cultura del agua o relacionados al cuidado del agua
pob_tot	Integer	10	población total
Ecul_pob	Integer	10	Espacios de cultura por población

A continuación se presentan los resultados del cálculo de indicadores:

#### 4.3.1. Indicador de volumen de agua concesionada para el sector agropecuario

Para evaluar la variable de *acceso al servicio de agua para el sector agropecuario* se usó el indicador de volumen de agua concesionada por municipio para el sector agropecuario (figura 4.17). Este indicador permite evaluar la cantidad de agua en metros cúbicos por año concesionada que se tiene registrada por superficie del municipio para el sector agropecuario.

En la cuenca el municipio que utiliza mayores volúmenes de agua para el sector agropecuario es Santiago Tulantepec seguido de Acatlán y Huasca, por el contrario, municipios como Huayacocotla y Cuauhtepec que utilizan menores cantidades.

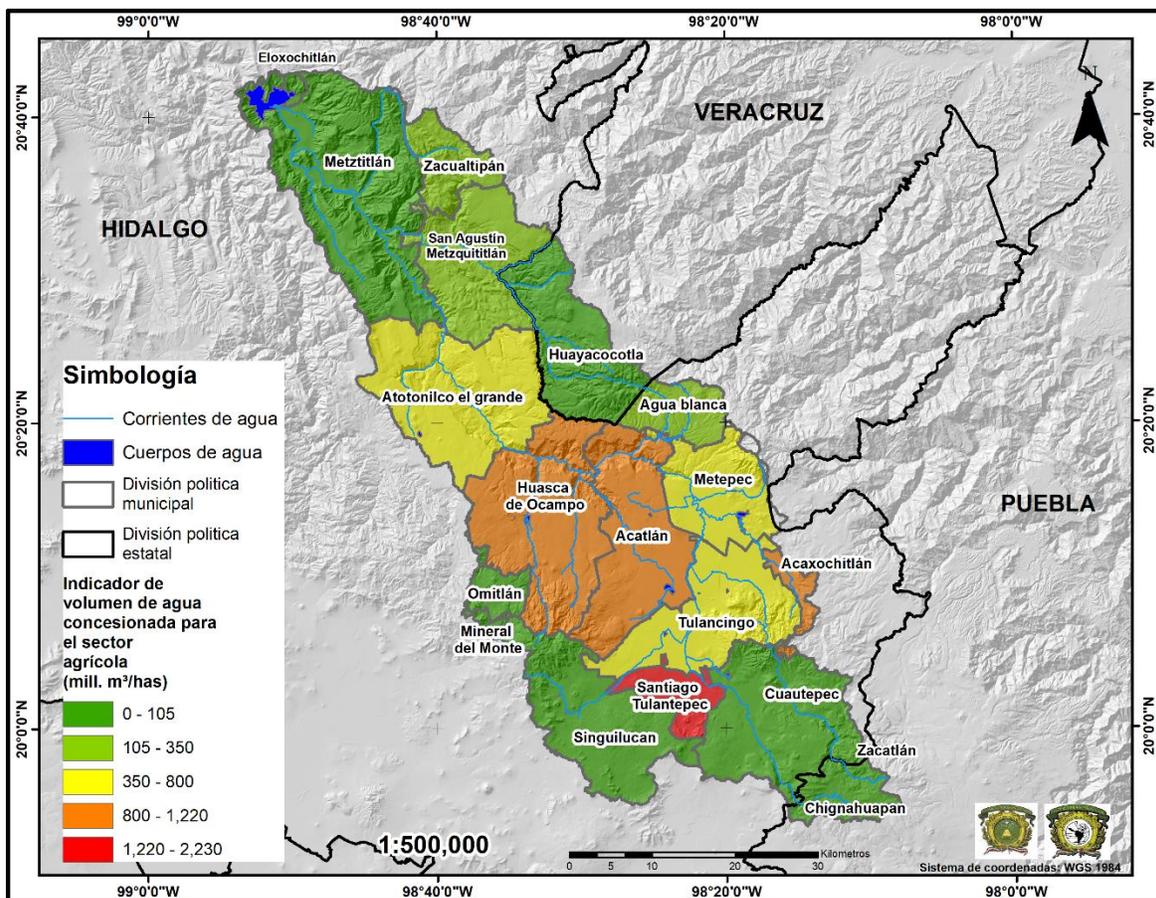


Figura 4.17. Indicador de volumen de agua concesionada por municipio para el sector agrícola.

### 4.3.2. Indicador de conflictos registrados entre usuarios del agua

Este indicador se refiere a la proporción de conflictos registrados entre usuarios del agua y pueden deberse a la falta de infraestructura o servicio de agua, de drenaje y alcantarillado, o por sequía, inundaciones o clima adverso y por la contaminación ambiental. Por lo que es un indicador pertinente para enfocar acciones y estrategias en torno al tema social.

En la cuenca, los municipios que presentan mayores valores (25%) de conflictos registrados (en la figura 4.18) son Huasca de Ocampo y Singuilucan. En caso contrario Zacualtipán y San Agustín Metzquititlán no presentaron para el año 2010 algún tipo de conflicto relacionado con el agua o al menos no se encontró registro.

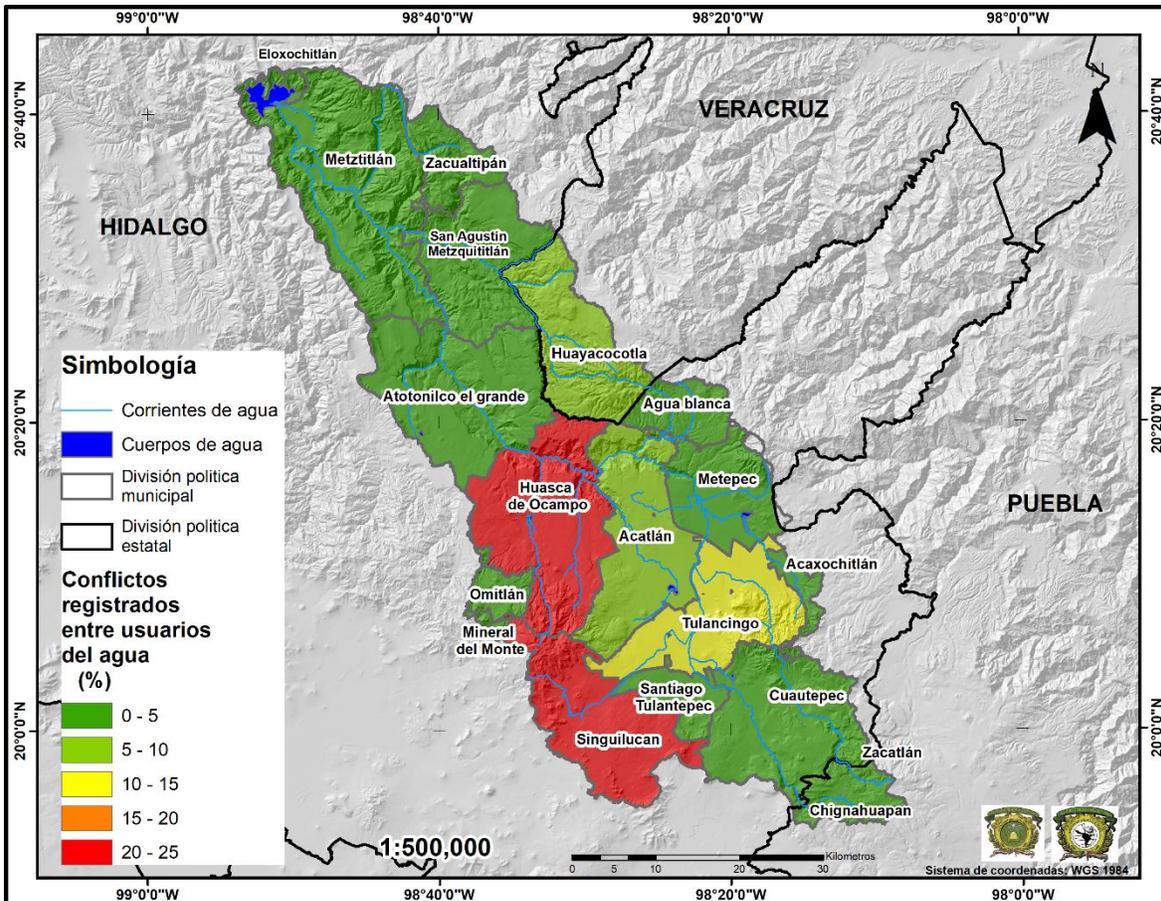


Figura 4.18. Indicador de conflictos registrados entre usuarios del agua

### **4.3.3. Indicador de superficie con abandono de la actividad agrícola**

Una manera de saber si existe abandono o no en la agricultura es mediante la comparación de la superficie dedicada a esta actividad en dos temporalidades. Para este indicador se consideró el uso de suelo y vegetación de los años 2013 y 2017 en las categorías de agricultura, aquí se incluyó tanto la de temporal como de riego.

En la figura 4.19 se muestra el comportamiento del abandono de la agricultura, en donde los municipios con color rojo (Tulancingo y Singuilucan) son aquellos que han perdido más de mil hectáreas del uso agrícola, los de color verde limón son los que presentan los valores más bajos, mientras que los verdes oscuros (Huasca y Acatlán, solo por mencionar algunos) son los que no presentan algún cambio negativo y que por el contrario ganaron superficie agrícola, en estos municipios se tiene que poner atención por que a mayor superficie sembrada mayor consumo de agua, pero también los que han abandonado la agricultura por que representan pérdidas económicas.

Es preciso mencionar que los municipios que presentan mayor pérdida en la superficie agrícola son los que se localizan en la parte alta de la cuenca, y además son lo que se encuentran dentro de la zona conurbada de Tulancingo, principal razón que hace que cambie el uso del suelo de agrícola a urbano e industrial.

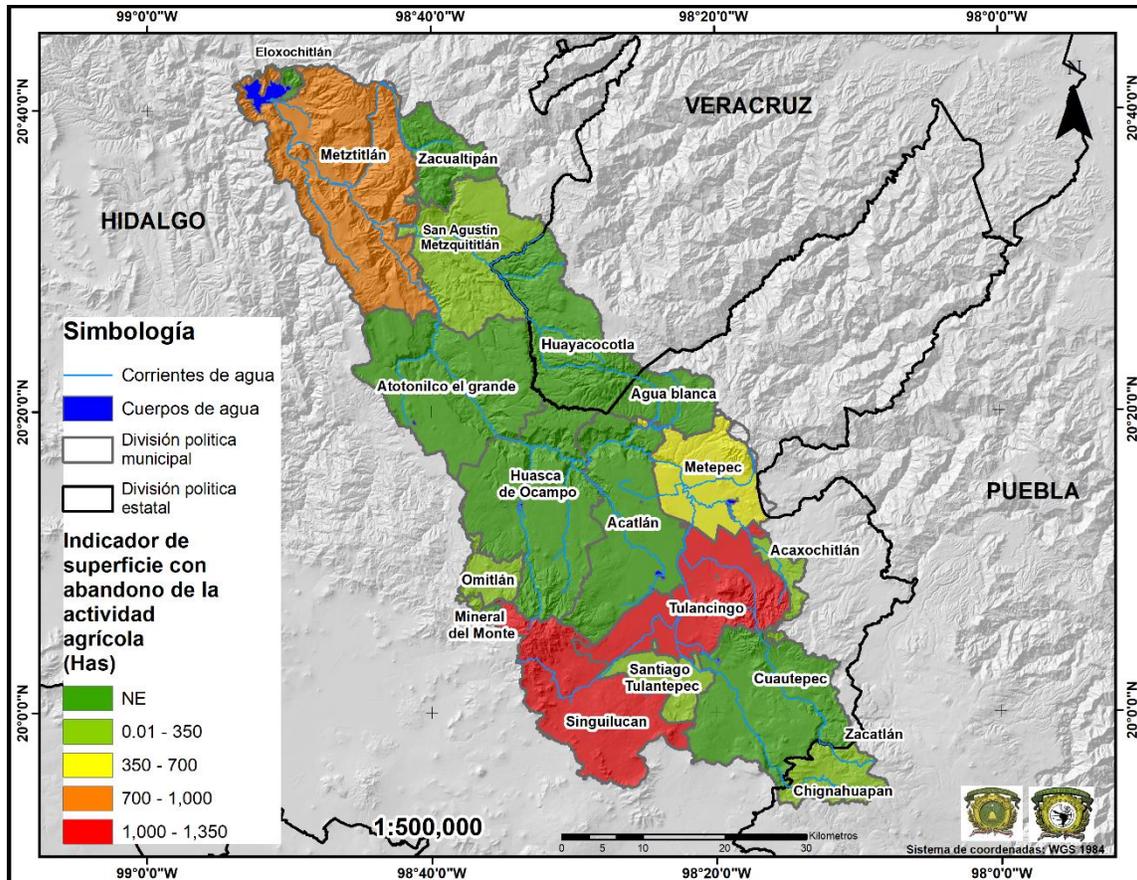


Figura 4.19. Indicador de la superficie con abandono de la actividad agrícola.

#### 4.3.4. Indicador de rendimiento de la producción agrícola

El rendimiento de la producción agrícola fue el indicador que permitió medir la variable de *producción agrícola*, que mide la producción total por municipio para el año 2018. Este indicador es importante al momento de valorar el agua que se utiliza para los cultivos, especialmente en la eficiencia en el sistema de riego y sobre todo al compararlo con indicador de volumen de agua concesionada.

En la figura 4.20 se muestra el comportamiento del rendimiento en la producción agrícola en la cuenca; Tulancingo es el municipio que presenta el mayor rendimiento, de 20 a 25 toneladas por hectárea, en cambio, los que tienen un bajo rendimiento (hasta 5 toneladas) son Huayacocotla y

Omitlán. Lo anterior puede indicar el nivel de infraestructura utilizada para la actividad agrícola, donde los municipios con mayor rendimiento incluso pueden ser monocultivos y donde la actividad es principalmente económica, caso contrario de los municipios con bajos rendimientos que son de autoconsumo principalmente.

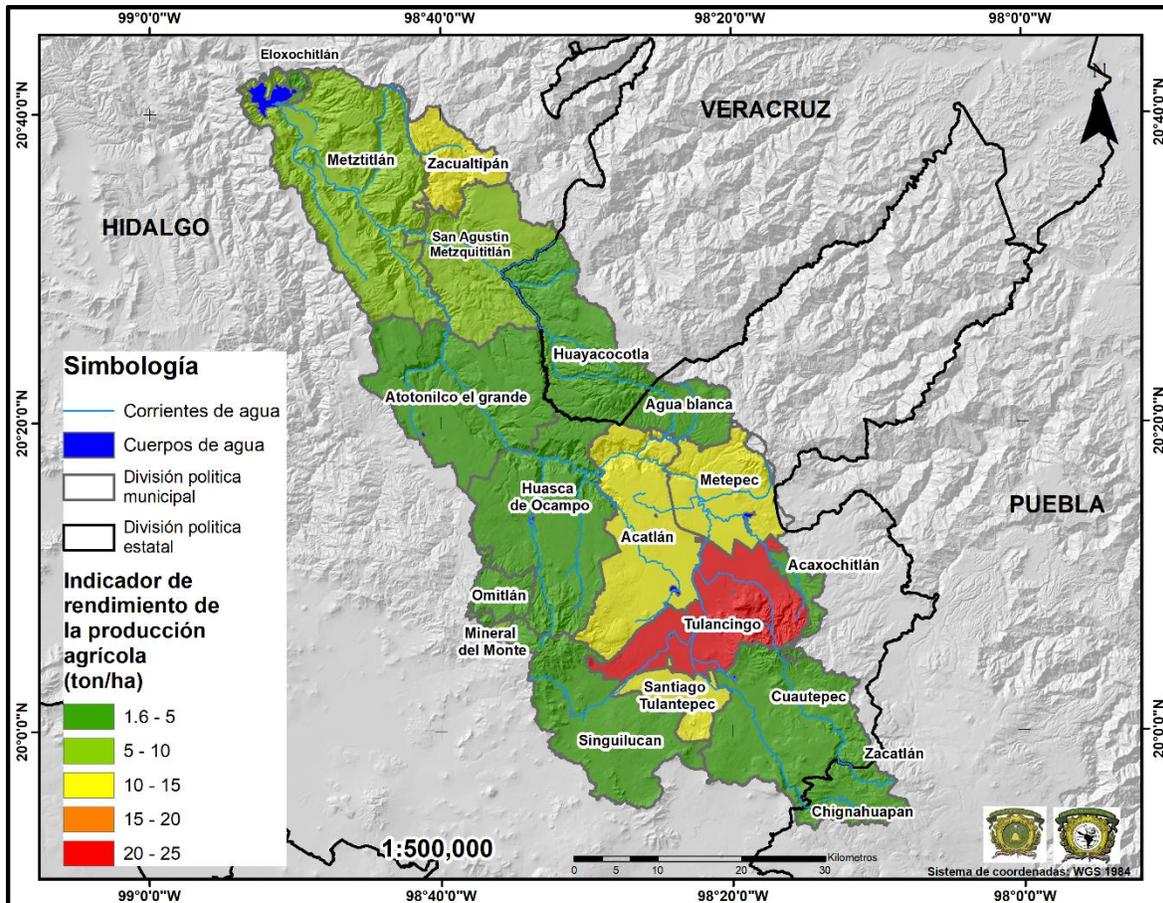


Figura 4.20. Indicador de rendimiento de la producción agrícola.

#### 4.3.5. Indicador de población atendida por espacio de cultura ambiental

La variable cultura ambiental es de las más influyentes en la cuenca, por esta razón el indicador que se buscó para medirla debió ser concluyente, sin embargo, por la información que se recopiló, se evaluó por medio de la capacidad que tiene los Espacios de Cultura Ambiental (ECA) dentro de los municipios.

Para el indicador de población atendida por espacio de cultura ambiental, en la figura 4.21 se muestra de color rojo (Tulancingo) el municipio que por cada ECAs atiende más habitantes, hasta 50,528 personas, caso contrastante, de los municipios con color verde limón que atienden hasta 10,110 personas lo que prácticamente cinco veces más que ese valor (50,528). Dato interesante para la gestión de pláticas, talleres y acciones que llevan a cabo los programas de cultura del ambiente.

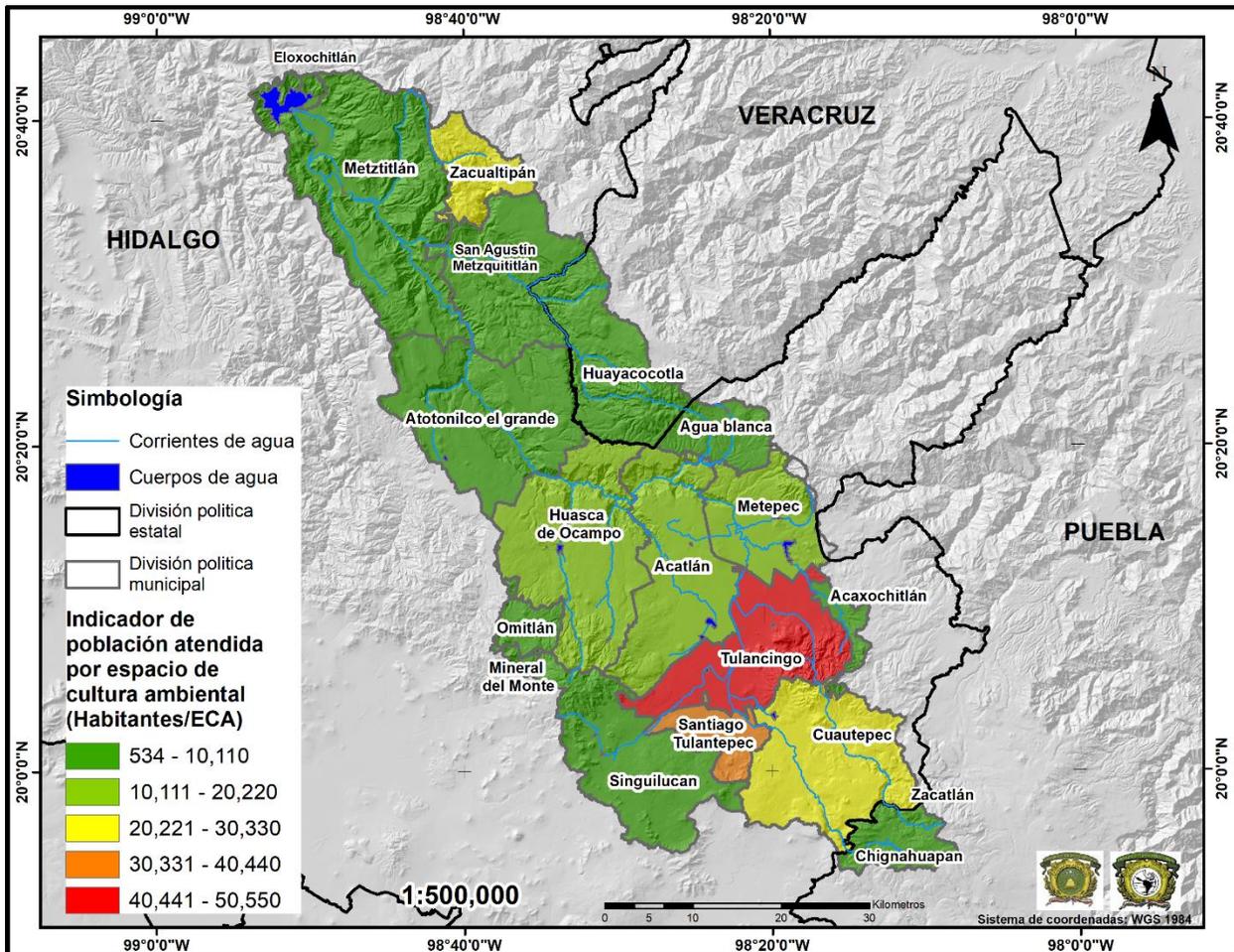


Figura 4.21. Indicador de población atendida por espacio de cultura ambiental

#### 4.3.6. Indicador de superficie protegida por municipio

Una manera de realizar una conservación de los recursos naturales es protegiéndolos mediante decretos o programas, en el caso de la cuenca se protegen mediante las ANP regidas a nivel regional.

En la cuenca, los municipios que se distribuyen en su parte baja, son los que tienen mayor porcentaje de superficie bajo protección (en orden, Metztitlán, Eloxochitlán, San Agustín Metzquititlán y Atotonilco el Grande), esto se aprecia con el indicador de superficie protegida por municipio (figura 4.22). Los municipios con mejor condición de este indicador se encuentran dentro de la RBBM. Derivado de esto, se estaría pensando en implementar iniciativas de conservación en la parte alta de la misma.

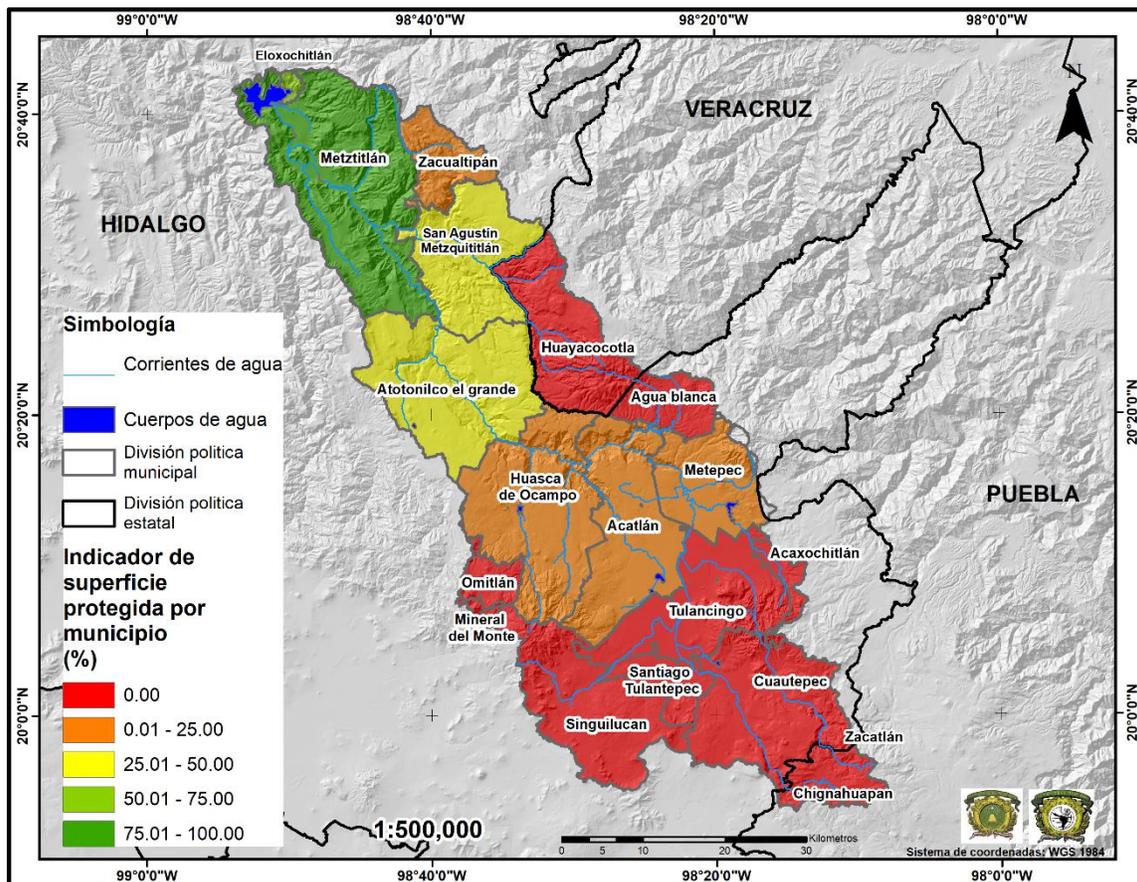


Figura 4.22. Indicador de superficie protegida por municipio

#### 4.3.7. Indicador de Porcentaje de Viviendas Particulares Habitadas con acceso al servicio de agua

Una forma de medir qué tan eficiente es la gestión del agua en un territorio es conociendo que capacidad tiene el municipio para proveer a sus habitantes del servicio de agua. Por ello, el indicador de Porcentaje de VPH con acceso al servicio de agua fue el adecuado para este fin, y que éste permite saber qué municipios están más rezagados al brindar dicho servicio.

En la cuenca, y de acuerdo con los datos del censo de población y vivienda del año 2010, del total de VPH en los municipios, presentan valores superiores de 60%. Siendo la porción del municipio de Omitlán el que tiene los valores más bajos (42 %). De ahí que las acciones se tendrían que enfocar a aquellas viviendas que aún no cuentan con el servicio de agua.

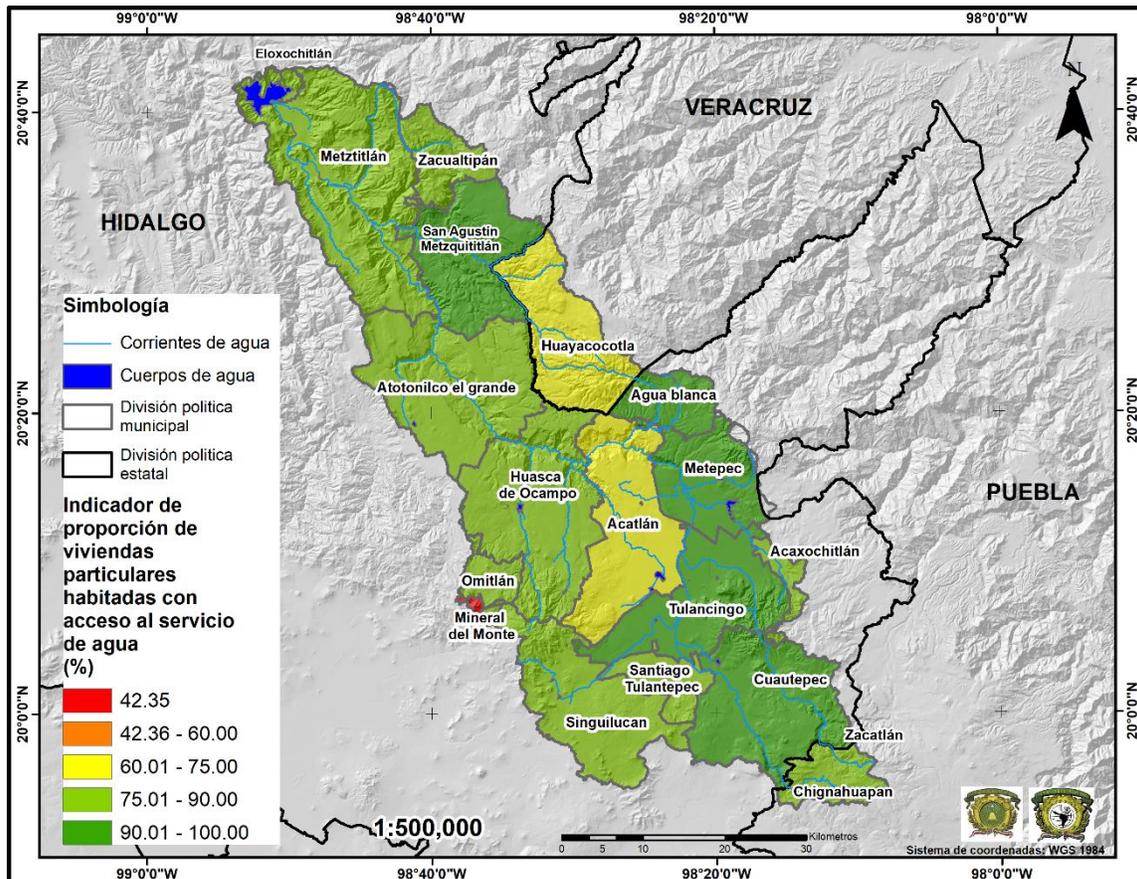


Figura. 4.23. Indicador de proporción de viviendas particulares habitadas con acceso al servicio de agua

#### 4.3.8. Indicador de proporción de localidades que pagan el servicio de agua

Para evaluar la variable *Sistema de cobro por el uso del servicio de agua* se utilizó el indicador de proporción de localidades de un municipio que pagan el servicio de agua. Este indicador se puede comparar con otros indicadores, como muestra, al recaudar recursos de las localidades se traduce en inversión para el mismo, por lo que se estaría indicando que a un buen sistema de cobro podría verse reflejado en brindar el servicio de agua y drenaje.

Localidades en los municipios de Huayacocotla y Omitlán (color rojo de la figura 4.24) son las que no cuentan con un sistema de cobro. Por otra parte, los municipios como Acatlán, Metepec y Atotonilco cuentan con pocas localidades con un sistema de cobro, por lo que aquí se debe poner atención al emitir estrategias de gestión.

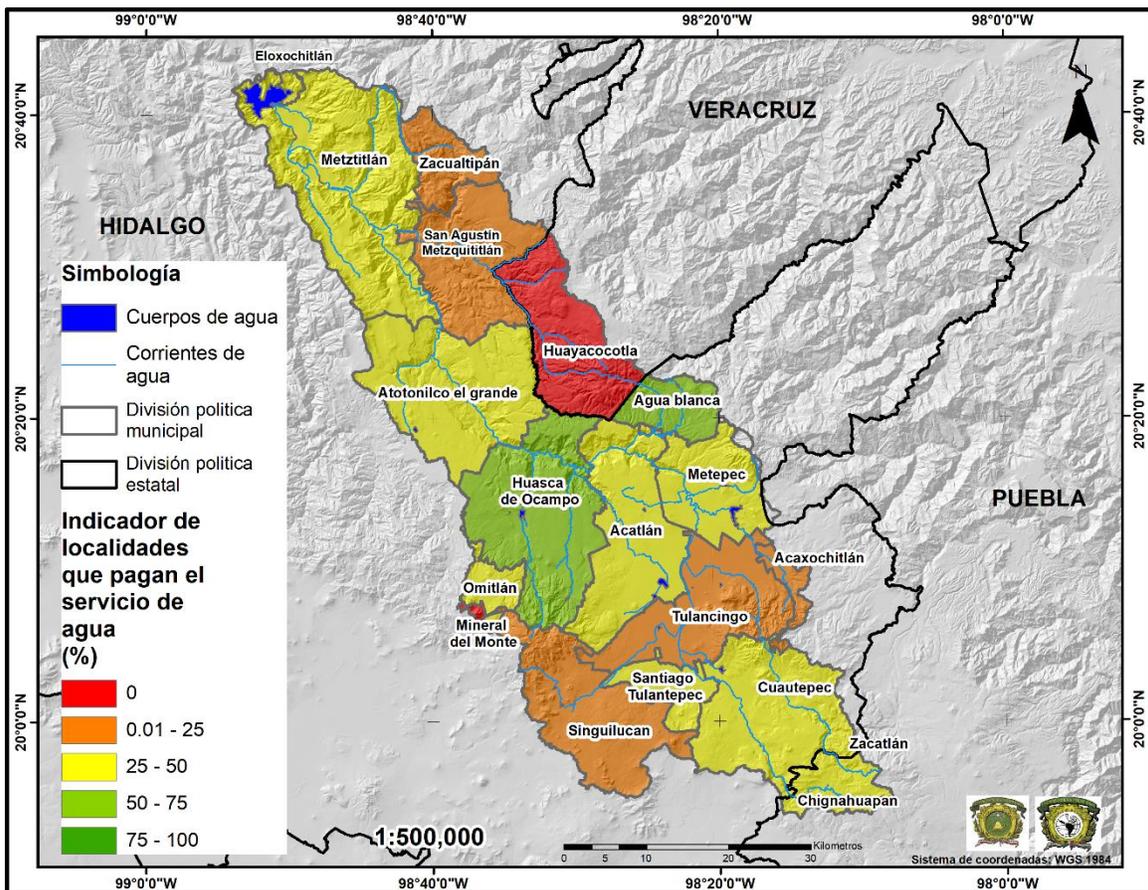


Figura 4.24. Indicador de localidades que pagan el servicio de agua

#### 4.3.9. Indicador de proporción de Viviendas Particulares Habitadas con disponibilidad de drenaje

De la variable *Disposición adecuada de aguas residuales* se creó el indicador Proporción de VPH con disponibilidad de drenaje, cuyo fin es expresar el porcentaje de viviendas que tienen drenaje. Al contar con drenaje de alguna manera existe una disposición adecuada, aunque si se desea conocer el destino final de éste, desafortunadamente para ello no existe información.

En la figura 4.25 se muestra el comportamiento del indicador en la cuenca, el municipio de color rojo (Huayacocotla) es el que presenta el valor más bajo de VPH con drenaje y por el contrario los de color verde oscuro son los que en su mayoría lo tienen.

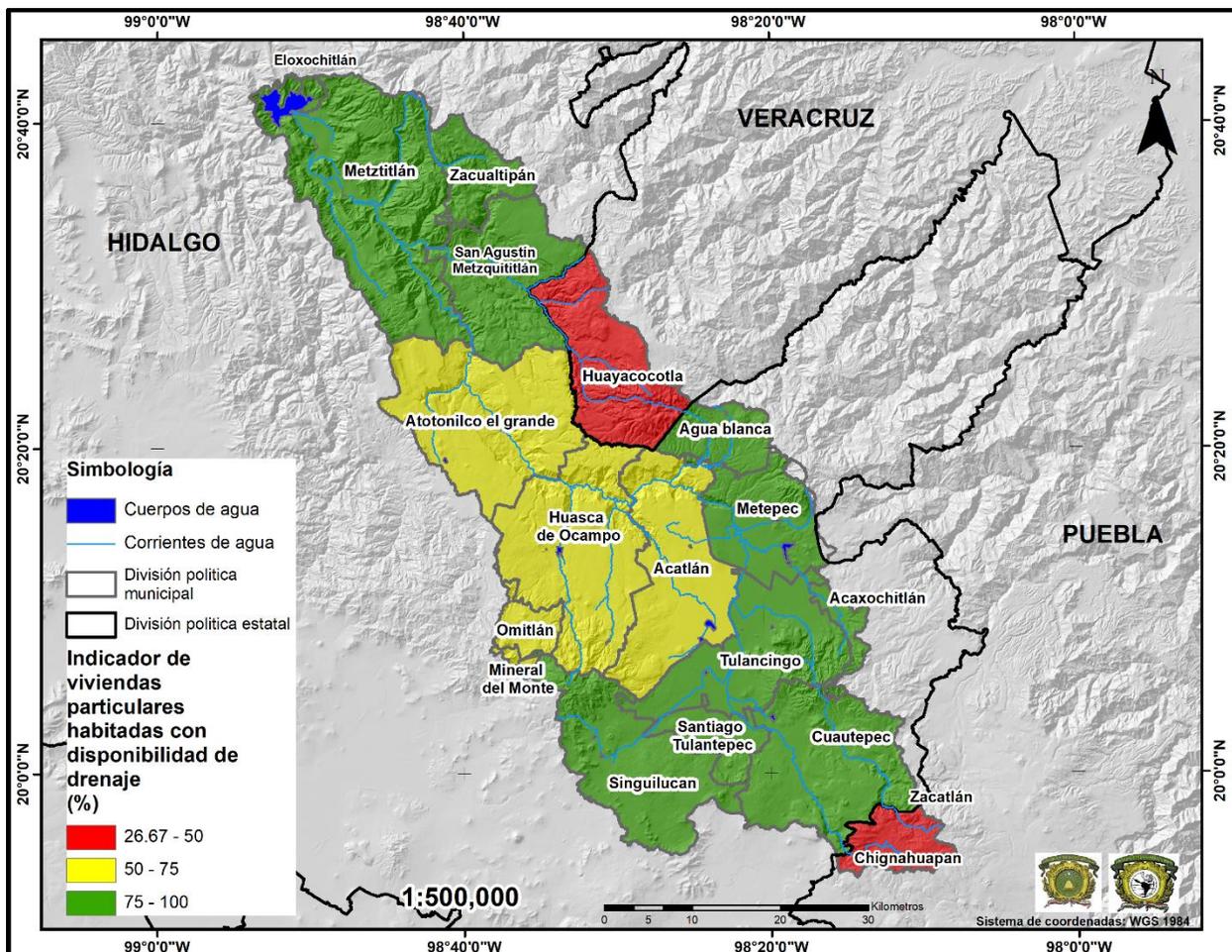


Figura 4.25. Indicador de viviendas particulares habitadas con disponibilidad de drenaje

#### 4.3.10. Indicador de número de plantas de tratamiento de aguas residuales

La manera de poder evaluar la *Participación en el tratamiento de aguas residuales* fue por medio del número de plantas de tratamiento instaladas en los municipios dentro de la cuenca.

En la figura 4.26 se muestran la relación del indicador del número de plantas de tratamiento que están operando por municipio. Aquí se muestran con color verde aquellos municipios que tienen tres y cuatro plantas (Tulancingo y Cuauhtepec), sin embargo, se destacan con rojo los municipios que no cuentan con planta de tratamiento (Huayacocotla, San Agustín Metzquititlán, solo por mencionar algunos), lo cual es un tema para considerar en las estrategias de gestión del agua en la cuenca.

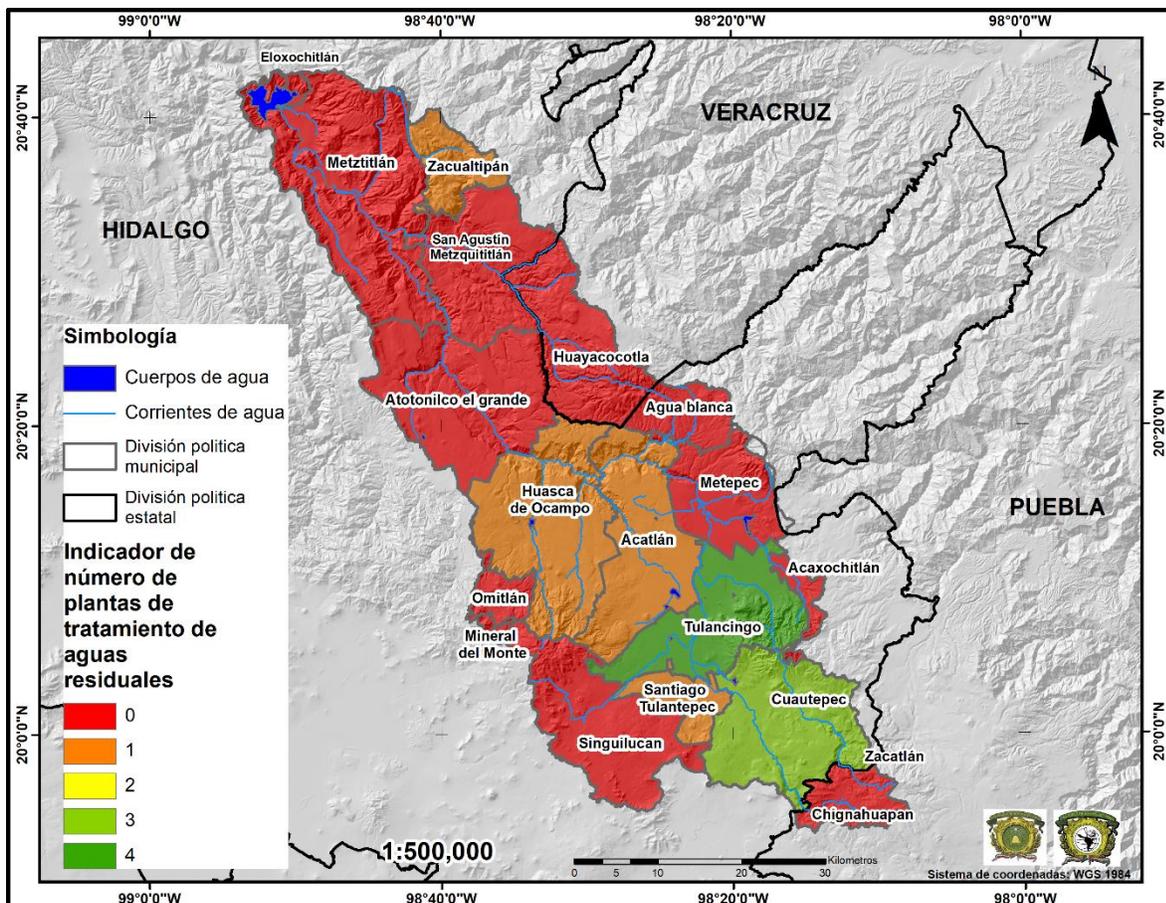


Figura 4.26. Indicador de número de plantas de tratamiento de aguas residuales

#### **4.3.11. Indicador de rendimiento real del caudal tratado respecto a la capacidad instalada**

Derivado de la variable *Inversión en las plantas de tratamiento de agua* se pensó que un indicador adecuado para poder evaluarla fue medir el rendimiento real que tienen las plantas de tratamiento, ya que lo importante no es que estén instaladas si no que realmente funcionen y se trate la capacidad para la que fue creada.

En la figura 4.27 se muestra el indicador rendimiento real del caudal tratado respecto a la capacidad instalada, se observa que la mayoría de los municipios no tienen plantas de tratamiento (municipios en color rojo), solo tiene buen rendimiento el municipio de Zacualtipán, sin embargo, no alcanza los valores más altos (100%).

En la cuenca, se puede apreciar que no existe un buen rendimiento en el tratamiento de agua en primer lugar, por que como se observó en el indicador anterior, no existen plantas de tratamiento, y, en segundo lugar, porque las que hay no operan al 100% de su capacidad, por lo que se tendrían que realizar acciones para tratar este problema.

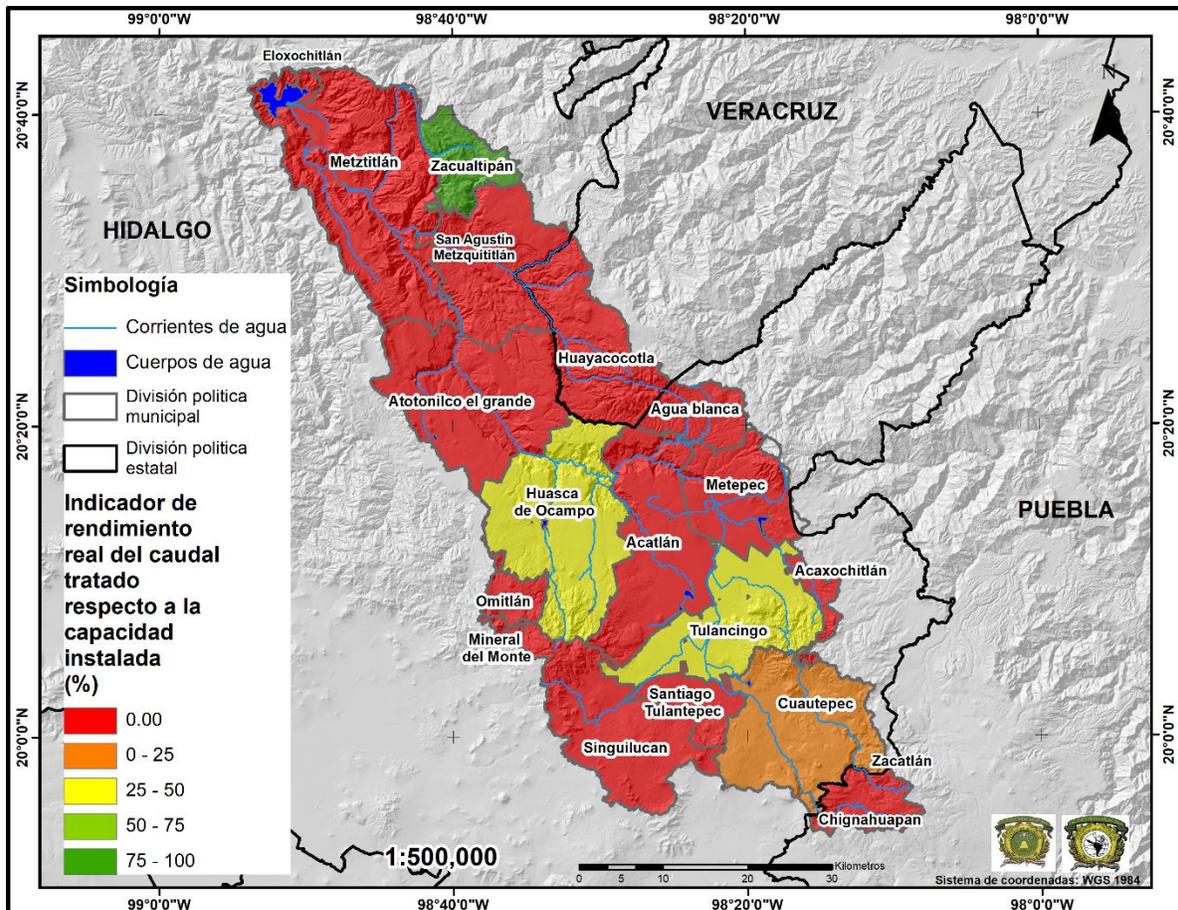


Figura 4.27. Indicador de rendimiento real del caudal tratado respecto a la capacidad instalada

Hasta aquí se han presentado los indicadores del sistema de gestión del agua, los cuales tienen un comportamiento diferenciado a lo largo y ancho de la cuenca, al mismo tiempo que brindan información complementaria entre sí para lograr una perspectiva integrada necesaria para una gestión sostenible del agua. De esta forma, toda la información generada a este momento de la investigación permite determinar las zonas prioritarias, temas y actores de interés para la gestión del agua en la cuenca. Asunto que se trata en el siguiente apartado.

#### 4.4. Zonas prioritarias, temas y actores de interés para la gestión del agua en la cuenca

Por medio de un esquema visual de redes es posible observar el comportamiento de las variables clave, es decir, como influyen o dependen de otras.

En la figura 4.28 es posible observar la red de la estructura del sistema de gestión del agua en la cuenca del río Metztitlán. Las variables con nodos color verde con las más dependientes, en tanto los de color azul con las más influyentes, mientras que las de enlace son de ambas. En este sentido, al definir una estrategia de acuerdo con una variable, se debe contemplar la función que tiene dentro del sistema.

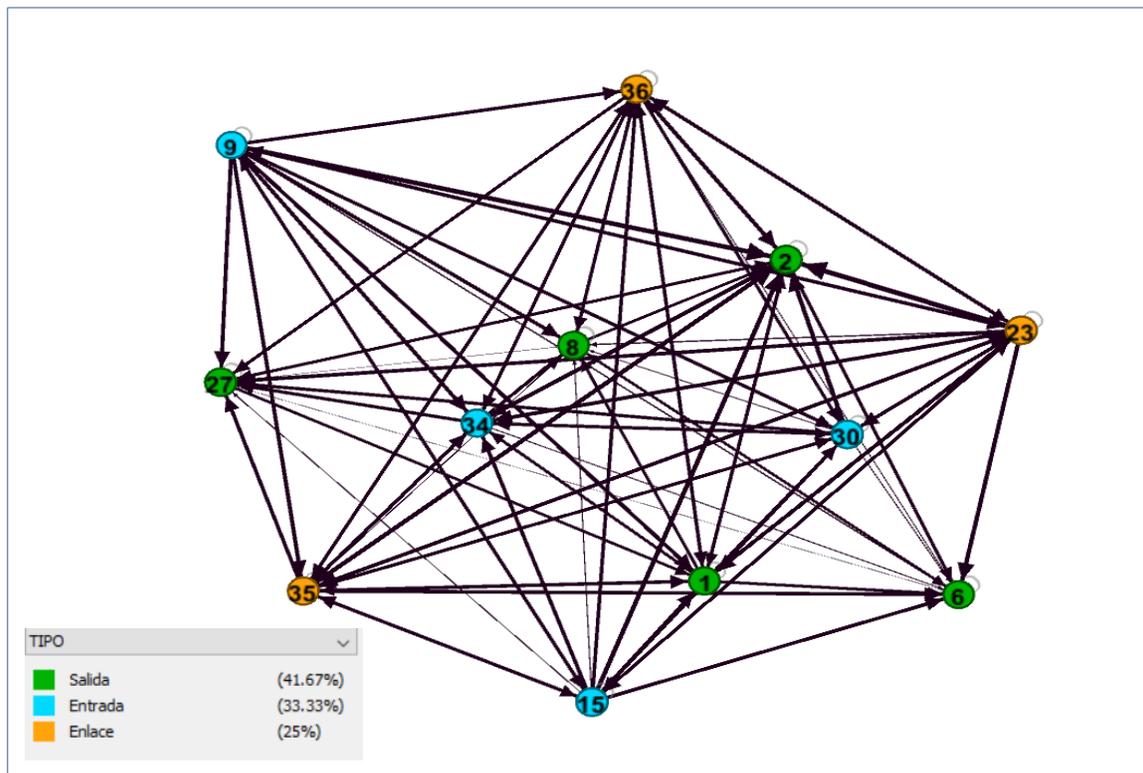


Figura 4.28. Red de la estructura del sistema de gestión del agua en la cuenca.

La estructura sirve para analizar la relación entre variables, por ejemplo, de las variables de enlace, la variable nueve (*cultura ambiental*) es muy influyente, lo que refiere que las acciones de esta índole van a repercutir sobre otras, lo cual se puede constatar en la figura 4.29a. En tanto, la variable de salida *abandono de la agricultura* (6) es muy dependiente, y tiene cierta influencia sobre una variable, al abandonar la agricultura se estaría influyendo en la *Producción agrícola* (figura 4.29b).

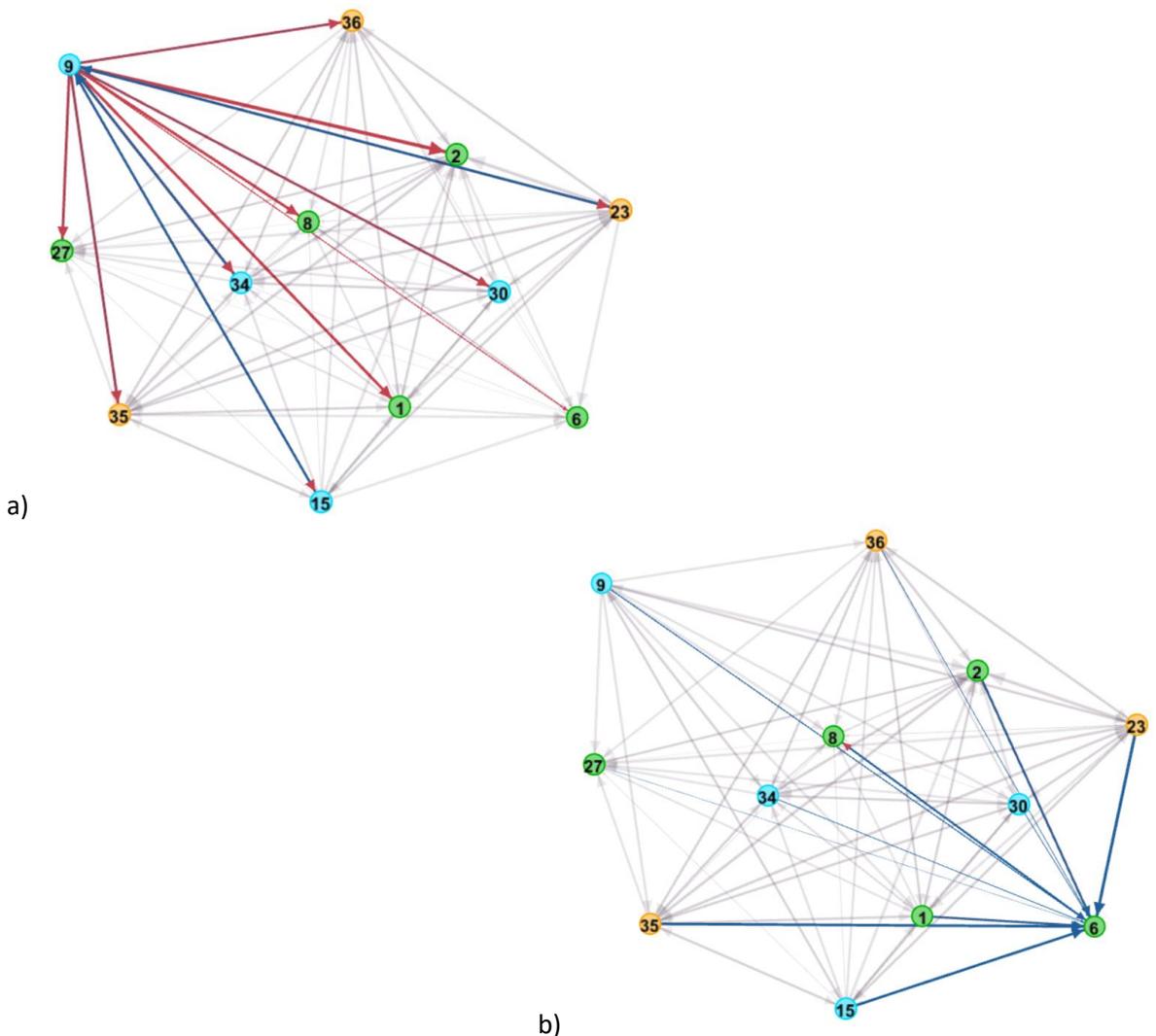


Figura 4.29. Red de la estructura de gestión del agua de las variables *cultura ambiental* y *abandono de la agricultura*.

\*a) la variable *cultura ambiental* y b) la variable *abandono de la agricultura*, en donde la flecha azul indica una relación de dependencia y la roja de influencia.

Los resultados de la EMC tenían el propósito de revelar las zonas prioritarias, es decir, de acuerdo con los indicadores mostrar qué municipios requieren atender que temas primero o darle el seguimiento necesario. Por lo anterior, los valores de cada indicador, una vez estandarizados, que se ingresaron al EMC se presentan en la tabla 4.13. donde el uno son valores altos de prioridad y cero el de menor prioridad.

Tabla. 4.13. Relación de valores estandarizados de prioridad de los indicadores de gestión del agua en la cuenca del río Metztlán

Municipio	VolconAM	confli_P	Aban_agr	Rend	Ecul_pob	sup_proteg	PO_VPH_A	P_cobro	PO_VPH_D	N_p_Trat	c_real
Acatlán	1.00	0.20	0.00	0.59	0.39	0.82	0.43	0.24	0.43	0.75	1.00
Acaxochitlán	0.10	0.00	0.00	0.86	0.40	1.00	0.34	0.69	0.26	1.00	1.00
Agua Blanca	0.02	0.00	0.00	0.55	0.13	1.00	0.05	0.00	0.25	1.00	1.00
Atotonilco el Grande	0.38	0.20	0.00	0.91	0.10	0.61	0.13	0.35	0.41	1.00	1.00
Chignahuapan	0.00	0.20	0.87	0.92	0.06	1.00	0.22	0.39	0.99	1.00	1.00
Cuautepec de Hinojosa	0.00	0.20	1.00	0.84	0.49	1.00	0.10	0.32	0.18	0.25	0.75
Eloxochitlán	0.10	0.00	0.88	0.80	0.01	0.17	0.28	0.39	0.02	1.00	1.00
Epazoyucan	0.00	0.00	1.00	0.77	0.00	1.00	0.23	0.39	0.31	1.00	1.00
Huasca de Ocampo	0.64	1.00	1.00	0.91	0.33	0.72	0.13	0.07	0.34	0.75	0.5
Huayacocotla	0.0	0.40	1.00	1.00	0.11	1.00	0.44	1.00	0.80	1.00	1.00
Metepec	0.37	0.00	0.36	0.55	0.21	0.98	0.05	0.32	0.25	1.00	1.00
Metztlán	0.04	0.20	0.27	0.80	0.16	0.00	0.13	0.38	0.14	1.00	1.00
Mineral del Monte	0.00	0.20	0.96	0.92	0.00	1.00	0.99	1.00	0.38	1.00	1.00
Omitlán	0.00	0.00	0.88	0.94	0.03	1.00	0.15	0.48	0.51	0.75	1.00
San Agustín Metzquititlán	0.55	0.00	0.81	0.82	0.14	0.44	0.00	0.66	0.21	1.00	1.00
Santiago Tulantepec	0.55	0.00	0.85	0.42	0.65	1.00	0.15	0.32	0.04	0.75	1.00
Singuilucan	0.00	1.00	0.08	0.87	0.14	1.00	0.23	0.68	0.28	1.00	1.00
Tulancingo	0.49	0.60	0.00	0.00	1.00	1.00	0.09	0.56	0.02	0.00	0.73
Zacualtipán de Angeles	0.00	0.00	1.00	0.59	0.52	0.74	0.30	0.61	0.01	0.75	0.00

Al analizar por variable de prioridad, se observa que los indicadores que presentan los valores más altos en la mayoría de los municipios son los referentes al tratamiento del agua residual, al sistema de cobro, de protección y los referidos a la agricultura, como el rendimiento y abandono de la producción agrícola.

Los resultados propiamente del MCE, donde se muestran los municipios con categorías (baja, media y alta) en la priorización de acciones en el sistema de gestión del agua, se presentan en la figura 4.30:

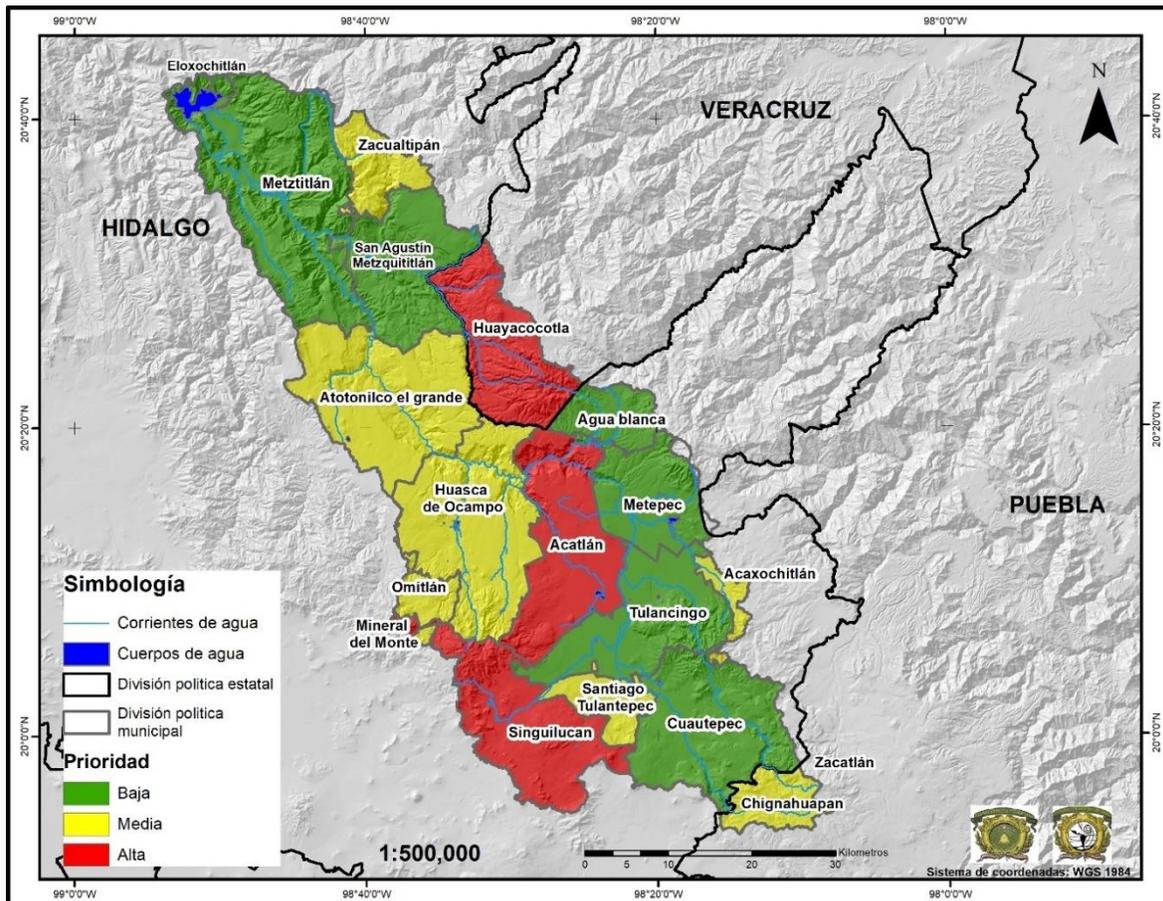
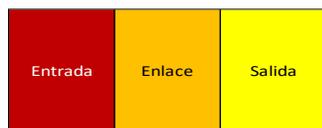


Figura 4.30. Prioridad por municipio en la gestión del agua en la cuenca del río Metztlán

En el mapa de prioridad se pueden identificar a los municipios que necesitan mayor prioridad de atención (Huayacocotla, Acatlán, Singuilucan y Mineral del Monte) los cuales se encuentran en la parte alta y media de la cuenca, los municipios menos prioritarios son algunos de la parte baja y alta de la cuenca (color verde); por otro lado, la caracterización de las variables encontradas en el análisis estructural de sistemas en conjunto con los valores iniciales de cada uno de los indicadores ayudan a analizar la función que tendrá cada una de ellas en el contexto, para gestionar el agua de una manera sostenible. (tabla 4.14).

Tabla 4.14. Relación de los valores de los indicadores y la caracterización de variable clave.

Variables (de mayor a menor influencia)		(23) Gestión del servicio de agua (más influyente)	(9) Cultura ambiental	(35) Medidas en la regulación del agua	(15) Protección de áreas naturales (menos dependiente)	(34) Participación en el tratamiento de aguas residuales	(30) Disposición adecuada de aguas residuales	(36) Inversión en las plantas de tratamiento de agua	(27) Sistema de cobro por el uso del servicio de agua	(2) Conflictos entre usuarios de agua (más dependiente)	(1) Acceso al servicio de agua para el sector agropecuario	(8) Producción agrícola	(6) Abandono de la agricultura (menos influyente)
Indicadores		Porcentaje de viviendas con acceso al servicio de agua	Población atendida por espacios de cultura ambiental	Sin indicador	Superficie protegida por municipio	Número de plantas de tratamiento de aguas residuales	Proporción de VPH con disponibilidad de drenaje	Rendimiento real del caudal tratado respecto a la capacidad instalada	Proporción de localidades que pagan el servicio de agua	Conflictos registrados entre usuarios del agua	Volumen de agua concesionada para el sector agrícola	Rendimiento de la producción agrícola	Superficie con abandono de la actividad agrícola
Municipios (parte baja hacia la alta de la cuenca)	Eloxochitlán	81.18	1104		72.45	0	93.03	0	33.33	0	0	2.5	0
	Metztitlán	89.35	8696		87.35	0	84.72	0	33.75	4.55	934848	5.8	972.44
	Zacualtipán de Ángeles	79.98	26630		17.91	1	94.2	100	21.05	0	763400	10.1	0
	San Agustín Metzquititlán	96.85	7638		48.42	0	40.18	0	18.18	0	1137087.66	5.2	245.34
	Atotonilco el Grande	86.07	5562		33.92	0	66.2	0	35.71	4.55	7395606.54	3.5	0
	Huayacocotla	72.28	6089		0	0	39.24	0	0	9.09	0	1.6	0
	Huasca de Ocampo	89.44	17182		23.79	1	71.17	50	50.79	22.73	12558341.45	3.4	0
	Omitlán de Juárez	88.69	2435		0	0	59.72	0	28.57	0	0	2.7	148.86
	Acatlán	73.17	20077		15.32	1	64.84	0	41.51	9.09	19415189.93	10.5	0
	Agua Blanca	93.87	7480		0	0	77.61	0	55	0	507566.28	1.8	0
	Metepec	94.06	11099		1.43	0	77.21	0	37.14	0	7210355.4	10.9	490.5
	Mineral del Monte	42.35	796		0	0	68.37	0	0	4.55	0	3.1	48.44
	Epazoyucan	84.13	534		0	0	73.02	0	33.33	0	0	6.4	0
	Singuilucan	84.01	7829		0	0	75.23	0	17.54	22.73	127353	4.2	1221.2
	Tulancingo	92.02	50528		0	4	93.43	26.09	23.94	13.64	9616799.88	22.6	1337.34
	Acaxochitlán	77.95	2561		0	0	76.74	0	16.67	0	1966192.64	4.5	34.13
	Santiago Tulantepec	88.5	33495		0	1	91.6	0	37.04	0	10779387	13.7	196.93
Cuauatepec de Hinojosa	91.4	24509		0	3	82.55	25	37.1	4.55	0	4.8	0	
Chignahuapan	84.37	3825		0	0	26.67	0	33.33	4.55	0	3.1	172.55	
<b>PROMEDIO</b>		<b>83.7</b>	<b>12529.9</b>		<b>15.8</b>	<b>0.6</b>	<b>71.4</b>	<b>10.6</b>	<b>29.2</b>	<b>5.3</b>	<b>3811164.6</b>	<b>6.3</b>	<b>256.2</b>



Con todo lo anterior y haciendo un recuento, con la caracterización de la cuenca, la información recabada en campo y todo el proceso que implicó la investigación, fue posible identificar a usuarios y actores de interés para la gestión del agua en la cuenca, por esto, en la figura 4.31 se muestra una

relación de los actores que se consideran necesarios para una gestión sostenible del agua. Como primer conjunto de elementos se considera que los usuarios del agua son los que forman los actores de interés, por lo tanto, es la base del sistema de gestión del agua.

En la cuenca, los usos del agua son: uso doméstico, agropecuario, industrial, ambiental y de turismo. En tanto, los actores dentro del uso ambiental se encuentran la flora y fauna ambiental, de ahí que la RBBM es el intermediario para que se mantenga el equilibrio ecológico y se apoya de la Conanp para dicha labor, al igual que la CONAFOR y SEMARNAT, así también dentro de la zona conservada se desarrolla el turismo por lo que se coloca dentro del mismo eje, aquí se destaca la labor de la Secretaría de Turismo (SECTUR) como la dependencia que se encarga de apoyar las cuestiones turísticas.

En el uso agrícola se encuentra como actores los distritos de riego, por lo tanto, se encierran a los jefes de los distritos en la cuenca, y a los comités locales y regionales que son los responsables de asegurar el agua para el sector agropecuario. Por esto, se incluyen a la Secretaría de Desarrollo Agropecuario (SADER) y la estatal en Hidalgo (SEDAGROH) como las dependencias encargadas de fomentar el desarrollo de actividades agropecuarias, por su parte la Conagua es la intermediaria entre el marco legal y lo aplicativo.

Dentro del uso doméstico, se destacan como actores los comités locales, así como las autoridades de agua y saneamiento a nivel municipal, quienes se deben de apoyar de la Sedesol y la Comisión de Agua y Alcantarillado de Sistemas Intermunicipales (CAASIM) como organismos que se dedican a velar por el acceso a los servicios básicos de la población, entre ellas el agua y drenaje, además en conjunto con la Secretaría de Salud quien tiene como labor de monitorear que el agua que llega a las viviendas se encuentre dentro de los límites permisibles.

Y en el uso industrial, se consideran a todas las empresas de la transformación y el comercio que se desarrollan dentro de la cuenca, la industria textil, de calzado, y la hotelería, principalmente. Los actores que están inmersos en este eje es la Conagua, la Secretaria de Economía y la Confederación de la Cámara Nacional de Comercio, servicios y turismo (CONCANACO), como mentores que están inmersos en el desarrollo de proyectos y la nueva industria.

Finalmente, y de acuerdo con la figura 4.31 se observa que hay un círculo que relaciona a las universidades, los gobiernos estatales, las ONG y la población en general son actores que tienen un papel en la gestión del agua, por ello también se deben de tomar en cuenta.

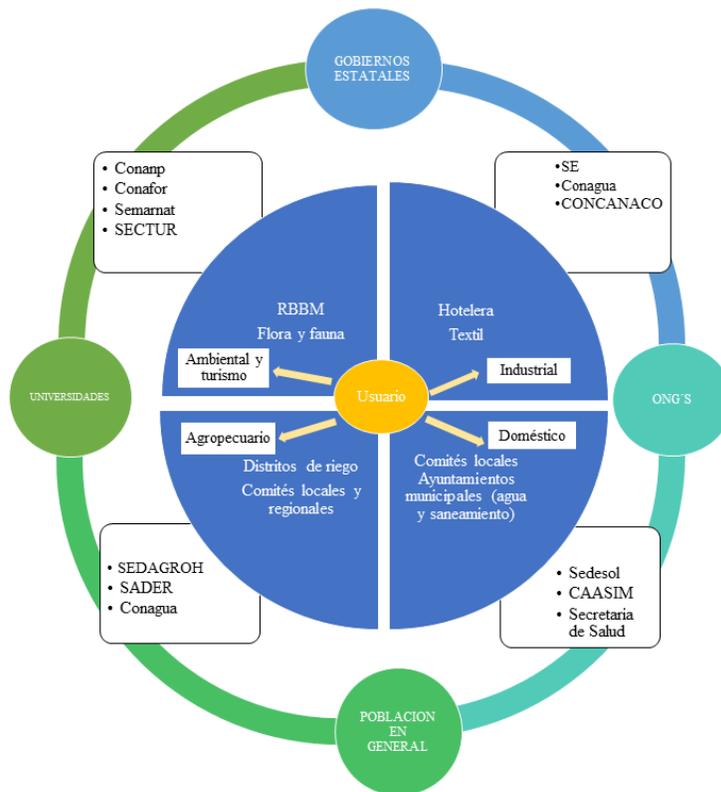


Figura 4.31. Usuarios y actores de interés para la gestión del agua en la cuenca del río Metztitlán.

#### 4.5. Estrategias generales para la gestión del agua en la cuenca.

A este punto de la investigación ya se tiene la posibilidad de proponer estrategias para gestionar el agua. Las Estrategias tienen una función sistémica, cuyo objetivo es lograr una gestión sostenible del agua. En la figura 4.32 se muestra una ejemplificación de la relación existente entre las estrategias y la categorización encontrada para las variables del método estructural de sistemas.

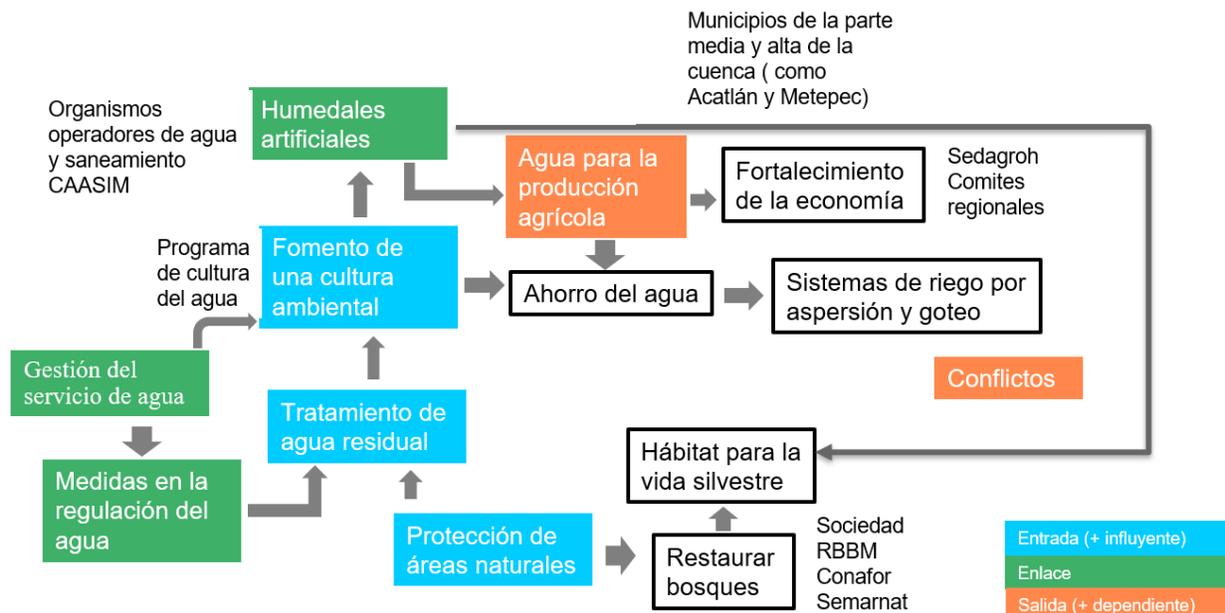


Figura 4.32. Ejemplificación de la relación entre variables clave y estrategias para la gestión sostenible del agua.

Para la generación de estrategias se debe de tomar en cuenta la función que tienen las variables dentro del análisis estructural de sistemas, es decir, si es influyente o dependiente, en quienes son los actores involucrados, donde se establecerán, así como el tiempo si es una obra a corto, mediano o largo plazo y dentro de que área estratégica de planeación estratégica. Si se analiza el ejemplo de la figura 4.32 se observa que al atender el tema tratamiento de agua residual proveniente de una variable influyente, así como la protección de áreas naturales, las cuales ejercen un impacto significativo en el sistema, influyendo en otras variables como la producción agrícola.

A continuación, se ofrece una explicación de las estrategias en los temas prioritarios, así como actores de interés identificados previamente:

➤ Tratamiento de agua residual:

De los temas principales es el tratamiento de aguas residuales, en primera, porque en su mayoría los municipios no cuentan con plantas tratadoras y en segundo, las que tienen no tratan la capacidad para las que fueron instaladas. De manera específica, se debe implementar un sistema de tratamiento de agua residual, con mayor prioridad en los municipios de la parte alta de la cuenca, como es Tulancingo, Santiago Tulantepec, Acatlán y Singuilucan, ya que en estos se concentra la mayor población y por ende se genera mayor volumen de agua residual, el cual es desechado hacia la parte baja de la cuenca. Ante esto, se deben plantear nuevas medidas más rentables y ecológicas posibles para no caer en las medidas tradicionales, que a la larga resultan costosas e ineficientes. Siendo responsabilidad de los organismos operadores de agua y saneamiento municipales el promover el tratamiento del agua, lo cual sería por medio de la CAASIM.

Una medida ecológica es la instalación de humedales artificiales, son sitios específicamente contruidos para el control de contaminantes y sedimentos, favorecen los procesos biológicos, físicos y químicos para depurar progresivamente el agua, por lo que actúan como filtros naturales, ofrecen un hábitat para la vida silvestre, además de no necesitar mantenimiento ni consumir energía eléctrica, y cuestan menos de una cuarta parte de un sistema de tratamiento tradicional; la limitante sería que el proceso que lleva el tratamiento del agua puede ser más largo y que se necesita buscar los sitios adecuados.

➤ Cultura ambiental:

Como principal estrategia es el fomento de la cultura ambiental en toda la cuenca. Si bien los municipios que integran su parte media y baja son los que cuentan con superficie protegida, las acciones entorno al cuidado ambiente se deben llevar a cabo en toda la cuenca, de nada sirve proteger solo de normativa lo que realmente vale es la cultura de conservación entre todos los sectores. En la zona media y baja de la cuenca, el encargado de fomentar la cultura ambiental es la RBBM, sin embargo, a nivel municipal, los ayuntamientos tienen un área de ecología que es la encargada de realizar tales acciones.

Una actividad a realizar son las reforestaciones sociales, actividad que ya existe un programa, donde por medio de la CONAFOR se otorga la plántula y además, busca el espacio para trasplantarla, en la mayoría de los casos son predios que ya fueron reforestados pero tienen zonas sin sobrevivencia o bien que los dueños quieren reforestar pero sin ingresar a otro programa de gobierno que los obliga a atacar tiempos, etc., simplemente lo hacen porque algunos eran predios agrícolas y ya no quieren cultivar o por que desean contribuir para el mejoramiento de los bosques; reforestar de preferencia en los municipios de Agua Blanca, Zacualtipán, Cuauhtepic, municipios que son preferentemente forestales y que se encuentran en las zonas altas de la cuenca, de esta manera, se evita la erosión del suelo, se apoya la iniciativa personal, y la producción forestal.

De esta actividad, se genera una acción conjunta, además de que se atacan otros temas ambientales y se motiva a la sociedad a cuidar el medio ambiente, y a las dependencias de gobierno a seguir creando nuevos proyectos y programas que fomenten la preservación de un ambiente limpio y sano.

➤ Plan del sistema de cobro por el servicio de agua

Establecer un sistema de cobro del agua potable en los municipios que carecen de alguno, en este punto es preciso mencionar que todos los municipios no cuentan con un buen sistema de cobro, todos cobran por tasas fijas, lo justo es pagar por lo que se usa, por esto se debe contemplar el hacer uso de medidores o de algún método que sea más justo y accesible para los ayuntamientos, en este sentido, es responsabilidad de la dirección de obras y/o de agua y saneamiento o sus variables municipales atender dicha problemática.

Ante lo costoso que es la implementación de medidores de agua, se propone un esquema de tarifas para todos los municipios, donde se detallen todos los rubros (doméstico fijo, doméstico tandeo, terreno baldío, casa deshabitada, comercial fijo, etc.), similar al que hace en Tulancingo (en anexo 2, fotografía a), pero además, contemplar el número de habitantes por vivienda, es decir, una vivienda que tiene una categoría doméstica con diez habitantes no debería de pagar lo mismo que una de dos. Por lo que, para esto, se tendría que estar tomando la información del censo de vivienda, pero también contemplar lo que estipula la comisión del agua del estado o CAASIM ya que es un organismo que establece reglamentos y el cobro del agua en conjunto con el encargado del agua potable de cada municipio.

➤ Conflictos por el agua:

Con referente a los conflictos por el agua, se debe tener en observación y en especial al municipio de Huasca y Singuilucan para que no crezca el número de conflictos en los próximos años. Analizar el origen de los conflictos y buscar alternativas para su disipación, donde los actores, que en este caso pueden ser comités del agua, las autoridades del

programa de cultura del agua y la población en general se unan para atender la problemática.

Con el punto anterior, y dada la necesidad de evitar a toda costa la sequía y falta de agua para consumo doméstico en toda la cuenca, se necesita ahorrar lo más posible el agua entre todos los usuarios del agua, es la medida más certera de que siempre se contara con agua limpia, y se evitarán conflictos entre los habitantes de la cuenca.

En complemento con lo anterior, es preciso mencionar que cada ayuntamiento cuenta con áreas específicas de cultura ambiental, las cuales además de brindar platicas en torno al cuidado del agua también se deberían de velar por este tipo de conflictos, normalmente no se realizan este tipo de actividades sino hasta que ya se vuelven complicados, por lo que se sugiere que los encargados de esta labor realicen recorridos por las zonas de donde se extrae agua para consumo humano, que permita estar siempre atento a las necesidades de la población, de esta manera se pueden evitar conflictos más grandes por el agua.

➤ Producción agrícola

Referente al consumo de agua, es necesario evitar el otorgamiento de más concesiones o al menos de grandes volúmenes de agua en los municipios de Acatlán, Huasca y Santiago Tulantepec ya que son los más consumidores de agua para el sector agrícola, como se indicó en la caracterización de la cuenca, el sector agrícola es el que consume mayor volumen de agua, además de que en esta zona ya presenta un déficit de agua, y también, porque en determinado momento hará que se torne crítico el tema del agua en otros municipios de los que se extraiga agua para llevar a los que presenten problemas, por lo que la estrategia a implementar es la búsqueda de sistemas eficientes para el riego.

De la mano con lo anterior, se encuentra el rendimiento de la producción agrícola, no están peleados el crecimiento económico con el ambiente, por lo que se deben tornar a actividades más sostenibles, para lo cual, se debe tornar a establecer cultivos que se adapten a la zona, como lo es el maíz, frijol, y algunos forrajes, ya sea para autoconsumo o actividad económica. Si se producen dentro de la cuenca lo que se consume, se apoya a la economía local y se evita el incremento de los costos por la cadena de valor.

En el caso de los municipios que realicen mayor actividad de autoconsumo, tanto en agricultura como ganadería, por ejemplo, San Agustín Metzquitlán y Agua Blanca; se recomienda, que los cultivos les permita mantener su identidad, así como en árboles frutales, que sean semillas o plantas que sean adaptables al ambiente de cada zona, cabe mencionar los programas de apoyo al campo, se dan semilla para maíz y algunos forrajes, se regalaron también árboles frutales como granada y nogales, y algunas especies forestales huizache y mezquite, y maguey, se menciona esto, porque a diferencia de proyectos de años pasados, los actuales ya están preocupados por establecer solo aquellos que es de la zona y que se adapte a cada condición ambiental.

Ya se mencionó la implementación de sistemas eficientes para el riego, por lo que se estaría pensando en sistemas de riego por goteo o aspersión, de manera planificada, es decir, programar la cantidad, horarios y ciclos de riego en función de la variación estacional y condición climática, insolación y del tipo de cultivo, cuyo fin es reducir los excesos y las pérdidas por la evaporación del agua. A la larga son métodos eficientes y accesibles para los productores, que permiten obtener rendimientos satisfactorios.

Para este fin, se deben buscar programas y proyectos otorgados por la SADER y la SEDAGROH, ya que son las instituciones encargadas de brindar apoyos al campo. Para esto hay personal encargado en cada ayuntamiento que difunde la información, además de técnicos capacitados externos que sirven como enlace entre el beneficiario y la dependencia.

➤ Servicio de agua y drenaje:

En Acatlán, Mineral del monte y Huayacocotla es necesario brindar el acceso al servicio de agua a todas las viviendas, en caso de que se vuelva complicado, o que no se cuente con un pozo de agua, buscas otros métodos como captadores de agua de lluvia o algún otro método que sea accesible para la población, el punto es mejorar el indicador de acceso al servicio de agua.

Las autoridades de agua y alcantarillado de cada municipio son las encargadas de proporcionar el servicio de agua y drenaje en la cuenca, pero además en diversas localidades existen comités de agua que son lo que gestionan las actividades que conlleva la red del agua, pagos, etc. que necesitan para tener el agua potable en las viviendas, en resumen no dependen del municipio, por lo que al hablar de establecer tarifas fijas para el pago de agua, dichas localidades no se deben contemplar, ya que los pagos se realizan directamente a la localidad/dueño de manantial o propiedad de donde se está tomando el agua.

#### 4.6. Geoportal como propuesta para la difusión de la información.

Como parte de los resultados, se presenta la propuesta de un Geoportal como un medio para difundir la información y cartografía generada en esta investigación.

El Geoportal consto de ocho apartados o botones y una página de inicio. Su principal función fue ser navegable de una manera fácil para cualquier usuario, da los soportes teóricos y la información que necesitan los actores para realizar una gestion sostenible del agua en la cuenca, para ello se incluyó un apartado de indicadores mostrados en el apartado 4.3, los cuales se pueden descargar en formato kml, de igual manera permite descargar el diccionario de indicadores, es un archivo .xls que contiene la descripción de cada uno de los campos del archivo kml (figura 4.32).

En la figura 4.32. se muestra parte del contenido del Geoportal, se consideró importante colocar el apartado de *indicadores del agua* cuyo fin es poder evaluar la situación de la cuenca en un futuro



Figura 4.33. Geoportal para la difusión de la información de la gestion del agua en la cuenca del río Metztitlán.

## 5. DISCUSIONES

En este capítulo derivado del desarrollo de esta investigación se realiza la discusión de los resultados obtenidos.

La caracterización de la cuenca se logró realizar con los datos de las diferentes instituciones consultadas, y con la información de diferentes trabajos realizados en la cuenca. Sin embargo, no se encontró una investigación similar a la que se propone en este documento.

Se realizaron entrevistas semiestructuradas con el fin de recabar las variables generales del sistema, de ahí que la problemática encontrada fue primeramente al momento de recabar las entrevistas, por el límite de tiempo, pero se subsano con la elección de entrevistados claves.

Con la caracterización y la ejecución de las entrevistas clave se llegó a la relación de variables generales y clave del sistema, se encontró a 12 variables clave y con ellas se buscaron sus respectivos indicadores, solo se tuvieron 11. Cabe resaltar la falta de elementos para evaluar las variables enfocadas al valor ambiental.

Con el apoyo de la BDG y el uso de SIG fue posible hacer el cálculo de los indicadores, el hecho de incluir el aspecto geoespacial hace más complementario y explícito el lugar que se debe atacar para atender las problemáticas presentes.

Se destacaron los temas por municipio con el fin de priorizar las acciones que se deben de realizar en cada uno de ellos, y para esto se definieron algunas estrategias para realizar en la cuenca.

## **6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

Con el desarrollo de la investigación presentada, fue posible llegar a las siguientes conclusiones y recomendaciones:

### **6.1. Conclusiones**

Por medio de la recolección, procesamiento y análisis de la información se logró caracterizar a la cuenca, desde un punto de vista hídrico y con ello también, se identificaron cuáles serían los retos que se tendrían que acatar, que posteriormente se convertirían en variables generales del sistema de gestión del agua.

Las entrevistas semiestructuradas fueron un elemento muy importante para conocer la estructura del sistema, sobre todo como un elemento participativo. Ante la limitación de tiempo y recursos se identificaron a actores clave para responder a la entrevista, lo cual fue de gran ayuda, su rol de representantes dentro de la cuenca fue necesario para reconocer los retos que se enfrentan en la región.

Mediante el análisis estructural de sistemas se identificaron las variables generales y clave del sistema de gestión del agua en la cuenca del río Metztitlán. El valor de las variables clave es la reducción de la complejidad sin perder la función del sistema. Por esto, y ante la necesidad de evaluarlas se identificaron indicadores de las variables clave, de esta manera, se estableció un entorno geoespacial. Por lo que, se complementó la parte cualitativa (entrevistas semiestructuradas) con la cuantitativa de los indicadores.

Los resultados de los indicadores, por un lado, permiten ver la situación de la cuenca, pero por el otro sirven de apoyo para la identificación de estrategias. Además, con el análisis multicriterio

permitió revelar la prioridad de gestionar en etapas a los municipios desde el punto de vista sostenible.

En la cuenca no existen retos hídricos críticos como podría ser la contaminación del agua, escasez, sobreexplotación de acuíferos, acceso a servicios, etc. Eso da mayor relevancia a la promoción de un plan de GIRH con medidas preventivas y no esperar a que los temas sean críticos y se deba recurrir a medidas correctivas.

## **6.2. Recomendaciones**

Adicionalmente, se presentan algunas recomendaciones para los interesados en dar continuidad a este trabajo o para aplicar la metodología aplicada en esta investigación en otra cuenca:

- Como primer punto, se recomienda difundir los resultados generados en esta investigación. Tanto a los actores de interés como a los interesados, ya que con ello se persuadirá a desarrollar más investigación de esta temática, pero también en la zona de estudio, necesaria para promover la gestión sostenible del agua.
- Difundir los resultados generados en esta investigación, en la búsqueda de una visión común de la cuenca entre todos los actores de la cuenca, con la finalidad de promover la realización de un plan GIRH.
- Se recomienda considerar los temas clave ubicados para cada municipio en esta investigación, ya que contiene de alguna manera el componente participativo, que es esencial para la adopción de estrategias, elemento que muchas veces se deja fuera al momento de crear dichas estrategias.

- Tener presente que los cambios en administración dejan huecos en los planes o ejecución de proyectos, que en su mayoría requieren más tiempo para el desarrollo de estos. Por lo que, se necesita reflexionar que los temas ambientales no responden a los cambios ni delimitaciones políticas y administrativas.
- Tomar en cuenta que al calcular los indicadores a nivel municipal se puede perder información valiosa del nivel inferior (localidad), sin embargo, se debe de considerar cual es la escala de trabajo para evitar frustraciones en los resultados.
- Por lo anterior, se recomienda a las instituciones y/o autoridades encargadas de generar y proporcionar la información, contar con los datos a nivel localidad, y por el otro lado que sea de los mismos periodos, ya que, al no contar con estas características, dificulta en primer lugar el cálculo y en segundo, poder comparar los valores del mismo dato y más aún al momento de generar indicadores que ayuden a medir la situación de la cuenca.
- Es importante señalar que la información de índole ambiental específicamente para medir la cultura ambiental y las medidas para la regulación del agua, hasta el momento es escasa o la manera de obtenerla es complicada, por lo que, se pide a las autoridades pertinentes la generación y puesta en disposición de dicha información.
- En complemento, se recomienda que la información deber ser más accesible tanto en los formatos disponibles como en las paginas oficiales por las dependencias a cargo. Evitar lo más posible las brechas entre el generador de la información y el usuario.

## REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Andrade, A. (2004). *Lineamientos para la aplicación del enfoque ecosistémico a la gestión integral del recurso hídrico*. México: Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) Oficina regional para América Latina y el Caribe.
- Aracil, J. y Gordillo, F. (197). *Dinámica de Sistemas*. México: alianza universidad textos.
- Arcade, J., Godet M., Meunier, F. & Roubelat F. (2004). *Análisis estructural con el método MICMAC, y estrategia de los actores con el método MACTOR*. Laboratorio de Investigación en Prospectiva y Estrategia (LIPS). Argentina.
- Barredo, J. & Gómez M. (2006). *Sistemas de información Geográfico y evaluación multicriterio en la ordenación del territorio*. España: Alfaomega
- Bertalanffy, L. (1986). *Teoría general de los sistemas: Fundamentos, desarrollo, aplicaciones*. México: fondo de cultura económica.
- Bertalanffy, L. (1988). *Introducción a la Teoría General de Sistemas*. Editorial Cairós. Barcelona.
- Bocco G. (2007). *La cartografía y los sistemas de información geográfica en el manejo integrado de cuencas*. En Cotler H. (coord.), *El manejo integral de cuencas en México*. 59-64. México: SEMARNAT-INEC.
- Cap-Net. (2005). *Planes de gestión integrada del recurso hídrico: manual de capacitación y guía operacional*. Agencia Canadiense para el Desarrollo Internacional.
- Conanp. (2004). *Ficha Informativa de los Humedales de Ramsar (FIR)*. Consultado el 15 de marzo del 2020. Disponible en: <http://www.conanp.gob.mx/conanp/dominios/ramsar/lsr.php>

Conanp. (2003). *Programa de Manejo de la Reserva de la Biosfera Barranca de Metztitlán*. México.

Conagua. (2016). Normas Oficiales Mexicanas: Vigentes del Sector Hídrico. Consultado el 27 de enero del 2020. Disponible en <https://www.gob.mx/conagua/acciones-y-programas/normas-oficiales-mexicanas-nom-83264>.

Conapo. (2017). Índice de marginación por municipio, 2010. <https://datos.gob.mx/busca/dataset/indice-de-marginacion-carencias-poblacionales-por-localidad-municipio-y-entidad/resource/5d3674fc-d918-45c3-b02c-3ebc1f9f0fe0>.

Congreso de la Unión. (1992). *Ley de Aguas Nacionales*. Última Reforma DOF 24-03-2016, 110.

Díaz-Delgado, C., Esteller, M.V., Velasco-Chilpa., Martínez-Vilchis, J. Arriaga-Jordán, C.M., Vilchis Frances, A.Y., Manzano Solís, L.R., Colin-Mercado, M., Miranda-Juárez, S., Uribe-Caballero, M.L.W., Peña Hinojosa, A. (2009). *Guía de planeación estratégica participativa para la gestión integrada de los recursos hídricos de la cuenca Lerma-Chapala-Santiago*, capítulo Estado de México. Centro Interamericano de Recursos del Agua, Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma del Estado de México y Red Interinstitucional e interdisciplinaria de investigación, consulta y coordinación científica para la recuperación de la cuenca Lerma-Chapala-Santiago (RED LERMA).

Díaz-Delgado, C., Esteller, M.V. y López-Vera, F. (2006). Recursos hídricos: conceptos básicos y estudio de caso en Iberoamérica. Centro Interamericano de Recursos del Agua, Universidad Autónoma del Estado de México. Piriguazú Ediciones. Uruguay.

- DOF. (1917). *Constitución política de los estados unidos mexicanos*. Recuperado de <http://www.ordenjuridico.gob.mx/Constitucion/1917.pdf>
- DOF. (1988). *Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente*, Pub. L. No. Última reforma publicada 05-06-2018, 135.
- Durango, J.M., Gómez, A.M., Hernández, R.M., Hernández, S. y González D.M. (2018). Naturaleza, sociedad y territorio en la alta guajira, Colombia. En Cebrián et al. (coord.). *América Latina en las últimas décadas: procesos y retos*. (pp. 261-275). Universidad de Castilla-La Mancha, ed. V. Serie 711.4(063)
- Estuardo-Cevallos, G., Roldan-Ruenes, A., y Gómez-Luna, L. M, S. (2015). Prospective identification of components in the process of environmental management at la Concordia canton, Ecuador. *Centro de información y gestión tecnológica de Santiago de Cuba*. (3). 16-33.
- ESRI. (2019). Descubre los SIG. Consultado el 18 de febrero del 2020. Recuperado en: <https://www.esri.es/descubre-los-gis/>
- ESRI. (2019). What is the Jenks optimization method? Soporte técnico de Environmental Systems Research Institute. Fecha de consulta: 1 de agosto del 2019. Recuperado de: <https://support.esri.com/en/technical-article/000006743>
- FAO (2007). *La nueva generación de programas y proyectos de gestión de cuencas hidrográficas*. Organización de las naciones unidas para la agricultura y la alimentación. Consultado el 12 de noviembre de 2018. Disponible en: <http://www.fao.org/docrep/010/a0644s/a0644s00.htm>

- Flórez-Delgado, D.F. y Fernández-García, D.K. 2017. Los sistemas de información geográfica. una revisión. *Revista Facultad Ciencias Agropecuarias – FAGROPEC*. Universidad de la Amazonia, Florencia – Caquetá. 9(1). Pp. 11-16
- Gallopín, G. (2003). *Sostenibilidad y desarrollo sostenible: un enfoque sistémico*. CEPAL. Chile.
- Garcés, J.A. (2011, marzo). Paradigmas del conocimiento y sistemas de gestión de los recursos hídricos: La gestión integrada de cuencas hidrográficas. *Virtual REDESMA*, Vol. 5(1), pp. 29-41.
- García, A A.F., Campos, A J.J., Villalobos, R., Jimenez, F y Solórzano, R. (2005). *Enfoques de manejo de recursos naturales a escala de paisaje: Convergencia hacia un enfoque ecosistémico*. Costa Rica: CATIE.
- García, E. (2004). *Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Köppen*. UNAM. Serie libros: Núm. 6. Consultado el 24 de marzo del 2020. Recuperado de <http://www.publicaciones.igg.unam.mx/index.php/ig/catalog/book/83>
- Global Water PartnerShip (2011). ¿Qué es la GIRH? <https://www.gwp.org/es/GWP-Sud-America/ACERCA/por-que/PRINCIPALES-DESAFIOS/Que-es-la-GIRH/>
- Godet, M., Monti R., Meunier, F y Roubelat, F. (2000). *La caja de herramientas de la prospectiva estratégica* (Cuaderno publicado por Gerpa con la colaboración de Electricité de France, Mission Prospective: Cuarta edición actualizada). España. Recuperado de <http://es.lapropective.fr/dyn/espagnol/bo-lips-esp.pdf>
- Godet. M. (1993). *De la anticipación a la acción: manual de prospectiva y estrategia*. España: MARCOMBO.

Global Water Partnership (2000). Integrated Water Resources Management, Technical Advisory Committee (TAC). TAC Background Papers N° 4. Disponible en: <https://www.gwp.org/globalassets/global/toolbox/publications/background-papers/04-integrated-water-resources-management-2000-english.pdf>.

Hornung-Leoni CT, Chavarria-Olmedo YJ, Ramírez-Morillo IM. (2019). The Reserva de la Biosfera Barranca de Metztitlán (Hidalgo): An illustrated checklist of bromeliads and orchids and their high levels of Mexican endemisms. *PhytoKeys* 118: 105–123. <https://doi.org/10.3897/phytokeys.118.31603>

Hernández-Acosta, E., Martínez-Coconi, M. y Vargas-Pérez, A. (2015). Calidad biológica del río Metztitlán, México. III Congreso Internacional y XVII Congreso Nacional de Ciencias Agronómicas. Recursos naturales y biodiversidad.

Ibarrarán, M. E., Mendoza, A., Pastrana, C. y Manzanilla, E. J. (2017). Determinantes socioeconómicos de la calidad del agua superficial en México. *Región y sociedad*. No. 69.

Indig, D., Donin, G. y Leone, A. (2011). *Gestión de los Recursos Hídricos en América Latina: análisis de sus actores y sus necesidades de desarrollo de capacidades*. European Commission Joint Research Centre. Italy.

INEGI. (2014). Conjunto de datos vectoriales de uso del suelo y vegetación escala 1:250 000, serie VI Recuperado de <http://www.beta.inegi.org.mx/temas/mapas/usosuelo/>

INEGI. (2010). Censo de Población y Vivienda 2010. Consultado el 8 de noviembre del 2018. Recuperado de [http://www.inegi.org.mx/est/contenidos/proyectos/ccpv/cpv2010/iter\\_2010.aspx](http://www.inegi.org.mx/est/contenidos/proyectos/ccpv/cpv2010/iter_2010.aspx)

- INEGI. (2001). Conjunto de Datos Vectoriales Fisiográficos. Continuo Nacional. Escala 1:1, 000,000. Serie I. Recuperado de <http://www.beta.inegi.org.mx/temas/mapas/fisiografia/>
- Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt Colombia. (2015). Laboratorio de Análisis Espaciales. Consultado el 2 de febrero del 2020. Recuperado en: <http://www.humboldt.org.co/en/research/analysis-and-synthesis-center/spatial-analysis-laboratory>
- Jiménez, F. (2007). Gestión integral de cuencas hidrográficas: enfoques y estrategias actuales. *Recursos, ciencia y decisión*. Edición 2. Costa Rica: CATIE.
- Johansen, O. (2012). Introducción a la Teoría General de Sistemas. México: Limusa.
- Kennedy, K., Slobodan, S., Tejada-Guibert, A., Doria, M. F y Martin, J.L (2009). IWRM Implementation in Basins, Sub-basins and Aquifers: State of the Art Review. Turkey: International Hydrological Programme of UNESCO.
- Leonard, D. G., Timothy, M. N, y J. William Pfeitffer. (1998). *Planeación estratégica aplicada*. Colombia: McGraw Hill Interamericana S. A.
- López-Herrera, M., Romero-Bautista, L., Ayala-Sánchez, N., Soria-Mercado, I. E., y Portillo-López, A. (2015). *Problemática de contaminación en la zona agrícola de la Reserva de la Biosfera Barranca de Metztitlán, Hidalgo*. Estudios en Biodiversidad: Presentación, Contribuciones, y Contribuidores. 12. 142-150.
- Lujan G, R., Michel P, J.G., Vizcaíno R, L. A., Mayoral R, P. A. y Caro B, L. (2018). Gestión de los recursos hídricos en la cuenca del río Santiago: una perspectiva. *Revista Latinoamericana el Ambiente y las Ciencias*. 9. (21). 479-490.

- Manzano-Solís, L., Díaz-Delgado, C., Gómez-Albores, M., Mastachi-Loza, C. y Soares, D. (2019). Use of structural systems analysis for the integrated water resources management in the Nenetzingo river watershed, Mexico. *Land Use Policy*. 87. 10.1016/j.landusepol.2019.104029.
- Manzano, L. R. (2017). Modelo hidrogeomático de indicadores sistémicos para la gestión integrada de recursos hídricos. (Tesis de doctorado). Universidad Autónoma del Estado de México. México.
- Martínez-Austria, P.F., Díaz-Delgado, C., Moeller-Chavez, G. (2019). Water security in Mexico: general diagnosis and main challenges. *Ingeniería del agua*, 23(2), 107-121. <https://doi.org/10.4995/Ia.2019.10502>.
- Martínez duarte, Juan A. (2006). Enfoque sistémico en la investigación de cuencas hidrográficas. *Revista Científica "Visión de Futuro"*, 5(1). [fecha de Consulta 11 de febrero de 2020]. ISSN: 1669-7634. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=3579/357935464003>.
- Mendoza, C. M. y A. Quevedo N. 2019. Lista florística del bosque de galería del río Metztlán, Hidalgo, México. *Acta Botánica Mexicana* 126: e1495. DOI: 10.21829/abm126.2019.1495
- Mojica, F. (2005). La construcción del futuro: Concepto y modelo de prospectiva estratégica, territorial y tecnológica. Bogotá, Colombia: Convenio Andrés Bello – Universidad Externado de Colombia.

- Cedillo, J. L. (2017). Suministro de agua potable en México: más allá del crecimiento poblacional. *Tecnología y ciencias del agua*, 08 (1), 21-33. DOI: <https://doi.org/10.24850/j-tyca-2017-01-02>
- Naciones Unidas. (2002). *Informe de la Cumbre Mundial sobre el Desarrollo Sostenible*. A/CONF.199/20\*
- Naciones Unidas. (1993). *Informe de la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo*. A/CONF.151/26/Rev.1 (Vol. I)
- Naciones Unidas. (1992). *Conferencia Internacional sobre el Agua y el Medio Ambiente: Cuestiones de desarrollo para el siglo 21*. ICWE/Doc (31.1.1992).
- Núñez-Solís, C. (2016). Implementación de un visor geoespacial en la web sobre recurso hídrico para el acuífero Jacó, Garabito, Puntarenas, 2014. *Revista Geográfica de América Central*, 1(54), 45-64. <https://doi.org/10.15359/rgac.1-54.2>
- ONU (2007). *El agua una responsabilidad compartida*. Informe de las Naciones Unidas sobre el desarrollo de los recursos hídricos en el mundo (587 pp.). París: Organización de las Naciones Unidas.
- ONU (2014). *Gestión Integrada de los Recursos Hídricos*. Naciones Unidas. Recuperado de <http://www.un.org/spanish/waterforlifedecade/iwrm.shtml>
- Ortega-Gaucin, D. y Peña-García. A. (2016). Análisis crítico de las campañas de comunicación para fomentar la cultura del agua en México. *Comunicación y sociedad*. núm. 26, pp. 223-246
- Oyala, V. (2014). *Sistemas de Información Geográfica*. Osgeo.

- Pacheco-Vega, R. (2016). El agua embotellada en México: de la privatización del suministro a la mercantilización de los recursos hídricos. *Espiral, estudios sobre estado y sociedad*. Vol. XXII. (63). pp. 221-263.
- Pablos, N. P., Vázquez, J. L. M., y Adams, A. S. (2014). Derechos de agua y gestión por cuencas en México. El caso del río Sonora. *Espiral, Estudios sobre Estado y Sociedad*. 21 (61). Pp. 191-225.
- Peña, N.I. (2013). El espacio geográfico y el análisis espacial. Consultado el 22 de febrero del 2020. Recuperado de: [https://es.slideshare.net/NormaIvonePeaGaleana/sig-6-de-6anlisis-espacial?from\\_action=save](https://es.slideshare.net/NormaIvonePeaGaleana/sig-6-de-6anlisis-espacial?from_action=save)
- Peña, J. (2006). *Sistemas de información geográfica aplicados a la gestión del territorio*. Universidad de Alicante. 4ta edición. Consultado el 29 de febrero del 2020. Recuperado de [https://books.google.com.mx/books?id=BFDuDQAAQBAJ&printsec=copyright&source=gbs\\_pub\\_info\\_r#v=onepage&q&f=false](https://books.google.com.mx/books?id=BFDuDQAAQBAJ&printsec=copyright&source=gbs_pub_info_r#v=onepage&q&f=false)
- Perevochtchikova, M. (2013). Retos de la información del agua en México para una mejor gestión. En Ordaz, E. J. (Ed.) *Realidad, datos y espacio. Revista internacional de estadística y geografía*. México: INEGI.
- Perevochtchikova, M. (2010). La problemática del agua: revisión de la situación actual desde una perspectiva ambiental. En Lezama, J. L., y Graizbord, B. (Ed.) *En Los grandes problemas de México: Medio ambiente*. México: El Colegio de México AC.
- Rivera, P., y Aguilar, A. G. (2015). La gestión integral del agua en zonas urbanas: caso de estudio Zacatecas-Guadalupe. *Tecnologías y ciencias del agua*. 6 (3). 125-142

Rolland, L., y Cárdenas, Y. V. (2010). La gestión del agua en México. *POLIS*. 6(2).155-188. México.

Rubio B A y Gutiérrez P J. (1997).

Sáenz, N. (1992). Los sistemas de información geográfica (SIG) una herramienta poderosa para la toma de decisiones. *Ingeniería e Investigación*. 0(28), 31-40. Disponible en <https://revistas.unal.edu.co/index.php/ingainv/article/view/20790/21718>

Sala, M. y Batalla, R. J. (1999). *Teoría y métodos en Geografía Física*. España: síntesis S.A.

Tamayo, A. (1999). *Teoría general de sistemas*. Departamento de ciencias. Pp. 84-89.

UNESCO. (2017). UNESCO México visita el Geoparque Comarca Minera Hidalgo, para analizar proyectos de conservación y aprovechamiento. Consultado el 6 de junio del 2017. Disponible en: [http://www.unesco.org/new/es/mexico/press/news-and-articles/content/news/unesco\\_mexico\\_visita\\_el\\_geoparque\\_comarca\\_minera\\_hidalgo\\_p/](http://www.unesco.org/new/es/mexico/press/news-and-articles/content/news/unesco_mexico_visita_el_geoparque_comarca_minera_hidalgo_p/)

UNESCO. (2016). Proyecto comarca minera: Geoparque Hidalgo desarrollado por ideas inteligentes. Consultado el 6 junio del 2019. Recuperado en: <http://www.geoparquehidalgo.com/>

Villegas, M. D., Gutiérrez, C. J. G., Gómez D. W., y Espinosa R. L.M (2018). Diagnóstico integral del territorio del parque Otomí-Mexica del Estado de México. *Revista Latinoamericana el Ambiente y las Ciencias*. 9 (21). 160-186.

# ANEXOS

## Anexo 1. Ejemplo de la entrevista semiestructurada.



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MÉXICO  
MAESTRÍA EN ANÁLISIS ESPACIAL Y GEOINFORMÁTICA

### ENTREVISTA SEMIESTRUCTURADA

Nombre: RAÚL GILBERTO GÓMEZ VILLEGAS  
Cargo o actividad a la que se dedica: JEFE DE DEPARTAMENTO DE ANP  
Municipio: METZTITLÁN

Fecha: 24/04/2019

Dependencia: CONANP/RBMM.  
Estado: HIDALGO

Favor de responder con base a su experiencia personal de trabajo.

1.- ¿Cuál es el reto que considera principal en su municipio en cuanto al uso del agua?

USO	RETOS	CALIFICACIÓN
Agropecuario	a) Poca disponibilidad de agua para actividad	1
	b) Disminución de la disponibilidad de agua durante la época de estiaje	2
	c) Dificultad en el acceso a agua	4
	d) Enfermedades provocadas por la calidad del agua o la falta de ella	5
	e) Conflictos entre los usuarios por el uso y disponibilidad del agua	3
	f) Otro:	6
Ambiental y recreativo	a) Crear conciencia en cuanto a la relación existente entre el agua y todos los seres vivos que habitan en la cuenca	4
	b) Asegurar la disponibilidad de agua a la fauna y flora silvestre	5
	c) Evitar la disposición de residuos sólidos en los cuerpos de agua	5
	d) Evitar arrojar aguas residuales sin el tratamiento debido a las corrientes de agua	1
	e) La conservación de los recursos naturales (p. ej. creación de ANP)	2
	f) Otro: FINESTURÍSTICOS	3
Doméstico	a) Incrementar el abastecimiento de agua a las viviendas	2
	b) Mejorar la red de drenaje	3
	c) Evitar en su posible enfermedades originadas por la calidad del agua o/ya la falta de ella	4
	d) Evitar en lo posible los conflictos del agua entre los pobladores	1
	e) Reducir afectaciones originadas por la lluvia (digase derrumbes, inundaciones, etc.)	5
	f) Otro:	6
Industrial	a) Incrementar el abastecimiento de agua	1
	b) Suministro seguro de agua mediante la protección de la biodiversidad	2
	c) Procurar el ahorro del agua	4
	d) Adoptar medidas para la regulación del agua	3
	e) Considerar la disposición adecuada de las aguas residuales	5
	f) Otro:	6

\* Colocar 1 al 6 por cada uso, siendo el 1 el de mayor prioridad y 6 el de menor, además colocar 0 si no se considera como prioritario.

Proyecto de Investigación: Análisis Sistemático y Espacial de la Gestión del Agua en la Cuenca del Río Metztlán.  
Responsable: Rosi Nereida Vázquez Severino alumno del 2do semestre de la Maestría en Análisis Espacial y Geoinformática



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MÉXICO  
MAESTRÍA EN ANÁLISIS ESPACIAL Y GEOINFORMÁTICA

2.- ¿Cuáles son las causas que han orillado a creer que los retos propuestos en la pregunta anterior son los principales y por qué?

USO	RETOS	CAUSAS
Agropecuario	g) Poca disponibilidad de agua para actividad	Existen problemas actualmente en cuanto a la disponibilidad de agua entre los usuarios del sector agrícola. La producción de alimento en la vega de Metztlán es una de las actividades principales dentro del municipio, como se trata de una agricultura de alto rendimiento la disponibilidad en época de estiaje se vuelve crítica.
	h) Disminución de la disponibilidad de agua durante la época de estiaje	Se han presentado situaciones alarmantes en cuanto a la disponibilidad en época de estiaje para el riego de la zona agrícola en temporada de secas; lo que provoca la apertura de pozos o el bombeo del agua desde aguas arriba de la cuenca; lo cual provoca un desmoronamiento económico de los productores e incremento de los productos.
Agropecuario	i) Dificultad en el acceso a agua	El acceso al agua en el sector agrícola no es muy significativo; la mayor parte de las áreas de riego se encuentran a orillas del río, lo cual es un acceso no implica un problema importante.
	j) Enfermedades provocadas por la calidad del agua o la falta de ella	La parte que se ha demostrado que provoca la contaminación del agua es en el sector pesquero, en donde a través de estudios se ha encontrado altos contenidos de plomo y otros materiales pesados en la carne de los peces que se encuentran en la parte baja de la cuenca (laguna Metztlán). También la calidad del agua ha afectado el crecimiento de los individuos dentro del agua, la tala comercial que se obtiene actualmente es mínima.
	k) Conflictos entre los usuarios por el uso y disponibilidad del agua	Es una de las principales consecuencias que se tiene en el uso del agua, en época de estiaje se han tenido serios conflictos con los usuarios de riego en el manejo del agua, ya que cada persona busca garantizar la producción agrícola. Las inversiones que se realizan en la producción agrícola de riego son muy elevadas, por lo que garantizar el cultivo se vuelve prioridad para los agricultores.
Ambiental y recreativo	l) Otro:	
	g) Crear conciencia en cuanto a la relación existente entre el agua y todos los seres vivos que habitan en la cuenca	Existe poco interés por la población en cuanto al saber de las relaciones que existe entre los seres vivos y la cuenca; para la reserva de la biosfera barranca de Metztlán se tiene claro que es un ente en común que cada uno de los factores dependen entre sí para la subsistencia. Se trabaja continuamente en el desarrollo de actividades de educación ambiental con jóvenes y estudiantes de diferentes localidades para explicar y hacer entender esta situación.
Ambiental y recreativo	h) Asegurar la disponibilidad de agua a la fauna y flora silvestre	De manera específica en el municipio de Metztlán la disponibilidad de agua para la fauna silvestre se considera un problema poco significativo, en la parte baja de la cuenca de acuerdo a los monitoreos biológicos que se hacen a través de

Proyecto de Investigación: Análisis Sistemático y Espacial de la Gestión del Agua en la Cuenca del Río Metztlán.  
Responsable: Rosi Nereida Vázquez Severino alumno del 2do semestre de la Maestría en Análisis Espacial y Geoinformática



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MÉXICO  
MAESTRÍA EN ANÁLISIS ESPACIAL Y GEOINFORMÁTICA

Industrial	i) Evitar la disposición de residuos sólidos en los cuerpos de agua	la RBMM, no se tiene fauna silvestre en gran magnitud, la mayor parte de fauna silvestre se localiza en los ecosistemas poco degradados que es principalmente la parte alta. El tema de residuos sólidos dentro del municipio de Metztlán es factor de controversia en cada reunión interinstitucional que se tiene a nivel gobierno; se ha estado trabajando bastante en el tema de envases vacíos de agroquímicos, en PET, pero los resultados no han sido los esperados. La parte legal en cuanto al manejo de residuos no se tiene del todo clara y no se han encontrado alternativas viables que ayuden a detener este problema. Se ha trabajado con campañas de limpieza en gran parte de la cuenca, pero la contaminación persiste.
	j) Evitar arrojar aguas residuales sin el tratamiento debido a las corrientes de agua	El tema de descargas de aguas negras en todas las vertientes de la cuenca, implica el involucramiento de los tres órganos de gobierno y la participación en su totalidad de la ciudadanía que habita en el área. No se puede atender de manera aislada debido a que una problemática de manera general que incluye a todos; el hacer esfuerzos de manera aislada para evitar estas descargas de aguas residuales no contribuye a resolver el problema.
	k) La conservación de los recursos naturales (p. ej. creación de ANP)	
	l) Otro:	
	g) Incrementar el abastecimiento de agua a las viviendas	El constante y acelerado crecimiento de la mancha urbana ha provocado el desabasto del agua en la cabecera municipal de Metztlán; no se cuenta con un cinturón de crecimiento urbano definido, lo que ocasiona que la población se acentúe de manera desmedida y provoca problemas en cuanto a la infraestructura de la red de agua potable.
Doméstico	h) Mejorar la red de drenaje	
	i) Evitar en su posible enfermedades originadas por la calidad del agua o/ya la falta de ella	
	j) Evitar en lo posible los conflictos del agua entre los pobladores	El constante incremento de la población ha ocasionado ya conflictos en el abastecimiento del agua dentro del municipio; se tiene un control por semanas para el abasto del líquido por colonias; sin embargo los pobladores manifiestan que no les es suficiente y se tienen varios casos en donde la gente comienza a presentar riñas por esta situación.
	k) Reducir afectaciones originadas por la lluvia (digase derrumbes, inundaciones, etc.)	

Proyecto de Investigación: Análisis Sistemático y Espacial de la Gestión del Agua en la Cuenca del Río Metztlán.  
Responsable: Rosi Nereida Vázquez Severino alumno del 2do semestre de la Maestría en Análisis Espacial y Geoinformática



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MÉXICO  
MAESTRÍA EN ANÁLISIS ESPACIAL Y GEOINFORMÁTICA

Industrial	l) Otro:	
	g) Incrementar el abastecimiento de agua	De la mano con la problemática en el sector doméstico, en la parte industrial el principal factor a considerar es el abastecimiento del agua; debido al crecimiento poblacional, la falta de estructura hidráulica y el uso indiscriminado en el sector agropecuario, la poca industria que existe también se ve afectada por la disponibilidad.
	h) Suministro seguro de agua mediante la protección de la biodiversidad	
	i) Procurar el ahorro del agua	
	j) Adoptar medidas para la regulación del agua	
	k) Considerar la disposición adecuada de las aguas residuales	
l) Otro:		

3.- ¿Cuáles son las acciones propuestas para llegar a las metas, si ya existen explique como lo han llevado a cabo?

USO	RETOS	ACCIONES
Agropecuario	m) Poca disponibilidad de agua para actividad	El abastecimiento de agua se regula a través de un módulo de usuarios de riego, en donde se calendarizan los riegos por cada uno de los productores. Como propuesta se considera implementar mejor tecnología en sistemas de riego por goteo u otras formas de riego agrícola, para que el líquido sea suficiente.
	n) Disminución de la disponibilidad de agua durante la época de estiaje	En la época de estiaje se recomienda realizar vigilancia para que no existan fugas de agua de acuerdo a lo programado y

Proyecto de Investigación: Análisis Sistemático y Espacial de la Gestión del Agua en la Cuenca del Río Metztlán.  
Responsable: Rosi Nereida Vázquez Severino alumno del 2do semestre de la Maestría en Análisis Espacial y Geoinformática



		para que sea más eficiente los riegos; también se recomienda tener producción en cultivos precoces de poca temporalidad.
	o) Dificultad en el acceso a agua	
	p) Enfermedades provocadas por la calidad del agua o la falta de ella	
	q) Conflictos entre los usuarios por el uso y disponibilidad del agua	
	r) Otro:	
Ambiental y recreativo	m) Crear conciencia en cuanto a la relación existente entre el agua y todos los seres vivos que habitan en la cuenca	
	n) Asegurar la disponibilidad de agua a la fauna y flora silvestre	
	o) Evitar la disposición de residuos sólidos en los cuerpos de agua	
	p) Evitar arrojar aguas residuales sin el tratamiento debido a las corrientes de agua	A través del personal de la RBBM se ha creado un comité de vigilancia comunitaria, en donde se hacen supervisiones de campo para la detección de puntos o tiraderos de basura. Se ha buscado el foro correcto y programación de reuniones con los tres niveles de gobierno y sus instituciones para aplicar la normatividad que regula este tipo de acciones.
	q) La conservación de los recursos naturales (p. ej. creación de ANP)	
	r) Otro:	
Domestico	m) Incrementar el abastecimiento de agua a las viviendas	
	n) Mejorar la red de drenaje	

Proyecto de Investigación: Análisis Sistemático y Espacial de la Gestión del Agua en la Cuenca del Río Metztitlán.  
Responsable: Rosi Nereida Vázquez Severino alumno del 2do semestre de la Maestría en Análisis Espacial y Geoinformática



	o) Evitar en su posible enfermedades originadas por la calidad del agua o/y la falta de ella	
	p) Evitar en lo posible los conflictos del agua entre los pobladores	Se tienen que buscar mejores estrategias para conseguir llevar el agua hasta cada uno de los domicilios de la población, como son el cambio de la tubería de red pública ya que se tienen fugas y pérdida de agua; también abastecer de agua a través de pipas en colonias donde no se cuenta con tubería. En las partes altas del municipio se cuenta con algunos pozos que podrían abastecer de manera efectiva a toda la población; es importante cuidar y evitar cambios de uso de suelo en áreas de recarga de la cuenca, así como incrementar la cubierta vegetal.
	q) Reducir afectaciones originadas por la lluvia (digase derrumbes, inundaciones, etc.)	
	r) Otro:	
Industrial	m) Incrementar el abastecimiento de agua	La parte de la industria en el municipio es poca, ya que la principal actividad se concentra en el sector agropecuario; sin embargo se debe considerar tener mejores áreas de captación de agua; buscar opciones como bordos de captación de agua de lluvia con geomembrana. Obligar a las naves industriales que tengan sus propios sistemas de captación de agua de lluvia y cisternas de almacenamiento; esto permitirá desahogar la presión hídrica de la industria a la población.
	n) Suministro seguro de agua mediante la protección de la biodiversidad	
	o) Procurar el ahorro del agua	
	p) Adoptar medidas para la regulación del agua	
	q) Considerar la disposición adecuada de las aguas residuales	
	r) Otro:	

Proyecto de Investigación: Análisis Sistemático y Espacial de la Gestión del Agua en la Cuenca del Río Metztitlán.  
Responsable: Rosi Nereida Vázquez Severino alumno del 2do semestre de la Maestría en Análisis Espacial y Geoinformática



4.- ¿Cuáles son las consecuencias que ha identificado se generarían si no se aplicaran las medidas adecuadas?

USO	RETOS	CONSECUENCIAS
Agropecuario	s) Poca disponibilidad de agua para actividad	
	t) Diminución de la disponibilidad de agua durante la época de estiaje	En lo que corresponde a la agricultura ya se están teniendo consecuencias tangibles en cuanto al desabasto de agua. Los productores se ven en la necesidad de bombear agua hasta sus parcelas lo cual genera un gasto en la renta de bombas y compra de combustible; esto a su vez ocasiona un incremento en la adquisición de productos de la canasta básica. También se esperan conflictos sociales por los productores al momento de realizar sus riegos en cada una de sus parcelas.
	u) Dificultad en el acceso a agua	
	v) Enfermedades provocadas por la calidad del agua o la falta de ella	
	w) Conflictos entre los usuarios por el uso y disponibilidad del agua	
	x) Otro:	
Ambiental y recreativo	s) Crear conciencia en cuanto a la relación existente entre el agua y todos los seres vivos que habitan en la cuenca	
	t) Asegurar la disponibilidad de agua a la fauna y flora silvestre	
	u) Evitar la disposición de residuos sólidos en los cuerpos de agua	

Proyecto de Investigación: Análisis Sistemático y Espacial de la Gestión del Agua en la Cuenca del Río Metztitlán.  
Responsable: Rosi Nereida Vázquez Severino alumno del 2do semestre de la Maestría en Análisis Espacial y Geoinformática



	v) Evitar arrojar aguas residuales sin el tratamiento debido a las corrientes de agua	Sin duda las consecuencias ambientales serán alarmantes, algunas de ellas ya se están presentando. Dentro de las principales afectaciones que se pueden esperar es en la parte baja de la cuenca, en la laguna podría suceder un proceso de eutrofización, con esto la pérdida de especies nativas de fauna.
	w) La conservación de los recursos naturales (p. ej. creación de ANP)	
	x) Otro:	
Domestico	s) Incrementar el abastecimiento de agua a las viviendas	
	t) Mejorar la red de drenaje	
	u) Evitar en su posible enfermedades originadas por la calidad del agua o/y la falta de ella	
	v) Evitar en lo posible los conflictos del agua entre los pobladores	Como punto fundamental la problemática social se dispararía entrando incluso en una psicosis por la falta de agua entre la población; desacreditación de las autoridades locales y administradoras del área de la cuenca.
	w) Reducir afectaciones originadas por la lluvia (digase derrumbes, inundaciones, etc.)	
	x) Otro:	
Industrial	s) Incrementar el abastecimiento de agua	La migración de las empresas que se tienen dentro del sector industrial en busca de mejores condiciones provocaría una nueva catástrofe social como el desempleo y el incremento de la delincuencia.
	t) Suministro seguro de agua mediante la protección de la biodiversidad	
	u) Procurar el ahorro del agua	

Proyecto de Investigación: Análisis Sistemático y Espacial de la Gestión del Agua en la Cuenca del Río Metztitlán.  
Responsable: Rosi Nereida Vázquez Severino alumno del 2do semestre de la Maestría en Análisis Espacial y Geoinformática

**Anexo 2. Identificación de actividades relacionadas al uso y manejo del agua en la cuenca.**



Fotografía 1. a) Identificación de acciones relacionadas con el sistema de cobro por el servicio de agua y b) del programa cultura del agua, caso Tulancingo, Hidalgo.



Fotografía 2. Identificación de actividades agrícolas, actividad principal en la zona conocida como la vega de Metztlán, Hidalgo.



Fotografía 2. Uso del agua para la agricultura, en el municipio de Acatlán, Hidalgo.



Fotografía 3. Recorrido con profesores y alumnos de la MAEG por el lago de Metztitlán, en compañía del guía de la RBBM y estudiantes que realizan estancias en México. Abril del 2019.

### Anexo 3. Matriz de Influencia Total en la gestión del agua en la cuenca del río Metztlán.

No. Variable	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	Influencia	
1	0.17	1.31	0.08	0.13	0.13	1.18	0.10	1.15	0.09	1.17	0.09	0.07	0.08	0.04	0.11	0.09	0.04	0.14	0.08	0.14	0.13	0.08	0.15	0.10	0.08	0.06	0.15	0.16	0.14	1.13	0.08	0.04	0.14	1.17	1.16	1.14	12.27	
2	1.24	0.43	0.10	1.17	1.18	1.25	0.14	0.21	0.13	0.23	0.13	0.09	0.10	0.05	0.15	0.13	0.05	0.19	0.10	1.19	0.18	0.11	1.21	1.14	0.12	0.08	1.22	0.21	0.20	0.18	0.11	0.05	0.19	1.23	1.22	1.19	16.93	
3	1.10	1.18	0.04	1.07	0.07	1.11	1.06	1.09	0.05	1.10	0.06	0.04	0.04	0.02	0.06	1.06	0.02	0.08	0.04	1.08	0.07	0.05	0.09	0.06	0.05	0.03	0.09	0.09	1.08	0.07	0.05	0.02	0.08	0.10	0.09	0.08	12.50	
4	1.09	1.16	0.04	0.06	1.06	1.09	0.05	1.08	0.05	0.08	0.05	0.03	0.04	0.02	0.06	0.05	0.02	0.07	0.04	0.07	0.07	0.04	0.08	0.05	0.04	0.03	0.08	0.08	0.07	1.06	0.04	0.02	0.07	0.09	0.08	0.07	8.18	
5	1.08	1.14	0.03	1.06	0.06	1.08	0.05	1.07	0.04	0.07	0.04	0.03	0.03	0.02	0.05	0.04	0.02	0.06	0.03	1.06	0.06	0.03	0.07	0.05	0.04	0.03	0.07	0.07	0.06	0.06	0.04	0.02	0.06	0.07	0.07	0.06	7.89	
6	0.03	0.06	0.01	0.02	0.02	0.03	1.02	1.03	0.02	0.03	1.02	0.01	0.01	0.01	0.02	0.02	0.01	0.03	1.01	0.02	0.02	0.01	0.03	0.02	0.01	0.01	0.03	0.03	0.03	0.02	0.01	0.01	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	4.77
7	0.01	0.02	0.00	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	1.01	0.00	0.01	0.01	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00	0.01	0.01	0.01	0.01	1.21
8	0.06	1.10	0.03	0.04	1.04	1.06	0.04	0.05	0.03	0.06	1.03	0.02	0.03	0.01	0.04	0.03	0.01	0.05	1.03	0.05	0.04	0.03	0.05	0.03	0.03	0.02	0.05	0.05	0.05	0.04	0.03	0.01	0.05	0.06	0.05	0.05	0.05	6.43
9	1.51	1.90	1.22	1.37	1.36	0.53	0.30	1.45	0.27	1.49	1.28	1.20	1.22	1.11	1.33	1.28	1.11	1.42	1.23	0.40	1.38	0.23	1.45	0.29	0.24	1.17	1.45	1.46	1.42	1.37	1.23	1.11	1.41	1.49	1.46	1.40	41.56	
10	0.05	0.09	0.02	0.04	0.03	0.05	0.03	0.05	0.03	0.05	0.03	0.02	0.02	0.01	1.03	1.03	0.01	1.04	0.02	0.04	0.04	0.02	0.04	0.03	0.02	0.02	0.04	0.05	0.04	0.04	0.02	0.01	0.04	0.05	0.04	0.04	4.22	
11	0.19	1.34	0.08	0.14	0.14	0.20	1.11	1.17	0.10	1.18	0.10	0.07	0.08	0.04	1.12	0.10	0.04	0.16	0.08	0.15	0.14	0.08	0.17	0.11	0.09	0.06	0.17	1.17	1.16	1.14	0.08	0.04	1.15	1.18	0.17	0.15	14.68	
12	1.14	1.25	0.06	0.10	0.10	0.15	0.08	1.13	0.08	1.14	0.08	0.06	0.06	0.03	0.09	1.08	0.03	1.12	0.06	0.11	0.11	0.06	0.13	0.08	0.07	0.05	0.13	1.13	1.12	0.10	0.07	0.03	1.12	1.14	0.13	0.11	13.54	
13	0.10	1.18	0.05	0.07	0.07	1.11	0.06	1.09	0.05	1.10	0.06	0.04	0.05	0.02	1.07	1.06	0.02	1.09	0.05	0.08	0.07	0.04	0.09	0.06	0.05	0.03	0.09	0.09	1.09	0.07	0.04	0.02	0.08	0.10	0.09	0.08	10.54	
14	0.07	0.13	1.03	0.05	0.05	0.08	0.05	0.07	0.04	1.08	0.04	0.03	0.03	0.02	1.05	0.04	1.02	0.07	1.03	0.05	0.05	0.03	0.06	0.04	0.03	0.02	0.06	0.07	0.06	0.05	0.03	0.01	0.06	0.07	0.07	0.06	6.83	
15	1.41	1.72	1.18	0.29	0.29	1.43	1.25	0.37	1.22	1.40	1.22	1.16	1.18	1.09	0.26	1.23	1.09	1.34	1.18	0.32	0.30	0.18	1.36	0.23	0.19	0.13	0.36	1.37	1.34	1.30	0.18	0.08	0.33	1.40	1.37	1.33	32.09	
16	0.02	0.04	0.01	0.01	0.01	0.02	0.01	0.02	0.01	0.02	0.01	1.01	0.01	0.00	0.01	0.01	0.00	0.02	1.01	0.02	0.01	0.01	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	0.02	0.02	0.01	0.00	0.02	0.02	0.02	0.02	2.51	
17	0.14	0.25	1.06	0.10	0.10	0.15	0.09	0.13	1.08	1.14	0.08	0.06	0.06	1.03	1.09	0.08	0.03	1.12	1.07	0.11	1.10	0.06	0.13	0.08	0.06	0.05	0.13	0.13	0.12	0.11	0.06	0.03	0.12	0.14	0.13	0.12	11.55	
18	1.09	1.16	1.04	0.06	0.07	0.09	1.05	1.08	0.05	1.09	0.05	0.04	0.04	0.02	0.06	0.05	0.02	0.07	0.04	0.07	0.07	0.04	0.08	0.05	0.04	0.03	0.08	0.08	0.07	0.07	0.04	0.02	0.07	0.09	0.08	1.07	9.22	
19	0.07	0.12	0.03	0.05	0.05	1.07	0.04	0.07	0.04	1.07	0.04	0.03	0.03	0.02	1.05	0.04	0.02	1.06	0.03	0.05	0.05	0.03	0.06	0.04	0.03	0.02	0.06	1.06	0.06	0.05	0.03	0.01	0.06	0.07	0.06	0.06	6.75	
20	0.22	1.38	0.09	0.16	1.16	0.22	0.12	0.19	1.11	0.20	0.11	0.08	0.09	0.05	0.13	0.12	0.05	0.17	0.09	0.17	0.16	1.10	1.19	1.13	1.11	0.07	1.19	0.19	0.17	0.16	1.10	1.05	0.17	0.20	0.19	0.17	15.27	
21	1.21	1.37	0.09	0.15	1.15	1.21	0.12	0.18	1.11	0.19	0.11	0.08	0.09	0.04	0.13	1.11	0.04	0.16	0.09	1.17	0.16	1.10	0.18	0.12	1.10	0.07	1.19	1.18	0.17	0.15	1.10	0.04	1.16	0.20	0.19	0.16	18.07	
22	0.12	1.21	0.05	0.09	0.08	0.12	0.07	0.11	1.06	0.11	0.06	1.05	0.05	0.03	0.08	0.06	0.03	0.10	0.05	0.09	0.09	0.05	0.10	0.07	0.06	0.04	0.11	0.11	0.10	1.09	0.05	0.02	0.09	0.11	0.11	0.09	6.92	
23	1.57	2.00	1.24	1.41	1.41	1.59	1.33	0.50	1.30	1.54	1.30	1.22	1.24	1.12	1.36	1.31	1.12	1.46	0.25	1.45	1.42	1.26	0.50	1.33	1.27	1.19	1.50	1.50	1.46	1.41	1.26	1.12	1.45	1.54	1.51	1.45	46.90	
24	0.18	1.31	0.08	1.13	0.13	0.18	0.10	0.15	0.09	0.16	0.09	0.07	0.08	0.04	0.11	0.09	0.04	0.14	0.08	1.14	1.13	0.08	1.16	0.11	0.09	0.06	0.16	0.16	0.14	0.13	1.08	0.04	0.14	0.17	1.16	0.14	11.34	
25	0.21	1.37	0.09	0.15	0.15	0.22	0.12	0.18	0.11	0.19	0.11	0.08	0.09	0.04	0.13	0.11	0.04	0.16	0.09	0.17	1.16	1.10	1.19	1.13	0.10	1.07	1.19	0.18	0.17	0.15	1.10	0.05	0.17	0.20	1.19	0.16	14.12	
26	1.23	1.41	1.10	0.17	1.17	0.24	0.14	0.20	0.12	0.22	0.12	1.09	0.10	0.05	0.14	0.12	0.05	0.18	1.10	1.19	1.17	0.11	1.20	0.14	1.11	0.08	0.21	0.20	0.19	0.17	0.11	0.05	0.18	0.22	1.21	0.18	16.66	
27	1.12	1.21	0.05	0.08	0.09	0.12	0.06	0.10	0.06	0.11	0.06	0.05	0.05	0.02	0.07	0.06	0.02	0.09	0.05	1.10	1.09	0.06	0.10	1.07	1.06	0.04	0.11	0.10	0.09	0.08	0.06	0.03	0.09	0.11	0.11	0.09	8.85	
28	0.16	1.29	0.07	0.12	0.12	1.17	1.10	1.14	1.09	1.16	0.09	0.06	0.07	0.04	0.10	0.09	0.04	1.13	0.07	0.13	0.12	0.07	0.14	0.09	0.08	0.05	0.14	0.15	1.13	0.12	0.07	0.03	1.13	1.16	0.15	0.13	14.00	
29	0.18	1.32	0.08	0.13	0.13	0.19	0.11	0.16	0.10	0.18	0.10	0.07	0.08	0.04	1.12	0.10	0.04	0.15	0.08	0.14	0.13	0.08	1.16	0.11	0.09	0.06	0.16	1.16	0.15	0.13	0.08	0.04	1.15	1.18	0.16	0.14	10.48	
30	0.35	1.62	0.15	0.25	0.25	0.36	0.21	0.31	0.19	1.33	1.19	1.14	1.15	0.08	1.22	1.19	0.08	1.29	0.15	1.28	0.26	0.16	1.31	0.20	0.17	1.12	1.31	1.31	1.29	0.25	0.16	0.07	1.28	1.34	1.32	0.28	25.60	
31	0.12	1.21	0.05	0.09	0.09	1.13	0.07	0.10	0.06	0.11	0.06	0.05	0.05	0.03	0.07	0.06	0.03	0.09	0.05	1.10	1.09	0.06	0.11	1.07	1.06	0.04	0.11	0.10	1.10	0.09	0.06	0.03	0.09	0.11	0.11	0.09	9.94	
32	0.12	0.22	0.05	0.09	0.09	0.13	0.07	0.11	0.07	0.12	0.07	0.05	0.05	0.03	0.08	0.07	0.03	0.10	1.05	0.10	0.09	0.06	0.11	0.07	0.06	0.04	0.11	1.11	1.10	1.09	0.06	0.03	1.10	1.12	0.11	0.10	9.04	
33	0.18	1.32	0.07	0.13	0.13	0.18	0.10	0.15	0.09	0.16	0.09	0.07	0.08	0.04	0.11	0.10	0.04	0.14	0.08	1.14	1.13	0.08	0.16	0.11	0.09	0.06	1.16	1.16	1.14	0.13	0.08	0.04	0.14	0.17	1.16	1.14	12.34	
34	0.36	1.64	0.16	1.26	0.26	0.37	1.21	1.32	1.19	1.34	1.19	0.14	1.16	0.08	0.23	0.20	0.08	1.29	0.16	0.28	1.27	1.16	1.32	0.21	0.17	0.12	1.32	1.32	0.29	1.26	0.16	0.08	1.29	0.34	1.32	1.28	26.82	
35	1.42	1.75	1.18	1.30	1.31	1.44	0.25	0.37	0.22	1.40	0.23	0.16	0.18	0.09	1.27	0.23	0.09	1.34	0.18	0.34	1.31	1.19	1.37	1.25	1.20	1.14												