



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MÉXICO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**CENTRO INTERAMERICANO DE RECURSOS DEL AGUA**



---

# **MODELO HIDROGEOMÁTICO DE INDICADORES SISTÉMICOS PARA LA GESTIÓN INTEGRADA DE RECURSOS HÍDRICOS**

## **T E S I S**

Que para obtener el grado de

### **DOCTOR EN CIENCIAS DEL AGUA**

P R E S E N T A

### **M. EN C.A. LUIS RICARDO MANZANO SOLÍS**

**DR. EN C.A. MIGUEL ANGEL GÓMEZ ALBORES**

Tutor académico

**DR. CARLOS DÍAZ DELGADO**

Tutor adjunto

**DR. CARLOS ALBERTO MASTACHI LOZA**

Tutor adjunto

Toluca, México

Julio de 2017

---

## ÍNDICE GENERAL

	<i>Página</i>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b>	9
<b>ÍNDICE DE TABLAS</b>	15
<b>SIGLAS Y ACRÓNIMOS</b>	17
<b>RESUMEN</b>	19
<b>1. INTRODUCCIÓN</b>	21
1.1. ANTECEDENTES	22
<b>1.1.1. Implementación de la gestión integrada de recursos hídricos como paradigma de gestión sostenible del agua</b>	22
<b>1.1.2. Empleo de la hidrogeomática e indicadores sistémicos para la gestión integrada de recursos hídricos</b>	
1.1.2.1 Hidrogeomática	28
1.1.2.2. Indicadores sistémicos	32
1.1.2.3. Uso integrado de hidrogeomática e indicadores sistémicos	35
<b>1.1.3. Análisis estructural</b>	38
1.2. JUSTIFICACIÓN CONTEXTUAL Y CIENTÍFICA	41
1.3. HIPÓTESIS	43
1.4. OBJETIVOS	43
<b>1.4.1. Objetivo general</b>	43
<b>1.4.2. Objetivos específicos</b>	43
<b>2. MARCO TEÓRICO-CONCEPTUAL</b>	45
2.1. SUSTENTO TEÓRICO Y SU APLICACIÓN	45
<b>2.1.1. Teoría general de sistemas</b>	45
<b>2.1.2. Desarrollo sostenible</b>	48
<b>2.1.3. Gestión integrada de recursos hídricos</b>	53
2.2. MARCO CONCEPTUAL DE LOS MODELOS METODOLÓGICOS QUE DAN APLICABILIDAD AL SUSTENTO TEÓRICO	59
<b>2.2.1. Planeación estratégica</b>	59
<b>2.2.2. Análisis estructural de sistemas</b>	67
<b>2.2.3. Indicadores sistémicos</b>	68

<b>2.2.4. Proceso hidrogeomático</b>	72
<b>3. MATERIALES Y MÉTODOS</b>	74
3.1. INICIO DEL PROCESO DE PLANEACIÓN	76
<b>3.1.1. Caracterización de la cuenca del río Nenetzingo con relación a aspectos de gestión del agua</b>	76
<b>3.1.2. Listado preliminar de los actores de interés para la GIRH en la cuenca del río Nenetzingo</b>	80
3.2. DETERMINACIÓN DE LA MISIÓN, VISIÓN, VALORES Y ASPECTOS ESTRATÉGICOS DEL PROCESO DE PLANEACIÓN	82
<b>3.2.1. Determinación de la misión</b>	82
<b>3.2.2. Determinación de la visión</b>	82
<b>3.2.3. Determinación de los valores</b>	82
<b>3.2.4. Determinación del compromiso</b>	83
<b>3.2.5. Determinación de aspectos estratégicos del proceso de planeación</b>	83
3.3. ANÁLISIS DE LA SITUACIÓN	83
<b>3.3.1. Análisis estructural de sistemas</b>	84
3.3.1.1. Inventariado de variables	84
3.3.1.2. Descripción de la relación entre variables	85
3.3.1.3. Identificación de las variables clave	88
<b>3.3.3. Método hidrogeomático</b>	95
3.3.3.1. Análisis de requerimientos	96
3.3.3.2. Diseño conceptual	96
3.3.3.3. Diseño lógico	96
3.3.3.4. Diseño físico	97
3.3.3.5. Realimentación	97
<b>3.3.4. Identificación de estrategias</b>	98
3.4. SELECCIÓN DE ESTRATEGIAS	98
3.5. ELABORACIÓN DEL PLAN DE GIRH	99
<b>4. RESULTADOS</b>	101
4.1. INICIO DEL PROCESO DE PLANEACIÓN	101

<b>4.1.1. Caracterización de la cuenca del río Nenetzingo con relación a aspectos de gestión del agua</b>	101
4.1.1.1. Localización	101
4.1.1.2. Marco hidrológico-administrativo regional al que pertenece la cuenca del río Nenetzingo	104
4.1.1.3. Población	109
4.1.1.4. Clima	112
4.1.1.5. Uso de suelo y vegetación	117
4.1.1.6. Recursos hídricos	119
4.1.1.7. Servicios hídricos	126
4.1.1.8. Vulnerabilidad y riesgos por cuestiones hídricas	130
4.1.1.9. Aspectos de gestión del agua identificados en la caracterización de la cuenca del río Nenetzingo	132
<b>4.1.2. Listado preliminar de los actores de interés para la GIRH en la cuenca del río Nenetzingo</b>	133
<b>4.2. MISIÓN, VISIÓN, VALORES, COMPROMISO Y ASPECTOS ESTRATÉGICOS DEL PROCESO DE PLANEACIÓN</b>	136
<b>4.2.1. Misión</b>	136
<b>4.2.2. Visión</b>	136
<b>4.2.3. Valores</b>	137
<b>4.2.4. Compromiso</b>	139
<b>4.2.5. Aspectos estratégicos del proceso de planeación</b>	140
<b>4.3. ANÁLISIS DE LA SITUACIÓN</b>	142
<b>4.3.1. Análisis estructural del sistema de gestión del agua de la cuenca del río Nenetzingo</b>	142
4.3.1.1. Inventariado de variables del sistema	142
4.3.1.2. Descripción de la relación entre variables	145
4.3.1.3. Identificación de las variables clave	147
<b>4.3.2. Identificación de indicadores para evaluar las variables clave</b>	153
<b>4.3.3. Método hidrogeomático</b>	155
4.3.3.1. Análisis de requerimientos	155

4.3.3.2. Diseño conceptual	156
4.3.3.2.1. <i>Indicador de no acceso a agua (INAA)</i>	157
4.3.3.2.2. <i>Indicador de ocurrencia de sequía (IOS)</i>	157
4.3.3.2.3. <i>Indicador de disponibilidad natural de agua (IDNA)</i>	158
4.3.3.2.4. <i>Indicador de descargas en cuerpos de agua o barrancas (IDCAB)</i>	159
4.3.3.2.5. <i>Indicador de cambio de superficie de bosque (ICSB)</i>	159
4.3.3.2.6. <i>Indicador de densidad de viviendas (IDV)</i>	160
4.3.3.2.7. <i>Indicador de distribución de la ocurrencia de deslizamientos de tierra (IDODT)</i>	161
4.3.3.2.8. <i>Indicador de no acceso a refrigerador (INAR)</i>	162
4.3.3.2.9. <i>Indicador de no cobro por agua potable (INCAP)</i>	164
4.3.3.2.10. <i>Indicador de disponibilidad de pozo comunitario (IDPC)</i>	164
4.3.3.2.11. <i>Indicador de crecimiento del acceso a servicio sanitario (ICASS)</i>	165
4.3.3.2.12. <i>Indicador de crecimiento del acceso a servicio de agua y drenaje (ICASAD)</i>	166
4.3.3.2.13. <i>Tasa de mortalidad por enfermedades diarreicas agudas (TMEDAS)</i>	167
4.3.3.2.14. <i>Índice de marginación (IM)</i>	167
4.3.3.2.15. <i>Indicador de cambio en la superficie agrícola (ICSA)</i>	174
4.3.3.2.16. <i>Indicador de viviendas con fuente de agua externa (IVFAE)</i>	175
4.3.3.3. Diseño lógico	175
4.3.3.3.1. <i>Simbología hidrogeomática usada</i>	175
4.3.3.3.2. <i>Modelos hidrogeomáticos</i>	176
4.3.3.3.3. <i>Base de datos geoespaciales de entrada</i>	192
4.3.3.3.4. <i>Base de datos geoespaciales de salida</i>	197
4.3.3.4. Diseño físico	199
4.3.3.5. Realimentación	213

<b>4.3.4. Identificación de estrategias</b>	214
4.4. SELECCIÓN DE ESTRATEGIAS	219
4.5. ELABORACIÓN DEL PLAN DE GIRH	220
<b>5. DISCUSIÓN</b>	222
<b>6. CONCLUSIONES Y RECOMENACIONES</b>	225
<b>7. REFERENCIAS</b>	228
7.1. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	228
7.2. REFERENCIAS EN INTERNET	240
7.3. FUENTES DE DATOS GEOESPACIALES	241
<b>ANEXO 1</b>	243
<b>ANEXO 2</b>	253
<b>ANEXO 3</b>	259
<b>ANEXO 4</b>	269
<b>ANEXO 5</b>	275
<b>ANEXO 6</b>	284

## ÍNDICE DE FIGURAS

	<i>Página</i>
<b>Figura 2.1.</b> Interacciones entre el desarrollo económico, ambiental y social	50
<b>Figura 2.2.</b> Brecha existente entre el concepto teórico y práctico del desarrollo sostenible	51
<b>Figura 2.3.</b> Principales orientaciones que impulsan realizar un proceso de GIRH	56
<b>Figura 2.4.</b> Propuesta de diseño de sistemas de Gigch (2006) (rectángulos blancos) y su analogía con el proceso de GIRH (rectángulos grises)	64
<b>Figura 2.5.</b> Analogía entre el proceso genérico de un sistema (rectángulos blancos) y el esquema FiPEIR (rectángulos grises)	70
<b>Figura 3.1.</b> El proceso de GIRH	74
<b>Figura 3.2.</b> Procedimiento para desarrollar la investigación	75
<b>Figura 3.3.</b> Representación de la forma que se modeló la dinámica del sistema hídrico en la cuenca del río Nenetzingo	85
<b>Figura 3.4.</b> Aplicación informática <i>Llena MID</i> , para el llenado de la matriz de influencia directa	87
<b>Figura 3.5.</b> Ejemplo de gráfica de la relación influencia-dependencia de las variables	89
<b>Figura 3.6.</b> Procedimiento y criterios para la identificación de indicadores para evaluar las variables clave	95
<b>Figura 4.1.</b> Ubicación de la cuenca del río Nenetzingo en el contexto hidrológico nacional	101
<b>Figura 4.2.</b> Ubicación de la cuenca del río Nenetzingo en el contexto político-administrativo nacional	102
<b>Figura 4.3.</b> Ubicación de la cuenca del río Nenetzingo en el contexto político-administrativo municipal del Estado de México	103
<b>Figura 4.4.</b> Localización geográfica de la cuenca del río Nenetzingo, configuración de su río principal y localidades que incluye	104
<b>Figura 4.5.</b> Contexto y aporte de la cuenca del río Nenetzingo a la Región hidrológico-administrativa IV Balsas	105

<b>Figura 4.6.</b> Distribución porcentual de los volúmenes concesionadas para usos del agua en la Región IV Balsas para el 2012	106
<b>Figura 4.7.</b> Recaudación por extracción, uso o aprovechamiento de aguas nacionales en la Región IV Balsas para el 2012. Arriba del uso se ubica el dinero recaudado, en millones de pesos, y debajo el porcentaje que esta cantidad representa respecto a la recaudación total de la región	108
<b>Figura 4.8.</b> Número de habitantes en las localidades dentro de la cuenca del río Nenetzingo para el año 2010	110
<b>Figura 4.9.</b> Grado de marginación 2010 en las localidades de la cuenca del río Nenetzingo	111
<b>Figura 4.10.</b> Climas presentes en la cuenca del río Nenetzingo según la clasificación climática de Köppen-García (García, 1987) y con datos de temperatura y precipitación del periodo 1960-2010	113
<b>Figura 4.11.</b> Temperatura media anual en la cuenca del río Nenetzingo	114
<b>Figura 4.12.</b> Precipitación total anual en la cuenca del río Nenetzingo	115
<b>Figura 4.13.</b> Comportamiento mensual de la temperatura y la precipitación en la cuenca del río Nenetzingo	116
<b>Figura 4.14.</b> Uso de suelo y vegetación en la cuenca del río Nenetzingo en 2011	118
<b>Figura 4.15.</b> Hidrología superficial de la cuenca del río Nenetzingo	120
<b>Figura 4.16.</b> Perfil longitudinal del río Nenetzingo	122
<b>Figura 4.17.</b> Curva hipsométrica de la cuenca del río Nenetzingo	123
<b>Figura 4.18.</b> Origen del agua que conduce el canal que la lleva a la zona urbana del municipio de Ixtapan de la Sal, la cual además constituye la cabecera municipal	124
<b>Figura 4.19.</b> Aprovechamiento del agua subterránea en la cuenca del río Nenetzingo a junio de 2014	126
<b>Figura 4.20.</b> Porcentaje de viviendas particulares habitadas sin servicio de agua en las localidades de la cuenca del río Nenetzingo para el 2010	127
<b>Figura 4.21.</b> Porcentaje de viviendas particulares habitadas sin servicio sanitario en las localidades de la cuenca del río Nenetzingo para el 2010	129



<b>Figura 4.22.</b> Porcentaje de viviendas particulares habitadas sin servicio de drenaje en las localidades de la cuenca del río Nenetzingo para el 2010	130
<b>Figura 4.23.</b> Modelo de la dinámica del sistema hídrico para el uso doméstico del agua, reto de incrementar el abastecimiento de agua potable	144
<b>Figura 4.24.</b> Ejemplo de valores contenidos en las matrices de influencia (3a) directa (MID), (3b) indirecta (MII), (3c) indirecta estandarizada (MIIE) y (3d) total (MIT) del sistema de gestión del agua de la cuenca del río Nenetzingo	146
<b>Figura 4.25.</b> Clasificación de la relación influencia-dependencia de las variables del sistema de gestión del agua de la cuenca del río Nenetzingo, a partir de la MIT	148
<b>Figura 4.26.</b> Simbología geomática básica usada para modelar los indicadores sistémicos de la gestión del agua en la cuenca del río Nenetzingo	176
<b>Figura 4.27.</b> Modelo hidrogeomático del indicador de no acceso a agua (INAA) a nivel localidad	177
<b>Figura 4.28.</b> Modelo hidrogeomático del indicador de no acceso a agua (INAA) a nivel de cuenca o subcuenca	177
<b>Figura 4.29.</b> Modelo hidrogeomático del indicador de ocurrencia de sequías (IOS) a nivel de cuenca o subcuenca	178
<b>Figura 4.30.</b> Modelo hidrogeomático del indicador de disponibilidad natural de agua (IDNA) a nivel de cuenca o subcuenca	179
<b>Figura 4.31.</b> Modelo hidrogeomático del indicador de descargas en cuerpos de agua o barrancas (IDCAB) a nivel de localidad	179
<b>Figura 4.32.</b> Modelo hidrogeomático del indicador de descargas en cuerpos de agua o barrancas (IDCAB) a nivel de cuenca o subcuenca	180
<b>Figura 4.33.</b> Modelo hidrogeomático del indicador de cambio de superficie de bosque (ICSB) a nivel de cuenca o subcuenca	180
<b>Figura 4.34.</b> Modelo hidrogeomático del indicador de densidad de viviendas (IDV) a nivel de cuenca o subcuenca	181
<b>Figura 4.35.</b> Modelo hidrogeomático del indicador de distribución de ocurrencia de deslizamientos de tierra (IDODT) a nivel de localidad	182

<b>Figura 4.36.</b> Modelo hidrogeomático del indicador de distribución de ocurrencia de deslizamientos de tierra (IDODT) a nivel de cuenca	182
<b>Figura 4.37.</b> Modelo hidrogeomático del indicador de no acceso a refrigerador (INAR) a nivel de localidad	183
<b>Figura 4.38.</b> Modelo hidrogeomático del indicador de no acceso a refrigerador (INAR) a nivel de cuenca	183
<b>Figura 4.39.</b> Modelo hidrogeomático del indicador de no cobro por agua potable (INCAP) a nivel localidad	184
<b>Figura 4.40.</b> Modelo hidrogeomático del indicador de no cobro por agua potable (INCAP) a nivel cuenca	184
<b>Figura 4.41.</b> Modelo hidrogeomático del indicador disponibilidad de pozo comunitario (IDCP) a nivel localidad	185
<b>Figura 4.42.</b> Modelo hidrogeomático del indicador disponibilidad de pozo comunitario (IDCP) a nivel cuenca	185
<b>Figura 4.43.</b> Modelo hidrogeomático del indicador de crecimiento del acceso a servicio sanitario (ICASS) a nivel localidad	186
<b>Figura 4.44.</b> Modelo hidrogeomático del indicador de crecimiento del acceso a servicio sanitario (ICASS) a nivel cuenca	186
<b>Figura 4.45.</b> Modelo hidrogeomático del indicador de crecimiento del acceso a servicio de agua y drenaje (ICASAD) a nivel localidad	187
<b>Figura 4.46.</b> Modelo hidrogeomático del indicador de crecimiento del acceso a servicio de agua y drenaje (ICASAD) a nivel cuenca	187
<b>Figura 4.47.</b> Modelo hidrogeomático de la tasa de mortalidad por enfermedades diarreicas agudas (TMEDAS) a nivel localidad	188
<b>Figura 4.48.</b> Modelo hidrogeomático de la tasa de mortalidad por enfermedades diarreicas agudas (TMEDAS) a nivel cuenca	188
<b>Figura 4.49.</b> Modelo hidrogeomático del índice de marginación (IM) a nivel localidad	189
<b>Figura 4.50.</b> Modelo hidrogeomático del índice de marginación (IM) a nivel cuenca	190

<b>Figura 4.51.</b> Modelo hidrogeomático del indicador de cambio en la superficie agrícola (ICSA) a nivel cuenca	191
<b>Figura 4.52.</b> Modelo hidrogeomático del indicador de viviendas con fuente de agua externa (IVFAE) por localidad	191
<b>Figura 4.53.</b> Modelo hidrogeomático del indicador de viviendas con fuente de agua externa (IVFAE) por cuenca	192
<b>Figura 4.54.</b> Indicador de no acceso a agua (INAA) a nivel localidad	201
<b>Figura 4.55.</b> Indicador de no acceso a agua (INAA) a nivel subcuencas	201
<b>Figura 4.56.</b> Indicador de ocurrencia de sequías (IOS) a nivel de subcuencas	202
<b>Figura 4.57.</b> Indicador de disponibilidad natural de agua (IDNA) a nivel de subcuencas	202
<b>Figura 4.58.</b> Indicador de descargas en cuerpos de agua o barrancas (IDCAB) a nivel de localidad	203
<b>Figura 4.59.</b> Indicador de descargas en cuerpos de agua o barrancas (IDCAB) a nivel de subcuencas	203
<b>Figura 4.60.</b> indicador de cambio de superficie de bosque (ICSB) a nivel subcuencas	204
<b>Figura 4.61.</b> Indicador de densidad de viviendas (IDV) a nivel de subcuenca	204
<b>Figura 4.62.</b> Indicador de distribución de ocurrencia de deslizamientos de tierra (IDODT) a nivel de localidad	205
<b>Figura 4.63.</b> Indicador de distribución de ocurrencia de deslizamientos de tierra (IDODT) a nivel de subcuencas	205
<b>Figura 4.64.</b> Indicador de no acceso a refrigerador (INAR) a nivel de localidad	206
<b>Figura 4.65.</b> Indicador de no acceso a refrigerador (INAR) a nivel de subcuencas	206
<b>Figura 4.66.</b> Indicador de no cobro por agua potable (INCAP) a nivel localidad	207
<b>Figura 4.67.</b> Indicador de no cobro por agua potable (INCAP) a nivel subcuencas	207

<b>Figura 4.68.</b> Indicador disponibilidad de pozo comunitario (IDCP) a nivel localidad	208
<b>Figura 4.69.</b> Indicador disponibilidad de pozo comunitario (IDCP) a nivel subcuencas	208
<b>Figura 4.70.</b> Indicador de crecimiento del acceso a servicio sanitario (ICASS) a nivel localidad	209
<b>Figura 4.71.</b> Indicador de crecimiento del acceso a servicio sanitario (ICASS) a nivel subcuencas	209
<b>Figura 4.72.</b> Indicador de crecimiento del acceso a servicio de agua y drenaje (ICASAD) a nivel localidad	210
<b>Figura 4.73.</b> Indicador de crecimiento del acceso a servicio de agua y drenaje (ICASAD) a nivel subcuencas	210
<b>Figura 4.74.</b> Índice de marginación (IM) a nivel localidad	211
<b>Figura 4.75.</b> Índice de marginación (IM) a nivel subcuencas	211
<b>Figura 4.76.</b> Indicador de cambio en la superficie agrícola (ICSA) a nivel cuenca	212
<b>Figura 4.77.</b> Indicador de viviendas con fuente de agua externa (IVFAE) por localidad	212
<b>Figura 4.78.</b> Indicador de viviendas con fuente de agua externa (IVFAE) por subcuencas	213

## ÍNDICE DE TABLAS

	<i>Página</i>
<b>Tabla 2.1.</b> Reseña de la evolución de idea, concepto y medios de la GIRH	54
<b>Tabla 3.1.</b> Capas base de SIG para generar algunas figuras mostradas en el capítulo de Resultados	77
<b>Tabla 3.2.</b> Criterios para categorizar los elementos del modelo de la dinámica del sistema hídrico	93
<b>Tabla 3.3.</b> Criterios de categorización según Áreas de planeación y articulación estratégica (AEPA)	93
<b>Tabla 4.1.</b> Evaluación de la calidad del agua superficial según el porcentaje de sitios de monitoreo en una condición dada respecto al total de sitios	109
<b>Tabla 4.2.</b> Habitantes en localidades de la cuenca del río Nenetzingo para el año 2010	110
<b>Tabla 4.3.</b> Presencia de población en la cuenca del río Nenetzingo que habla alguna lengua indígena	112
<b>Tabla 4.4.</b> Superficie absoluta y relativa de los usos de suelo y vegetación presentes en la cuenca del río Nenetzingo en 2011	117
<b>Tabla 4.5.</b> Caracterización fisiográfica de la cuenca del río Nenetzingo	121
<b>Tabla 4.6.</b> Caracterización del río Nenetzingo.	122
<b>Tabla 4.7.</b> Valores identificados como necesarios para el logro de la misión y visión	138
<b>Tabla 4.8.</b> Variables del sistema de gestión del agua en la cuenca del río Nenetzingo	145
<b>Tabla 4.9.</b> Clasificación de las variables de la MIT para conocer la estructura del sistema de gestión del agua de la cuenca del río Nenetzingo	149
<b>Tabla 4.10.</b> Variables clave del sistema de gestión del agua en la cuenca del río Nenetzingo	151
<b>Tabla 4.11.</b> Indicadores identificados para evaluar las variables clave del sistema de gestión del agua en la cuenca del río Nenetzingo	154
<b>Tabla 4.12.</b> Indicadores componentes del índice de marginación	168

<b>Tabla 4.13.</b> Valor medio y desviación estándar para cada uno de los indicadores ocupados en la ecuación 4.23	172
<b>Tabla 4.14.</b> Valor del coeficiente para calcular la primera componente principal para cada uno de los indicadores ocupados en la ecuación 4.24	173
<b>Tabla 4.15.</b> Categorización del índice de marginación	174
<b>Tabla 4.16.</b> Estructura y condiciones de la tabla de entrada “Viviendas”	193
<b>Tabla 4.17.</b> Estructura y condiciones de la tabla de entrada “Población”	194
<b>Tabla 4.18.</b> Estructura y condiciones de la tabla de entrada “Servicios públicos”	195
<b>Tabla 4.19.</b> Estructura y condiciones de la tabla de entrada “Deslizamientos de tierra”	195
<b>Tabla 4.20.</b> Estructura y condiciones de la tabla asociada a la capa vectorial de sequía mensual	196
<b>Tabla 4.21.</b> Capas raster necesarias para el cálculo de algunos indicadores sistémicos	196
<b>Tabla 4.22.</b> Estructura y condiciones de la tabla asociada a la capa vectorial de localidades con los indicadores sistémicos	197
<b>Tabla 4.23.</b> Estructura y condiciones de la tabla asociada a la capa vectorial de cuencas con los indicadores sistémicos	198
<b>Tabla 4.24.</b> Relación de grado de influencia de las variables clave del sistema de gestión del agua de la cuenca del río Nenetzingo y valor de los indicadores sistémicos en las subcuencas	215
<b>Tabla 4.25.</b> Programas para el plan de GIRH de la cuenca del río Nenetzingo	220

## SIGLAS Y ACRÓNIMOS

<b>AEPA</b>	Áreas Estratégicas de Planeación y Articulación.
<b>BDG</b>	Base de datos geoespaciales.
<b>CAEM</b>	Comisión del Agua del Estado de México.
<b>CEPANAF</b>	Comisión Estatal de Parques Naturales y la Fauna.
<b>CIRA</b>	Centro Interamericano de Recursos del Agua.
<b>CONAGUA</b>	Comisión Nacional del Agua.
<b>CONAPO</b>	Consejo Nacional de Población.
<b>CRI-UAEM</b>	Centro de Recursos Idrisi, Universidad Autónoma del Estado de México.
<b>EDAS</b>	Enfermedades Diarreicas Agudas.
<b>ESRI</b>	<i>Environmental Systems Research Institute.</i>
<b>FiPEIR</b>	Fuerza impulsora, Presión, Estado, Impacto y Respuesta.
<b>FODA</b>	Fortalezas, Oportunidades, Debilidades y Amenazas.
<b>GIRH</b>	Gestión Integrada de Recursos Hídricos.
<b>GPS</b>	<i>Global Positioning System.</i>
<b>GVF</b>	<i>Goodness of variance fit.</i>
<b>GWP</b>	<i>Global Water Partnership.</i>
<b>ICASAD</b>	Indicador de crecimiento del acceso a servicios de agua y drenaje.
<b>ICASS</b>	Indicador de crecimiento del acceso a servicio sanitario.
<b>ICSA</b>	Indicador de cambio en la superficie agrícola.
<b>ICSB</b>	Indicador de cambio en la superficie de bosque.
<b>IDCAB</b>	Indicador de descargas en cuerpos de agua o barrancas.
<b>IDNA</b>	Indicador de disponibilidad natural de agua.
<b>IDODT</b>	Indicador de distribución de la ocurrencia de deslizamientos de tierra.
<b>IDPC</b>	Indicador de disponibilidad de pozo comunitario.
<b>IDV</b>	Indicador de densidad de viviendas.
<b>IM</b>	Índice de Marginación.
<b>IMTA</b>	Instituto Mexicano de Tecnología del Agua.
<b>INAA</b>	Indicador de no acceso a agua.

<b>INAR</b>	Indicador de no acceso a refrigerador.
<b>INCAP</b>	Indicador de no cobro por agua potable.
<b>INEGI</b>	Instituto Nacional de Estadística y Geografía.
<b>INSP</b>	Instituto Nacional de Salud Pública.
<b>IOS</b>	Indicador de ocurrencia de sequía.
<b>IVFAE</b>	Indicador de viviendas con fuente de agua externa.
<b>MICMAC</b>	Matriz de Impactos Cruzados, Multiplicación Aplicada a una Clasificación.
<b>MID</b>	Matriz de Influencia Directa.
<b>MII</b>	Matriz de Influencia Indirecta.
<b>MIT</b>	Matriz de Influencia Total.
<b>MNA</b>	Modelo Numérico de Altitud.
<b>NADM</b>	<i>North American Drought Monitor.</i>
<b>ONU</b>	Organización de las Naciones Unidas.
<b>OPDAPAS</b>	Organismo Público Descentralizado para la Prestación de los Servicios de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento.
<b>PEIR</b>	Presión, Estado, Impacto y Respuesta.
<b>PROBOSQUE</b>	Protectora de Bosques del Estado de México.
<b>REPDA</b>	Registro público de aguas.
<b>SEDAGRO</b>	Secretaría de Desarrollo Agropecuario.
<b>SIG</b>	Sistema de Información Geográfica.
<b>SINAIS</b>	Sistema Nacional de Información en Salud.
<b>SRTM</b>	<i>Shuttle Radar Topography Mission.</i>
<b>TMEDAS</b>	Tasa de mortalidad por enfermedades diarreicas agudas.
<b>USGS</b>	<i>United States Geological Survey.</i>



## RESUMEN

Ante la situación general de escasez que guardan los recursos hídricos en México y el mundo, su proceso de gestión sostenible es un objetivo prioritario de gobiernos y usuarios. La gestión integrada de recursos hídricos (GIRH) ofrece una visión sistémica y un proceso de planeación estratégica participativa para lograr este cometido. La GIRH ha sido estudiada e implementada en varias zonas del mundo, resultando en debates sobre su definición y utilidad; pero también destacando la necesidad actual de apuntar la investigación hacia la gobernanza del agua y promover su implementación a nivel local.

El objetivo de la presente investigación fue elaborar un modelo hidrogeomático que empleara indicadores sistémicos para apoyar la elaboración de un Plan de Gestión Integrada de Recursos Hídricos de la cuenca del río Nenetzingo.

Las fases generales de un proceso de GIRH consisten en (1) inicio del proceso, (2) visión, (3) análisis de la situación, (4) selección de estrategias, (5) elaboración de un plan de GIRH, (6) implementación del plan y (7) evaluación y seguimiento. El presente documento expone la forma en que se identificaron indicadores sistémicos para realizar la fase de análisis de la situación para la GIRH. Posteriormente, con los indicadores se desarrollaron modelos hidrogeomáticos para implementarlos en la cuenca del río Nenetzingo, entre los municipios de Ixtapan de la Sal y Villa Guerrero, Estado de México.

El modelo hidrogeomático dio un contexto espacial a los indicadores sistémicos, con la finalidad de poner de relieve la necesidad de considerar el rubro espacial en la toma de decisiones. Es decir, en la cuenca existieron contrastes espaciales entre los indicadores, los cuales se consideraron en el proceso de planeación. De esta forma, se obtuvieron aspectos estratégicos que sirvieron como insumo para la elaboración de un plan de GIRH para esta cuenca.

El proceso de GIRH orientó el desarrollo de la investigación. Durante la fase de análisis de la situación se realizó un análisis de sistemas, alimentado por información generada en entrevistas semiestructuradas como instrumento participativo. La información de las entrevistas se simplificó con el análisis estructural (MICMAC), con la finalidad contar con

un modelo del sistema que fuera manejable, pero representativo de la gestión del agua en la cuenca. Con este modelo se reconocieron y priorizaron estrategias. Dichas estrategias fueron evaluadas y convertidas en los rubros necesarios para elaborar el plan de GIRH de la cuenca.

Las fases de implementación y seguimiento y evaluación del plan de GIRH quedaron fuera el objetivo de la investigación, por lo tanto, no se desarrollaron.

El modelo del sistema de gestión del agua de la cuenca de río Nenetzingo generado es sistémico, holístico y, además, evalúa desde las perspectivas del desarrollo sostenible y el marco de Fuerza impulsora, presión, estado, impacto y respuesta (FiPEIR). El modelado derivó en 49 indicadores sistémicos, de los cuales 27 se identificaron como claves en el funcionamiento del sistema hídrico. Esto permitió visualizar las relaciones entre aspectos de FiPEIR, y así proponer estrategias sostenibles para mitigar las fuerzas impulsoras y presiones, mejorar o conservar el estado y optimizar las respuestas. Finalmente, es posible la réplica del procedimiento, sobre todo en lo que se refiere al proceso hidrogeomático.

## 1. INTRODUCCIÓN

Hoy en día existen diversos paradigmas de gestión del agua, algunos promisoriamente sostenibles y otros carentes de la visión de sostenibilidad. Aquellos que no tienen como base la búsqueda del desarrollo sostenible para el bienestar social, se enfocan más en la gestión de la oferta (Cap-Net *et al.*, 2005, Díaz-Delgado *et al.*, 2009, Mollard y Vargas, 2009); en cambio, los que buscan ser sostenibles proponen un enfoque con mayor orientación hacia la gestión de la demanda, pero aún son pocos los casos de éxito en este sentido (Cap-Net *et al.*, 2005a; Cap-Net, 2008; Cisneros, 2008; Díaz-Delgado *et al.*, 2009; Kauffer, 2005; López, 2005; Mejía y Kauffer, 2008; Mollard y Vargas, 2009; Ortiz y Espinosa, 2009; Pacheco-Vega y Vega, 2008; Pérez *et al.*, 2009; Pineda, 2008; Romero *et al.*, 2005; Sandoval y Navarrete, 2005; Santacruz, 2005; Soares *et al.*, 2009).

Es un hecho que el paradigma actual de uso y gestión del agua, donde el usuario cumple de manera exclusiva dicho papel, va a cambiar a mediano o largo plazo por algún otro. Entre los paradigmas de gestión del agua que se han propuesto pueden ocurrir, se encuentran aquellos que se basan en la privatización del vital líquido, donde los que tengan el control sobre el agua también tendrán el poder, y el nivel de acceso a dicho recurso va a depender de las posibilidades económicas de quien la requiera. Otro paradigma tiene que ver con luchas estratégicas por el acceso y propiedad del agua, donde los ganadores tengan el poder sobre el líquido y los perdedores dependan para su supervivencia de quien domine su administración. Estos paradigmas que carecen del carácter de sostenibilidad no son deseables, pero son posibles si continúa la falta de interés de los usuarios del agua por asegurar el recurso para su bienestar y el de sus descendientes.

Un paradigma adicional es la Gestión Integrada de Recursos Hídricos (GIRH), la cual fomenta el desarrollo sostenible para el bienestar duradero de la población a partir del involucramiento y corresponsabilidad de distintos actores en la gestión del agua, incluyendo a los usuarios. Este paradigma cuenta con sólidos sustentos teóricos que se han desarrollado desde el siglo pasado, sin embargo, su aplicación práctica se ha visto limitada por diversas circunstancias, entre ellas las políticas, sociológicas, culturales, económicas y tecnológicas, por lo que, aún hoy en día, se le considera por algunos gestores como una propuesta de reciente creación y aún en evolución.

Si a lo anterior se le agrega el hecho de que más allá de un conjunto de etapas generales de planeación estratégica, la GIRH no cuenta con una ruta trazada para su planificación, realización e implementación específica en territorios diferenciados por las condiciones que lo conforman, entonces es factible comprender por qué en México no se ha desarrollado en la práctica, y más bien sólo se aprecia en la legislación y normatividad general o en estudios de amplia cobertura territorial que consideran como uniformes a las cuencas y regiones hidrológicas que abarcan.

En su conjunto, esta situación brinda la oportunidad de realizar propuestas, como la presente, donde se plantea trabajar en un marco hidrogeomático con indicadores desde una perspectiva sistémica de la gestión del agua, empleando el SIG como una herramienta clave en la adquisición, gestión, análisis y difusión de información del territorio, y fomentando la participación de los actores interesados en la gestión sostenible del líquido para, en su conjunto, generar un Plan de Gestión Integrada de Recursos Hídricos.

## 1.1. ANTECEDENTES

### **1.1.1. Implementación de la gestión integrada de recursos hídricos como paradigma de gestión sostenible del agua**

La situación actual que guardan los recursos hídricos en muchas cuencas de México y el mundo, es resultado de los patrones no sostenibles de gestión del agua de muchos años previos. Hasta hace algunas décadas, la forma de administración del agua en la mayor parte de los países, incluido México, reflejaba una relación estática, que se creía duraría para siempre, en la que las personas sólo tuvieran el papel único y exclusivo de usuarios del vital líquido y en el que las agencias gubernamentales fueran las encargadas de su obtención, control, manejo y suministro.

En años recientes, ante escenarios cada vez más adversos en los que ha fracasado el modelo preponderante de manejo del agua, se ha incrementado la participación de la población en la gestión de sus recursos hídricos. Es decir, ha pasado a ser una relación dinámica con los tradicionalmente encargados de la administración del agua, en busca de innovaciones en la gestión que permitan mitigar la tasa de disminución de disponibilidad y a la vez mejorar las condiciones de vida de la población. Este nuevo escenario aparece simple y sencillamente

por una razón fundamental: el agua es vida, directa e indirectamente, y las personas tienen que buscar la forma de organizarse para asegurar el vital líquido. Sin embargo, esta situación ha expuesto deficiencias de gobernanza del agua, pues aún son incipientes las estructuras, procesos e interacciones necesarias para la integración, a la par de las diversas instituciones gubernamentales, de los grupos de interés no gubernamentales de la sociedad y sector privado en la toma de decisiones consensadas en temas del ámbito público, y que se reflejen como una verdadera visión común y colaborativa de los sistemas políticos, sociales, económicos y administrativos para la gestión sostenible del agua (Domínguez, 2012; Guerrero-de León, 2010; Martínez y Reyna, 2013).

De hecho, y de acuerdo con el trabajo expuesto por Domínguez (2012), entre los aspectos necesarios para consolidar la gobernanza del agua se encuentran la búsqueda de adecuados: marcos legales, arreglos institucionales, coordinación y transversalidad de la política hídrica, participación de los actores sociales, búsqueda de consensos, acceso a la información, transparencia y rendición de cuentas, y el reconocimiento de los conocimientos, usos y costumbres comunitarios de la gestión del agua.

Es un hecho que el uso del agua no se puede realizar sin que se impacte en alguna medida su calidad o cantidad, el problema radica en que esta afectación empeora cuando hay malas prácticas de gestión o ausencia de regulación en un entorno que poco favorece el uso sostenible del recurso (Cap-Net *et al.*, 2005).

Un esquema de gestión sostenible del agua es la GIRH, que promueve la Asociación Mundial del Agua (Global Water Partnership, GWP), uno de los principales grupos internacionales que ha adoptado esta visión, y que la definen como una *aproximación que ayuda a gestionar y desarrollar los recursos hídricos de una manera sostenible y balanceada, tomando en cuenta los intereses sociales, económicos y ambientales* (GWP e INBO [International Network of Basin Organizations], 2009: 10).

El aspecto básico de la GIRH, que da realce a su enfoque sistémico, es considerar los múltiples usos del recurso hídrico como interdependientes, y para que la gestión sea integrada, entonces todos los usos deben de ser considerados en conjunto (Cap-Net *et al.*, 2005). Sin embargo, esto conlleva a otro aspecto clave del proceso: la gestión de los intereses

ligados a los usos, normalmente en un ambiente de conflicto entre ellos (Cap-Net *et al.*, 2005), es decir, atender la lucha de intereses y puntos de vista que compiten.

En México, la implementación de la GIRH es el esquema de gestión de agua que se debe aplicar según la Ley de Aguas Nacionales, que opera desde 1992 y cuya más reciente reforma data de 2013. Dicha ley tiene como marco el desarrollo sostenible para establecer a la GIRH como *prioridad y asunto de seguridad nacional* (Congreso de la Unión, 2008: 10). Sin embargo, su implementación dista mucho de ser la idónea, ya que en su elaboración sólo se consideraron procesos macro y no funcionamientos locales de la gestión del agua, por lo que, principalmente a causa de falta de recursos económicos y humanos capacitados, prácticamente muchos municipios del país no operan bajo el esquema que plantea la ley en cuestión.

Uno de los principales problemas que obstruye la adecuada implementación de la Ley de Aguas Nacionales, es apreciar y administrar el agua como un bien de propiedad federal, a pesar de que la constitución y dicha ley la consideran como un bien nacional (Ortiz y Espinosa, 2009), generando así una limitante para la integración de la federación con las instituciones estatales, municipales y las organizaciones locales que buscan participar en su gestión, sobre todo en un marco que de origen carece de esquemas y reglas de coordinación entre los distintos actores necesarios para una efectiva GIRH (Pacheco-Vega y Vega, 2008), donde además, el límite de cuenca sea la que conduzca la interacción y no los límites políticos. En su conjunto, la situación descrita ha propiciado que las instituciones se encuentren desfasadas de la visión, misión, conceptos y espíritu que tiene dicha ley (Soares *et al.*, 2009).

De acuerdo con Pineda (2008), en México aún prevalecen los criterios políticos sobre el manejo del agua, mismos que se aprecian en la acelerada rotación de directivos en materia de agua, siguiendo principalmente los intereses de los dirigentes de gobierno (la falta de continuidad de las administraciones en los tres órdenes de gobierno –municipal, estatal y federal– constituye un freno a los procesos de gestión, pues prácticamente con cada nueva administración se inicia el proceso de GIRH desde cero), la aplicación de tarifas populistas o electoreras por el servicio de agua y la ausencia de sanciones a quien no paga por dicho servicio.

Otro aspecto fundamental para asegurar el éxito de un proceso de GIRH es la participación social, fundamentalmente ciudadanía y usuarios del agua; sin embargo, tal parece que la experiencia de Pacheco-Vega y Vega (2008) para el caso de México no expresa resultados alentadores al respecto, ya que indican que esto no se ha logrado del todo, ni en los consejos de cuenca, ni en los organismos de cuenca que define la Ley de Aguas Nacionales. De forma puntual, Pacheco-Vega y Vega (2008: 81) expresan que los usuarios de agua y las organizaciones no gubernamentales son incorporados en el proceso de política pública con ausencia de participación real y, más bien, suelen ser sólo *elementos decorativos*. De acuerdo con estos autores, esta situación denota el deseo del Estado de mantener una posición de privilegio en la gestión del agua del país. Lo anterior tiene que ver con uno de los problemas que identifican Mollard y Vargas (2009) respecto a la implementación de la GIRH, y que es el papel inseparable del administrador-político para la toma de decisiones en los esquemas de gobierno occidental, donde lo político generalmente tiene un mayor peso en la toma de decisiones, dando preferencia a acciones que dan realce para avanzar en el escalafón del escenario político, las cuales no siempre comulgan con el desarrollo sostenible.

Un estudio realizado por Soares *et al.* (2009) en la cuenca del río Amacuzac, establece que la gente de esa zona de estudio percibe que la solución a los problemas hídricos que los aquejan tiene que ver con acciones de información y orientación para generar conciencia del manejo sostenible del agua, por lo que ven fundamental el acceso a la información y conocimiento sobre cómo se maneja el agua en la región y como usarla eficientemente. Si se analiza este par de apreciaciones, se tiene que las mismas son elementos indispensables para incentivar la participación informada de la sociedad en la gestión sostenible de sus recursos hídricos.

En el polo opuesto se encuentra la experiencia de Sandoval y Navarrete (2005), quienes han identificado que en la cuenca Lerma-Chapala un problema que debilita la gestión integrada del agua es la falta de interés de los usuarios del líquido, a quienes identifican como actores clave, pues son ellos quienes conocen las problemáticas puntuales que hay que resolver entorno al adecuado uso del líquido; pero también exponen el hecho de que aún existen autoridades hídricas que no aprecian como necesaria esta participación, argumentando poca representatividad y falta de conocimiento en ellos.

De forma general, y con base en su investigación, López (2005) afirma que una situación que ha frenado el proceso de GIRH en algunas cuencas del país, ha sido el variado nivel de conocimientos e integración de los usuarios agrícolas del agua respecto a gestores. Hasta cierto punto la situación descrita es de esperarse, y no sólo con los usuarios agrícolas, sino con todos los usuarios del agua en una cuenca, ya que los perfiles de cada uno es distinto, y entrar en la dinámica de la GIRH sin un plan de trabajo concreto y un grupo facilitador, se traduce en un desorden, pérdida de orientación y corresponsabilidad, así como de falta de interés con el paso del tiempo. Por ello, es imperante brindar una propuesta que estandarice un proceso que permita apreciar el territorio de una cuenca como un sistema de elementos interconectados, en la que se tome en consideración esta heterogeneidad de usuarios y sus intereses, de forma tal que se pueda replicar en las distintas cuencas del país.

Con la finalidad de subsanar estas y otras cuestiones relacionadas con la efectividad en la implementación de la GIRH bajo el auspicio de la Ley de Aguas Nacionales, Ortiz y Espinosa (2009: 37) ofrecen una interesante reflexión que resalta el paso que consideran falta dar en materia de legislación para una efectiva GIRH en México, al exponer que *la ley no lo es todo: proporciona el marco legislativo que un estado de derecho requiere para fundamentar su quehacer y actuar, pero hace falta implementarla y reglamentarla adecuadamente, estas dos cuestiones requieren de una alta voluntad política de los actores involucrados en su aplicación y son al parecer, una tarea pendiente o incipiente a la fecha.*

Evidentemente, en México la implementación de la GIRH está en proceso, ello explica los resultados logrados a la fecha y permite vislumbrar lo que falta por lograr. A nivel internacional, la situación es similar a lo que ocurre en México en aquellos países que han decidido optar por la GIRH: están pasando de lo teórico a lo práctico. La Red Mundial de Desarrollo de Capacidades para la GIRH (Cap-Net, 2008) postula que si bien es cierto que la GIRH ha sido aceptada de forma generalizada, también es verdad que su implementación ha sido complicada, y esta situación la atribuyen a dificultades de índole institucional, política, económica, estructural, material y de actitud ante este paradigma.

Para Antao *et al.* (2005), uno de los principales retos para que la GIRH se materialice en muchos países, es reducir la brecha existente entre las políticas creadas a partir de razonamientos teóricos y su aplicación en situaciones reales. Aún hoy en día, según lo



afirman Mollard y Vargas (2009: 114), *la GIRH nunca se ha planteado elaborar un mapa de ruta sobre cómo arribar a ella, ni tampoco un esquema rígido de pasos a seguir*, por lo que han existido distintas vertientes que buscan su implementación, algunas simplistas y otras demasiado complejas. Esta situación ha sido tal vez una de las razones por las que su implementación total no ofrece muchos casos de éxito; sin embargo, se justifica por el hecho que cada cuenca tiene tanto características que la diferencian como aquellas que la asimilan con otras cuencas.

Además, la experiencia de algunos autores (Cap-Net, 2008; López, 2005; Soares *et al.*, 2009; Sandoval y Navarrete, 2005) reitera que es necesario crear bases sólidas para la participación de la sociedad en la gestión del agua.

Soares *et al.* (2009: 229) tras su experiencia sobre las percepciones sobre el agua en la cuenca del río Amacuzac, México, llegan a una conclusión que coincide con agrupaciones que impulsan el esquema de GIRH (GWP y Latin America Water, Education and Training Network [LA-WetNet]), misma que se considera como fundamental y tiene que ver con la manera de concebir el agua y sus estrategias de manejo, ya que éstas últimas *son una de las causas que conforman la problemática de los recursos hídricos más difíciles de subsanar, pues implica cambios en los patrones culturales; sin embargo, es una de las más relevantes, pues daría sustentabilidad a las estrategias planteadas para sortear la problemática en el largo plazo.*

De hecho, Soares *et al.* (2009) identifican que, ante el ya difícil reto de ampliar la participación social en la gestión integrada del agua, se suma el desafío de descifrar una amplia gama de intereses en torno al recurso y asegurar que todos esos intereses queden representados. Para ello, Soares *et al.* (2009: 218) proponen conocer *los tipos de relaciones sociales que los sujetos sociales establecen entre sí, con la naturaleza y con el resto de la sociedad*, ya que esto permitirá identificar aquellos elementos de la cultura que contribuyan a los fines de la GIRH.

Como conclusión a este apartado, se presenta la postura de Mollard y Vargas (2009), quienes resumen y facilitan la interpretación de lo que es la GIRH mediante la perspectiva de la misma, indicando que se trata de un enfoque de gestión de la demanda del agua entre distintos

sectores o usuarios, que tiene como unidad territorial la cuenca hidrográfica y considera la participación social como un mecanismo central de actuación.

### **1.1.2. Empleo de la hidrogeomática e indicadores sistémicos para la gestión integrada de recursos hídricos**

#### 1.1.2.1 Hidrogeomática

La Geomática se refiere al conjunto de actividades que tiene que ver con la recogida, tratamiento, procesamiento y análisis de datos del territorio para generar información y conocimientos útiles en la gestión del mismo, integrando para ello distintas disciplinas y ciencias relacionadas con el estudio del territorio, y empleando diversas herramientas, técnicas y tecnologías para tal fin. Entre las tecnologías propias de la Geomática más empleadas que reporta la literatura (Ascough *et al.*, 2002; Giacomelli, 2006; Kumar *et al.*, 2006; McKinney *et al.*, 1999; Sugumaran y DeGrote, 2011; Weiner *et al.*, 2002) para el estudio del territorio se encuentran los Sistemas de Información Geográfica (SIG), programas computacionales para el tratamiento de imágenes de percepción remota y Sistemas de Posicionamiento Global (GPS, por sus siglas en inglés).

La palabra hidrogeomática agrega a la raíz griega *hidro* (agua) el término Geomática. Por lo anterior, se puede decir que la Hidrogeomática es la Geomática aplicada al estudio del recurso agua. El marco de trabajo hidrogeomático contempla actividades más allá del manejo de los datos en el SIG, pues debe tratar con la forma de adquirirlos, prepararlos para su uso, analizarlos y difundirlos de la mejor manera posible, apoyándose para ello en las distintas tecnologías afines mencionadas (SIG, GPS y Percepción remota). A continuación se mencionan algunos ejemplos de trabajo en un marco hidrogeomático.

En 1999 McKinney *et al.*, realizaron una investigación respecto a las herramientas de modelado de cuencas y sistemas de apoyo para la toma de decisiones en gestión del agua desde una perspectiva integradora de las vertientes física, ambiental y económica de una cuenca, llegando a la conclusión de que aquellos que emplean SIG lucen ser los más potentes porque esta tecnología permite la integración de información de distintas fuentes y su análisis desde la perspectiva espacial. Sin embargo, las herramientas que analizaron sólo consideran las relaciones directas entre los componentes del medio físico y las decisiones naturales y

económicas, sin tomar en cuenta relaciones indirectas entre dichos componentes. Es decir, estos modelos se enfocan en el funcionamiento del sistema hídrico, pero no para gestión integrada del agua, sino para evaluar impactos sobre dicho sistema y para determinar la distribución del agua con base en distintas variables tanto hidrológicas como de otra índole.

Wilson *et al.* (2000) en una revisión que realizaron sobre la contribución de los SIG en la generación, gestión y distribución de datos referidos espacialmente, así como en las herramientas disponibles en este tipo de sistemas para su empleo en modelos hidrológicos y sistemas de apoyo a la toma de decisiones en recursos hídricos, identificaron que la ciencia que soporta a los SIG ha jugado un papel importante en el desarrollo de modelos hidrológicos distribuidos y en la mejora del entendimiento de aspectos espaciales de la distribución y movimiento del agua en el territorio.

Con el objetivo de identificar las principales herramientas de gestión de cuencas en Lituania, Madsen *et al.* (2005) hallaron que los SIG se integraron con herramientas como la de modelado hidrológico MIKE, sobre todo para resolver temas relacionados con la distribución de agua, operación de reservorios y las relaciones entre carga de contaminantes y la calidad del agua superficial a nivel de cuenca hidrológica desde una perspectiva de causa y efecto, de tal forma que pueden ser construidos modelos conceptuales para el entendimiento de las relaciones causales entre las presiones humanas al recurso hídrico y la calidad del agua.

Niederer *et al.* en 2005 presentaron el diseño conceptual de lo que sería un sistema espacial de apoyo a la toma de decisiones en materia de GIRH para los países de la zona del Mediterráneo, construido con software de código abierto y libre. Dicho sistema contaría con herramientas de visualización geográfica y modelado ambiental, así como con un módulo de análisis multicriterio para ayudar en la elaboración de planes de gestión del agua a partir de escenarios “que pasaría si...”.

En 2012 dicho sistema estaba aún en construcción (*Zero Outflow Municipality [Zer0-M]*, 2012), bajo el nombre de “*The Zer0-m Decision Support System for Sustainable Water Management*” (Sistema de apoyo a la toma decisiones para la gestión sostenible del agua Zer0-m), centrado en la construcción de obras para distribución de agua superficial y tratamiento de aguas residuales, y entre las funcionalidades con que cuenta son un servidor de mapas, la entrada de datos técnicos para el diseño de alternativas hidráulicas y una

herramienta de evaluación de las alternativas a través de tres modelos, uno socio-cultural (aceptación y satisfacción de la alternativa), uno económico (costo de la alternativa) y uno ambiental (condiciones del medio físico para su realización).

Si bien se trata de un buen esfuerzo, dicho sistema (Zer0-M, 2012) presenta cada evaluación por separado y carece de una evaluación integrada, es decir, ponderada; mientras por otra parte, es para uso exclusivo de la zona para la que se creó, por lo que no se puede alimentar con datos de algún otro territorio. Finalmente, por ahora sólo se centra en la parte de desarrollo de infraestructura hidráulica, quedando lejos de un verdadero enfoque de GIRH, como es su intención, es decir, evaluando distintas problemáticas (inundaciones, escasez, cultura del agua, entre otros) e intereses que se presentan en un entorno para la gestión sostenible del agua.

Abu-Zeid y Albadawy, en 2007, presentaron su desarrollo de sistema de apoyo a la toma de decisiones sobre una plataforma de SIG para la GIRH de la región mediterránea en general, y cada país que la integra, en particular; sin embargo, dicho desarrollo es un simple visualizador de capas geográficas con un par de herramientas, una de balance de agua en el suelo de Maidment (en Abu-Zeid y Albadawy, 2007) y la otra que agrupa funciones de operaciones raster para hidrología, como delineado de cuencas, acumulación de flujo y pendientes, entre otras. Se trata de un esfuerzo enfocado más al entorno físico y administrativo, pero no considera elementos de gestión, sociales, demográficos, económicos o algún otro necesario para la GIRH, por lo que se puede decir que el SIG no modela el sistema hídrico de gestión, y no se puede considerar como un sistema completo de apoyo a la toma de decisiones para la GIRH.

Convencido de que el modelado integrado complejo puede apoyar en la toma de decisiones relacionadas con los recursos hídricos, a la vez que la información multidisciplinaria es necesaria para el análisis de estrategias y la evaluación de sus efectos mediante indicadores, Assimacopoulos (2012) empleó los SIG como una herramienta fundamental para el desarrollo de su sistema integrado de apoyo a la toma de decisiones en cuanto a problemas encontrados en las regiones áridas y semiáridas de Grecia, sobre todo los relacionados con disponibilidad y demanda de agua. Para cumplir con este objetivo, el autor (Assimacopoulos, 2012) empleó ArcGIS y su entorno de programación para desarrollar el núcleo de su sistema.

Lo que hace el sistema, es que dados nuevos puntos para la posible generación de obras hidráulicas, toma información de distintas capas temáticas precargadas y analiza la factibilidad económica, natural, ambiental y social de dichas obras, evaluando la alternativa contra otras posibilidades de obras que pudieran cumplir el mismo objetivo.

La institución de México que está a la vanguardia en el desarrollo de aplicaciones hidrogeomáticas es la Universidad Autónoma del Estado de México; sin embargo, dichos desarrollos tienen aplicaciones particulares en la hidrología, fundamentalmente a manera de repositorios y visualizadores de datos hidrológicos y geográficos para proyectos aislados relacionados con calidad y cantidad del agua (Quentin *et al.*, 2004; Guerra-Cobián, 2006; Centro de Recursos Idrisi México, 2013), y sólo en el Centro Interamericano de Recursos del Agua de la Universidad Autónoma del Estado de México existen algunos desarrollos (Quentin *et al.*, 2003; Franco-Plata, 2008; Gómez, 2005, Manzano, 2007, Quentin, *et al.*, 2007) con el propósito específico de ser aplicados a la GIRH, es decir, que analizan datos desde diversas vertientes, como demográfica, hidrológica y de salud, con una visión integradora para brindar mejores respuestas en la gestión sostenible del agua.

Ya en 2003 Quentin *et al.* destacaban la importancia de la hidrogeomática para facilitar y mejorar el análisis y modelado de la relación entre variables hídricas y estadísticas epidemiológicas, gracias a la capacidad de los SIG de almacenar datos cualitativos y cuantitativos y modelarlos en un contexto espacial. En su caso específico, analizaron la correlación entre datos de calidad del agua de las fuentes de abastecimiento doméstico con datos de salud de comunidades rurales y lo expresaron a manera de mapas para resaltar patrones espaciales.

Las experiencias analizadas (Abu-Zeid y Albadawy, 2007; Assimacopoulos, 2012; Madsen *et al.*, 2005; McKinney *et al.*, 1999; Niederer *et al.*, 2005; Wilson *et al.*, 2000) permiten apreciar que la principal aplicación que se hace de la Geomática aplicada a cuestiones hídricas se basa en los SIG, el cual es usado como una herramienta para armado de bases de datos geográficas, almacenamiento de atributos, creación de mapas y su distribución de forma impresa, por multimedia o a través de la internet; aunque también se emplean estos paquetes computacionales para el análisis espacial y temporal de los datos, mediante las herramientas propias de los sistemas o implementando nuevas herramientas en los mismos.

En cuanto a las temáticas abordadas, por lo complejo que puede llegar a ser el sistema hídrico y de gestión del agua, en la mayoría de los casos las investigaciones mencionadas se enfocaron en aspectos específicos del proceso de gestión (distribución de agua, inundaciones, descargas), sobre todo desde el aspecto físico, y no en la gestión integrada, que es el marco de trabajo en que se presentan.

#### 1.1.2.2. Indicadores sistémicos

Los indicadores han sido empleados en distintas etapas de la valoración del ambiente, evolucionando el marco en que se desarrollan con la finalidad de brindar un panorama lo más sistémico posible del mismo. Así por ejemplo, inicialmente se emplearon los indicadores biológicos como un medio de medir los impactos ambientales o la salud de los ecosistemas (Bell y Morse, 2008), en una segunda etapa se pasó a la medición del estado del ambiente a través del análisis de su biodiversidad para, posteriormente, incluir más dimensiones en esta medición, apreciando el ambiente ya como un sistema de elementos interrelacionados. Este último marco de trabajo evolucionó (Bell y Morse, 2008) de indicadores simples de Estado- Presión, pasando por los de Fuerzas Impulsoras-Estado-Respuesta, Fuerzas impulsoras-Estado-Impacto-Respuesta, y hasta llegar a uno más completo (al menos hasta la fecha), que es el de Fuerzas impulsoras-Presión-Estado-Impacto-Respuesta (FiPEIR).

La Organización de las Naciones Unidas (ONU) emplea indicadores para medir el desarrollo sostenible de las naciones. En este sentido, utilizó ampliamente en la década de los noventa indicadores en un marco de trabajo de Fuerza Impulsora-Estado-Respuesta (FiER), el cual abandonó a mediados de la primera década de este siglo para seguir trabajando con indicadores, pero ahora en un marco de temas (entre ellos pobreza, gobernanza y salud) y subtemas (como ingreso, pobreza esperanza de vida, entre otros) (Bell y Morse, 2008). Es un hecho que la ONU llegó a estos indicadores de temas y subtemas al identificar del marco de trabajo anterior los principales indicadores para medir el desarrollo sostenible, también es una realidad que no desechó el marco de FiER por no ser útil, sino porque ya no fue funcional según su objetivo de medir siempre ciertos aspectos básicos del desarrollo sostenible con un conjunto de indicadores bien definidos, a los que se llegó tras años de experiencia con los marcos de trabajo anteriores.

Entre los antecedentes de proyectos que trabajaron en un marco de indicadores FiPEIR para modelar la realidad territorial que apoyara a la toma de decisiones, se tienen los que se resumen a continuación.

Antao *et al.* en 2005 propusieron un esquema de trabajo para identificar políticas de GIRH en la cuenca Arade, Portugal, a partir de una perspectiva de dinámica de sistemas, para lo cual aplicaron el análisis de cadena causal a la gestión del agua, expresándolo a través del marco de trabajo conocido como Fuerza impulsora-Presión-Estado-Impacto-Respuesta (FiPEIR), el apoyo de modelos para la construcción de escenarios y su evaluación mediante el método de análisis Fortalezas-Oportunidades-Debilidades-Amenazas (FODA), y aplicando el Proceso Analítico de Jerarquías (AHP, por sus siglas en inglés) para la definición de las mejores alternativas de gestión, a partir de las cuales se propondrían las mejores políticas identificadas.

Además, Antao *et al.* (2005) emplearon un marco de trabajo participativo, incluyendo a toda la comunidad de la cuenca, expertos y autoridades en talleres y reuniones de discusión, apoyándose para ello de un equipo de trabajo interdisciplinario.

La perspectiva de sistemas les permitió apreciar al recurso hídrico y su gestión como un sistema de elementos interconectados y con relaciones entre ellos; con el análisis de cadena causal definieron la forma de relación entre los componentes del sistema, siendo algunos causa y otros efecto; con el esquema FiPEIR clasificaron cada uno de los componentes y sus interrelaciones según su relación causal y con lo que se definieron indicadores base para tener parámetros cuantitativos y cualitativos de evaluación del sistema, todo ello en su conjunto se modeló con la herramienta de modelado STELLA, la cual permitió recrear distintos escenarios, a cuyas condiciones aplicaron el análisis FODA para dar una dirección general al proceso de planeación, identificando para cada escenario fortalezas y debilidades, así como oportunidades y amenazas (Antao *et al.*, 2005).

Por último, ante las diversas opciones para la planeación que surgieron, el proceso de análisis de jerarquías les permitió priorizar las que cumplieron diversos criterios para asegurar su efectiva implementación, entre ellos, las consideraciones del medio natural, la opinión de la población y los expertos y el marco legal que regula la actuación. En su experiencia los autores (Antao *et al.*, 2005) no emplearon geotecnologías para recolectar, almacenar o

analizar la información territorial de la cuenca, y más bien trabajaron con base en la información que fue surgiendo en los talleres y reuniones, así como con el análisis de los expertos que participaron en el proyecto.

A pesar de que Antao *et al.* (2005) identificaron que la metodología para implementar el marco de trabajo de FiEIR en un proceso de toma de decisiones no es clara, ni única, como lo demuestra su falta de implementación fuera del campo de la elaboración de reportes del Estado del Ambiente, la emplearon en su investigación para la identificación de estrategias de GIRH.

Sgobbi y Giupponi (2007), para facilitar y estructurar su modelado participativo, emplearon la aproximación de FiPEIR, el cual consideran hace explícito las cadenas causales que relacionan las actividades humanas con el estado del ambiente, lo que permite esquematizar vínculos causales entre componentes sociales, económicos y ambientales que interactúan entre sí y que son relevantes para la gestión de los recursos hídricos. Para Sgobbi y Giupponi (2007), el esquema de FiPEIR es una herramienta útil para el modelado participativo, ya que ofrece una estructura simple para compartir mapas cognitivos individuales de un sistema y así llegar a una visión compartida de un problema.

Rojas *et al.* (2007), con el propósito de diagnosticar las condiciones sanitarias básicas en el Distrito de Imperial, en Lima, Perú, emplearon un conjunto de indicadores en un marco de trabajo de Presión-Estado-Impacto-Respuesta, tomado del Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA). Los autores (Rojas *et al.*, 2007) decidieron emplear este conjunto de indicadores porque los consideraron apropiados para visualizar la vinculación entre causas de los problemas ambientales, la situación del Distrito de Imperial, los efectos de ambas condiciones sobre la salud y calidad de vida de la población, y las políticas e iniciativas para hacer frente al conjunto de problemas detectados. No obstante que el trabajo de Rojas *et al.* (2007) significa un buen esfuerzo por realizar un análisis causal, al final no logran una completa visión del proceso contaminación-agua-salud, porque el ajustarse sólo a los indicadores establecidos por el PNUMA los limitó y no se dieron a la tarea de buscar otros indicadores con los cuales generar una visión más completa e integrada del problema que abordaron.



Un antecedente en el Estado de México sobre el empleo de indicadores para la GIRH es el trabajo de Díaz-Delgado *et al.* (2009), quienes en su guía de implementación de la GIRH emplean el esquema de indicadores de Presión-Estado-Impacto-Respuesta (PEIR) para evaluar la porción mexiquense de la cuenca del río Lerma, bajo la premisa de que dicho esquema permite expresar vínculos causa-efecto existentes entre los diferentes factores que intervienen en los procesos de un sistema hídrico, proporcionando información útil para apreciar a la cuenca como un sistema. Tras aplicar el esquema de indicadores PEIR, Díaz-Delgado *et al.* (2009) lograron analizar la situación general del curso alto de la cuenca Lerma-Chapala-Santiago y diseñar un conjunto de estrategias necesarias para buscar una GIRH efectiva en la zona de estudio.

Díaz-Delgado *et al.* (2009) decidieron emplear el esquema de indicadores de Presión-Estado-Impacto-Respuesta porque consideraron que otros esquemas de evaluación o de mediciones aisladas del territorio son desarticulados cuando se consideran las conexiones existentes entre los aspectos ambientales, económicos y sociales, dando como resultado evaluaciones fragmentadas, sesgadas o incompletas, lo que deriva en acciones de gestión aisladas, desarticuladas y, en ocasiones, contrapuestas.

Iñiguez (2010), desde la perspectiva de un organismo operador de agua en Culiacán, Sinaloa (México), empleó los indicadores para crear un sistema de valoración de uso del agua, fundamentando su propuesta en un análisis causa-efecto de la gestión del agua y en el paradigma del desarrollo sostenible, con el propósito de identificar elementos tecnológicos, socioeconómicos e institucionales necesarios para una óptima gestión del recurso hídrico. Para ello, Iñiguez (2010) adecuó 24 indicadores de PEIR de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE), la Comisión de Estudios para América Latina y el Caribe (CEPAL), el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) y el Instituto Nacional de Ecología (INE, en la actualidad INECC). La propuesta constituye una visión innovadora para el accionar del organismo operador de agua de la ciudad de Culiacán, en Sinaloa, México, en la que participa el autor (Iñiguez, 2010).

#### 1.1.2.3. Uso integrado de hidrogeomática e indicadores sistémicos

Hoy en día prácticamente no existen experiencias que trabajen en un marco hidrogeomático integrado con indicadores para la elaboración de un plan de GIRH. El caso más cercano es

el de Sgobbi y Giupponi, que en 2007 emplearon el modelado de sistemas y el esquema de indicadores de FiPEIR para generar una herramienta que apoyara la toma de decisiones de GIRH fundamentadas en la participación pública.

Entre las causas de ausencia de un marco de trabajo hidrogeomático con indicadores sistémicos, se tiene lo explicado tras la experiencia de Giacomelli (2006) respecto al empleo de datos geográficos, pues indica que para un proyecto de SIG hay que considerar y resolver el hecho de que los conjuntos de datos típicamente son complejos, voluminosos y caracterizados por heterogeneidades y discrepancias debidas a políticas de adquisición de datos, diferenciadas entre los niveles de administración gubernamental, lo que se traduce en consumo de tiempo para la conversión de datos o tareas de reprocesamiento y menor disponibilidad del mismo para el análisis de datos.

Durante el desarrollo de su trabajo con el que identificaron la relación entre calidad y cantidad de agua y salud, Quentin *et al.* (2003) enfrentaron un problema que, al menos en México sigue presente, y es muy recurrente en los proyectos hidrogeomáticos, y es el que tiene que ver con la ausencia de datos necesarios para la construcción de modelos de la realidad territorial, la dificultad para acceder a ellos y su poca calidad o consistencia.

Para Kumar *et al.* (2006), existe una relación directamente proporcional entre estar limitado en el almacenamiento, procesamiento, representación, búsqueda, comunicación o visualización de datos e información, y la reducción de la capacidad del analista para formular y probar hipótesis, así como para realizar predicciones sustentadas; lo que implica que la visión científica se ve reducida debido al empleo de datos fragmentados o reducidos. De hecho, Newton *et al.* (2011) consideran que las aproximaciones sistémicas para la planificación y gestión de la conservación requieren información explícitamente espacial respecto a la dinámica de los múltiples procesos de perturbaciones al ambiente; sin embargo, también indican que a la fecha la disponibilidad de dicha información es limitada.

En un estudio para la GIRH se emplearán datos de diversa índole, y conforme el número de variables consideradas y el volumen de datos sea cada vez mayor, es importante usar tecnologías que sustenten su correcta utilización, ello con la intención de resolver tópicos que seguramente aparecerán, como son los relacionados con almacenamiento, representación, búsqueda, comunicación, visualización de datos e información, y generación

de conocimiento (Kumar *et al.*, 2006). En este sentido, la hidrogeomática ofrece la alternativa de reducir dicho consumo de tiempo con la estandarización de algunas tareas para así enfocarse más al análisis.

De hecho, desde 1998, Jordan y Shrestha, conscientes de que más datos generan mayor información y a la vez mejora la toma de decisiones, empleaban la geomática para obtener datos relativamente más rápido y con una precisión aceptable. Además, el trabajo de Kumar *et al.* (2006), vislumbra que los SIG son una tecnología clave en el diseño de modelos de datos, sobre todo de aquellos que son referenciados a las localizaciones sobre el territorio. En este sentido, los autores consideran que los SIG han dejado de ser herramientas de conversión y visualización de datos en mapas a soluciones completas para la gestión y análisis de datos.

A manera de conclusión general de los antecedentes, se tiene que un análisis desde la perspectiva histórica y evolutiva de las experiencias expuestas en este capítulo pone de manifiesto que la integración de la hidrogeomática con indicadores para la GIRH ha transitado distintas etapas, pasando del uso del SIG como una herramienta horizontal (general) para extraer parámetros para el modelado hidrológico o como repositorios de datos (McKinney *et al.*, 1999; Quentin *et al.*, 2003; Quentin *et al.*, 2004; Wilson *et al.*, 2000), a desarrollos verticales (específicos) para distintas disciplinas dedicadas al estudio del territorio, empleando para ello un marco de trabajo geomático (Franco-Plata *et al.*, 2006; Gómez, 2005; Guerra-Cobián, *et al.*, 2006; Madsen *et al.*, 2005; Niederer *et al.*, 2005).

Tras exitosas experiencias de trabajo de gestión del territorio bajo un enfoque geomático, hoy en día la Hidrogeomática se ve como una buena alternativa para ser aplicada en la GIRH (Manzano, 2007; Quentin *et al.*, 2007), integrando para ello una perspectiva sistémica con indicadores, los cuales han sido reconocidos como una excelente herramienta para simplificar el proceso de creación de planes de GIRH (Díaz-Delgado *et al.*, 2009; Íñiguez, 2010; Rojas *et al.*, 2007). Lo anterior expone una excelente oportunidad para llevar a buen término el diseño y elaboración de planes de GIRH con un marco de trabajo hidrogeomático con indicadores sistémicos (Manzano, 2007; Quentin *et al.*, 2007; Sgobbi y Giupponi, 2007), puesto que la hidrogeomática permite la integración de otras herramientas para el estudio del sistema hídrico, como lo son los indicadores, la automatización de procesos preestablecidos

para generar nueva información y hasta llegar a herramientas de apoyo a la toma de decisiones (Abu-Zeid y Albadawy, 2007; Assimacopoulos, 2012).

### **1.1.3. Análisis estructural**

De acuerdo con Godet (1994), el objetivo principal del análisis estructural es conocer la estructura de las relaciones entre las variables que caracterizan un sistema. Este tipo de análisis permite tener una representación amplia del sistema estudiado y, posteriormente, reducir la complejidad de esa primera representación a sus variables esenciales, denominadas, variables clave.

Son diversos los antecedentes sobre el empleo del análisis estructural. Aunque, se usa en distintos ámbitos como estudios sociales, desarrollo de software, cadenas de abastecimiento y sistemas de manufactura, su aplicación en la GIRH no es manifiesta. Debido a lo anterior, el presente documento se centra en los antecedentes de su aplicación en aspectos de gestión del territorio.

Así, por ejemplo, y ante la falta de una perspectiva sistémica en la toma de decisiones en el ámbito turístico, Aledo, *et al.* (2008) emplearon el análisis estructural con la finalidad de realizar un análisis sistémico del sector turístico residencial en la Costa Blanca (Alicante, España), e identificar así sus componentes clave. Con el apoyo de un panel de expertos obtuvieron un primer listado de 85 variables, mismas que fueron jerarquizadas por su importancia o protagonismo para tomar sólo las primeras 24. Sus resultados les permitieron plantear que, si se desea actuar sobre una de las variables del sistema, antes se debe valorar si se obtiene el mismo resultado actuando sobre las variables clave. Así mismo, que cuando se planifique una acción sobre una variable clave, se analice las repercusiones que se tendrán sobre las variables a las que influye.

Ambrosio-Albalá *et al.* (2011) emplearon el análisis estructural para el diseño de estrategias de desarrollo en comarcas rurales. Con base en consulta de literatura y la realización de foros provinciales, definieron una lista de 33 variables. Las variables condicionantes fueron agricultura, ganadería y turismo; mientras que las variables que expresan la orientación fueron formas de asentamientos de la población y ordenación del territorio. Desde otro punto de vista, las variables que tienen tanto motricidad o influencia como dependencia

intermedios, son las que se consideran con efectos multiplicadores y, por tanto, propicios para inducir el cambio. Las variables con esta condición fueron mercado de trabajo, gestión y aprovechamiento de los recursos, industria agroalimentaria e identidad local.

Delgado-Serrano *et al.* (2015) también recurrieron al análisis estructural para describir las dinámicas rurales en España y Nicaragua, y dar así soporte a la toma de decisiones territoriales. Para ello, realizaron una revisión bibliográfica sobre desarrollo territorial rural e identificaron 24 variables. Los resultados exponen que las variables relacionadas con los principios de área, administración y financiamiento, y coordinación de políticas y estrategias son básicamente variables de entrada o de transmisión, por lo que son clave para el desarrollo y cambio en el desarrollo territorial rural.

Con el objetivo de identificar los componentes influyentes en un proceso de gestión ambiental en el canto La Concordia (Ecuador) para su manejo estratégico, Estuardo-Cevallos *et al.* (2015) hicieron uso del análisis estructural. Para ello reunieron expertos en la materia para que, en una lluvia de ideas, proporcionarán un conjunto de 81 variables del sistema. La lista se redujo a 16 variables tras la aplicación de una encuesta a expertos y actores de interés locales. Estas 16 variables fueron empleadas en el análisis estructural mediante MICMAC.

Los resultados del análisis de Estuardo-Cevallos *et al.* (2015) fueron categorizados según umbrales de planeación. De esta forma, sus variables determinantes (altamente influyentes, pero no dependientes) tendrían influencia en el tiempo en la gestión ambiental, por lo que son útiles para la planeación a largo plazo. Sus variables objetivo (altamente influyentes y dependientes) son útiles para la planeación a corto plazo. Mientras que sus variables reguladoras (medianamente influyentes y dependientes) y las variables clave (moderadamente influyentes y dependientes) permiten la planeación a corto y mediano plazo. Finalmente, sus variables resultado (poco influyentes, pero altamente dependientes) pueden ser empleadas como indicadores que exprese el resultado de las acciones tomadas en las variables previas.

Delgado-Martínez y Pantoja-Timarán (2015) se propusieron lograr una representación lo más cercana a la realidad del turismo sostenible y reducir su complejidad a las macro-variables esenciales para su investigación. Su idea fue determinar las variables que explicaran el sistema que controla la Ruta del Oro (Colombia). Para ello definieron nueve macro-variables.

Entre los resultados logrados por estos autores, destaca que las macro-variables clima, geología y geomorfología son las que dominan el sistema (las motrices), aunque prácticamente no aprecian acciones viables sobre ellas en el corto plazo. Adicionalmente, las macro-variables agua, vegetación y estructura territorial son influyentes sobre otras variables, pero al mismo tiempo influenciadas por otras tantas, por lo que las denominan variables conflicto. Finalmente, los autores denotan que las macro-variables fauna, recursos culturales y paisaje son el resultado de las dos categorías previas (motrices y conflicto), y que son las que en el corto plazo pueden manifestar resultados de una intervención, tanto sobre ellas mismas como sobre las de conflicto.

El análisis conjunto de los antecedentes presentados (Aledo, *et al.*, 2008; Ambrosio-Albalá *et al.*, 2011; Delgado-Martínez y Pantoja-Timarán, 2015; Delgado-Serrano *et al.*, 2015; Estuardo-Cevallos *et al.*, 2015) permiten establecer que si bien el análisis estructural ha probado su utilidad como instrumento de apoyo a la toma de decisiones, es necesario tener claro que la selección de las variables representativas del sistema, la identificación de las variables clave y la interpretación de sus resultados no se realiza por esquemas fijos, sino que dependen mucho del sistema bajo estudio, del enfoque de planeación y del alcance deseado en la actuación sobre las variables.

La idea anterior conduce a la principal limitante del análisis estructural, que es la subjetividad, tanto en la selección de las variables, como en la evaluación de las relaciones entre ellas (Aledo, *et al.*, 2008; Delgado-Martínez y Pantoja-Timarán, 2015; Delgado-Serrano *et al.*, 2015). Esta situación deriva en el trabajo en un entorno cualitativo, donde se requiere preparación por parte de quien usará la herramienta y compromiso por parte de los actores de interés a los que se involucrará (Ambrosio-Albalá *et al.*, 2011).

Sin embargo, estas mismas características son las que permiten que el análisis estructural sea un instrumento participativo que permita construir una visión común del sistema analizado y la inclusión en la toma de decisiones, todo en un ambiente colaborativo (Ambrosio-Albalá *et al.*, 2011; Delgado-Serrano *et al.*, 2015). Además, trae practicidad cuando la información estadística es escasa (Ambrosio-Albalá *et al.*, 2011). Finalmente, este tipo de análisis permite simplificar la complejidad del sistema analizado, ayuda a identificar y priorizar actuaciones sobre los componentes del sistema y pone de manifiesto los umbrales temporales tanto del

funcionamiento de los componentes del sistema, como de la actuación sobre ellos (Ambrosio-Albalá *et al.*, 2011; Delgado-Serrano *et al.*, 2015). Por lo tanto, queda claro que el análisis estructural no sustituye a la toma de decisiones, más bien la complementa (Estuardo-Cevallos *et al.*, 2015).

## 1.2. JUSTIFICACIÓN CONTEXTUAL Y CIENTÍFICA

Ante la necesidad de hacer frente a la actual crisis hídrica que se vive en México y el mundo, y sus repercusiones sobre el nivel de vida de la población, la GIRH ofrece un esquema de aprovechamiento sostenible del agua. Sin embargo, al tener cada cuenca hidrográfica características sociales y naturales que la diferencian de otras cuencas, y al existir en la GIRH sólo procedimientos generales para su desarrollo, pero con ausencia de procesos específicos para la creación de planes de gestión, la búsqueda de rutas de trabajo que sean adaptables a distintas situaciones territoriales (cuencas), pero al mismo tiempo genéricas, es un campo que está en pleno desarrollo. Lo anterior explica en parte la existencia de pocos casos de éxito de procesos de GIRH en el país. La presente propuesta se inserta en esta búsqueda, apoyándose en la perspectiva sistémica y el empleo de la hidrogeomática para el análisis del territorio, así como en el fomento de comunidades de gestión integrada del agua que faciliten el involucramiento de todos los actores interesados en procesos de GIRH de su territorio.

La gestión del agua influye en la forma y condición de vida de la población, de modo que si se sigue realizando bajo patrones no sostenibles, ante el agravamiento de la crisis hídrica que se vive en la actualidad, aquellos sitios bajo condiciones precarias de vida difícilmente superarán tal situación, mientras que aquellos sitios con condiciones adecuadas o aceptables de vida corren el riesgo de ver amenazada su situación.

La GIRH ha de realizarse a nivel de cuencas hidrográficas, y como los procesos que ocurren en ella no son estáticos ni uniformes en espacio y tiempo, es necesario un análisis en dichas dimensiones para identificar situaciones características y diferenciadoras, así como patrones y tendencias. En este sentido, la hidrogeomática ha empleado herramientas útiles en la realización de análisis espacio-temporales en distintos estudios en que se han aplicado, demostrando además su versatilidad para emplearse en el marco de distintas disciplinas, por lo que su aplicación en la gestión integrada de recursos hídricos es inminente, pero poco explorada y explotada. Adicionalmente, hasta ahora no se ha realizado un análisis de

indicadores sistémicos del marco FiPEIR en un entorno hidrogeomático para dinamizar el proceso de captura, procesamiento y difusión de datos.

El presente proyecto propone emplear un marco de trabajo hidrogeomático –para realizar un análisis espacial, temporal y sistémico–, combinado con el empleo de indicadores sistémicos –para alimentar la perspectiva estratégica– como soporte a procesos de elaboración de planes de GIRH, trabajo que, de acuerdo con los antecedentes expuestos, no ha sido desarrollado.

Los sólidos fundamentos teóricos-metodológicos existentes en cuanto a GIRH, modelado hidrogeomático e indicadores sistémicos, ponen de manifiesto puntos de convergencia en cuanto a su visión sistémica, la búsqueda del desarrollo sostenible y el empleo de la planeación estratégica (visión, propósito y procedimientos, respectivamente), exponiendo la factibilidad de su integración para generar un plan de GIRH, abriendo una oportunidad a su demostración práctica en esta propuesta.

Como resultado del desarrollo de la investigación, además de un procedimiento que puede ser replicable en otras cuencas (el modelo hidrogeomático con indicadores sistémicos para la GIRH), se tendrá un Plan con este paradigma de gestión sostenible del agua para la zona de estudio, el cual quedará a disposición de la comunidad. Con estos productos se generaría un caso de estudio del Centro Interamericano de Recursos del Agua para el Estado de México, el cual además dejaría las puertas abiertas a futuras investigaciones, ya sea en cuanto a la aplicación de la propuesta a otras cuencas o en cuanto al desarrollo de proyectos derivados de dicho Plan.

Tras un análisis multicriterio preliminar en el Estado de México, considerando zonas de inundación para el periodo 2000-2010, condiciones de sequía para 2003-2013 y afectaciones por enfermedades diarreicas agudas (EDAs) en 2010, respecto a condiciones de vulnerabilidad como la marginación (De la Vega, 2012) y el acceso a servicios hídricos, se obtuvo un conjunto de cuencas donde la combinación de dichas condiciones las exponían como prioritarias. Entre este conjunto de cuencas se propone trabajar la cuenca del río Nenetzingo, ubicada en el Alto Amacuzac dentro de la Región Hidrológica Balsas, para desarrollar un caso de estudio, por ser una zona donde se están desarrollando otras investigaciones de tesis de la línea de investigación de Gestión Integrada del Agua del CIRA,



ello con la finalidad de fomentar la colaboración entre los proyectos y aprovechar los vínculos existentes con los actores locales.

### 1.3. HIPÓTESIS

Un modelo hidrogeomático de indicadores sistémicos creado en un entorno participativo, permitirá modelar y analizar procesos de gestión del agua, para identificar elementos estratégicos en la búsqueda de su gestión sostenible, como una alternativa para elaborar planes de Gestión Integrada de Recursos Hídricos.

Para validar la hipótesis se recurrirá al procedimiento por estudio de caso a partir del conocimiento empírico (trabajo de campo en cuenca), la aplicación de tecnología (para análisis espacial, estadístico y estratégico) y el enfoque sistémico (ya que se recurre al análisis y diseño del sistema de gestión del agua), por lo que la investigación adquiere un carácter inductivo para llegar a planteamientos que se generalizarán, es decir, exponer la propuesta como viable para la elaboración de planes de GIRH en cualquier cuenca.

### 1.4. OBJETIVOS

#### **1.4.1. Objetivo general**

Elaborar un modelo hidrogeomático que emplee indicadores sistémicos para apoyar la elaboración de un Plan de Gestión Integrada de Recursos Hídricos de la cuenca del río Nenetzingo.

#### **1.4.2. Objetivos específicos**

- Identificar y caracterizar las problemáticas de origen hídrico que afectan recurrentemente a la cuenca del río Nenetzingo, mediante análisis en gabinete y consulta a su comunidad, para seleccionar las más relevantes y desarrollar la experiencia sobre ellas.
- Definir indicadores sistémicos empleando el esquema Fuerza impulsora-Presión-Estado-Impacto-Respuesta, para generar el modelo hidrogeomático del proceso de gestión del agua de la cuenca del río Nenetzingo.

- Elaborar un Plan de Gestión Integrada de Recursos Hídricos para la cuenca del río Nenezingo, siguiendo el esquema de la Asociación Mundial del Agua (GWP), para ponerlo a disposición de su comunidad.

## **2. MARCO TEÓRICO-CONCEPTUAL**

### **2.1. SUSTENTO TEÓRICO Y SU APLICACIÓN**

#### **2.1.1. Teoría general de sistemas**

La teoría general de sistemas es el sustento teórico general de la propuesta, y de ésta se desprende la visión sistémica del territorio, y en especial de los recursos hídricos.

Johasen (2012) considera que la Teoría General de Sistemas nació en 1925, cuando el biólogo alemán Ludwig von Bertalanffy hizo públicas sus investigaciones al respecto. En 1956 Bertalanffy (en Gigch, 2006) expresaba que existía una tendencia general hacia la integración entre las ciencias naturales y sociales, la cual podría centrarse en torno a una Teoría General de Sistemas, con aportaciones sustanciales a los campos no físicos de la ciencia, que además propiciaba la unidad de la ciencia y a la necesidad de una integración de la educación científica.

El mismo Johasen (2012) expone que la principal diferencia entre el enfoque reduccionista y la Teoría General de Sistemas es que, mientras la primera ha desarrollado el saber científico dividiendo la realidad en partes y para ser estudiada por diferentes ciencias, la Teoría General de Sistemas fomenta el trabajo inter y transdisciplinario, bajo la premisa de que *Mientras más se divide la ciencia en subgrupos y menor sea la comunicación entre las disciplinas, mayor es la probabilidad de que el crecimiento total del conocimiento sea reducido por la pérdida de comunicación relevante* (Johansen, 2012: 22).

Al respecto, y de acuerdo con Gigch (2006), el enfoque analítico, que es deductivo, es decir aplica el análisis del todo a las partes y de lo más complejo a lo más simple, para llegar de lo general a lo particular, si bien han tenido aplicación en el mundo físico, no lo es así en los ámbitos biológico, conductual y social, puesto que no explica adecuadamente aspectos como organización, mantenimiento y regulación, característicos de los sistemas vivientes, al mismo tiempo que no satisface la necesidad de un punto de vista holístico. Por lo anterior, este autor recurre al empleo de la Teoría General de Sistemas para abordar el estudio de sistemas en el ámbito organizacional.

En su definición más básica Gigch (2006: 17) indica que un sistema *es una reunión o conjunto de elementos relacionados*. Analizando la interpretación de Mateo (2005), respecto a lo que es un sistema, se tiene que éste se define como el conjunto de elementos que se encuentran en relación y con nexos entre sí, y que forman una determinada unidad e integridad como un todo complejo, único y organizado. Un par de conceptos que Johansen (2012: 54) maneja sobre lo que es un sistema son, en primer lugar, que *es un conjunto de partes coordinadas y en interacción para alcanzar un conjunto de objetivos*, y en segundo término, que *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*. Finalmente, para Godet (1994, p. 73) *Un sistema se representa en forma de un conjunto de elementos relacionados entre sí*.

De esta forma, la Teoría General de Sistemas, que propicia la formulación y derivación de aquellos principios que son válidos para los sistemas en general y su representación mediante modelos (Bertalanffy, 2006; Gigch, 2006), sustenta la visión sistémica del territorio, para que éste sea apreciado como un conjunto de elementos interrelacionados que funcionan como un todo y, por consecuencia, donde las afectaciones a alguno de sus elementos se traducen en impactos directos e indirectos al resto de elementos del sistema y al sistema como un todo. En este sentido, *Un modelo puede ser una sola lista de verificación que recuerde a los planificadores proceder en una secuencia de pasos, o puede ser una elaborada estructura matemática que represente el problema abstractamente* (Gigch, 2006: 115), pero en cualquier caso, la idea es que pueda evaluar el resultado de brindar una solución específica a un problema de sistemas.

El conjunto de conceptos comunes a todas las ciencias para conceptualizar, formalizar y comprender la realidad a través de las técnicas de modelamiento que ofrece la Teoría General de Sistemas, constituye la base metodológica de lo que en la actualidad se conoce como pensamiento sistémico (Mateo, 2005). De acuerdo con Gigch (2006), el paradigma de sistemas es el conjunto de métodos fundamentado en la Teoría General de Sistemas que conducen al diseño de sistemas.

Entonces, la visión sistémica se refiere a percibir el territorio como un conjunto de elementos sociales y naturales relacionados entre sí con la finalidad de realizar un proceso común, es

decir, como un sistema. De este modo, al estar interrelacionados los elementos se puede hablar de relaciones causa-efecto negativas y positivas, así como de realimentación, de forma tal que cualquier afectación a alguno de los componentes del sistema afectará de forma directa e indirecta al resto de componentes y al sistema como un todo. De hecho, para efectuar un análisis sistémico se emplea el método sistémico, el cual se apoya en modelos (gráficos, matemáticos, computacionales) que sean capaces de representar y hacer comprensibles los sistemas existentes en la realidad, y así formar representaciones simplificadas de dicha realidad (Mateo, 2005).

El enfoque sistémico es interdisciplinario y multidimensional porque estudia objetos integrados y sus dependencias e interacciones integrales para entender las interrelaciones entre el todo y las partes, de forma tal que pretende conocer los mecanismos de integración de los sistemas, así como sus componentes interrelacionados e interactuantes, lo cual conduce al diálogo estructurado entre saberes y disciplinas, cada una guiada por sus nociones, categorías y conceptos, por ende sin eliminar la especificidad disciplinaria, sino estructurando el pensamiento para contar con una visión más amplia, lo cual constituye la base para la complementación de los diversos saberes (Mateo, 2005).

En el mismo sentido, Gigch (2006) considera que el abordaje a la búsqueda de soluciones a un problema debe realizarse mediante un enfoque holístico, es decir, considerando la totalidad del sistema, para así evitar caer en lo que él denomina el lodazal de las pequeñas soluciones que sólo abarcan una parte del problema, las cuales están basadas en el conocimiento de una parcialidad del sistema, por lo que no consideran la interrelación e interacción entre el resto de componentes del sistema y con otros sistemas.

Johansen (2012) propone un método de análisis de sistemas que se orienta hacia la planeación para la toma de decisiones estratégicas, cuyos pasos según el autor no necesariamente se deben realizar en el orden que se presentan:

- Definición de objetivos. Del sistema como una totalidad, buscando que sean medibles y cuantificables.
- Caracterización del medio. Aquello que está fuera, que no pertenece al sistema, que se encuentra más allá de sus fronteras y que, por lo tanto, el sistema prácticamente no

tiene control sobre ello, por lo que poco o nada puede hacer para modificar sus características o conducta (Oportunidades y Amenazas del FODA).

- Evaluación de los recursos. Se trata de los recursos al interior del sistema, con los cuales se podría llevar a cabo el procesamiento en el sistema. En este caso, los recursos del sistema son todo aquello que el sistema puede cambiar o utilizar para su propia ventaja (Fortalezas y Debilidades del FODA).
- Análisis de sus componentes. Partes, que pueden ser subsistemas, a través de los cuales se llevan a cabo las acciones específicas para alcanzar sus objetivos.
- Identificación de su dirección. Es donde se generan e implementan los planes para el sistema, donde se toman las decisiones. La dirección fija los objetivos de los componentes, distribuye los recursos y controla la actuación y el comportamiento del sistema.

Simonovic (2009) tras una vasta experiencia aplicando un enfoque sistémico en sus proyectos y fomentando la Teoría General de Sistemas como parte de los cursos que forman a especialistas en recursos hídricos, está convencido de que ésta ofrece nuevas formas para formular el análisis de problemas de gestión de recursos hídricos. De forma aplicada, el enfoque sistémico ha sido empleado para la GIRH mediante el análisis de cadena causal (Antao *et al.*, 2005; Antao *et al.*, 2006; Cap-Net *et al.*, 2005b; Sgobbi y Giupponi, 2007), donde a partir de problemas concretos en temas hídricos, se busca modelar el sistema que involucra todos los componentes relacionados con las causas de dichos problemas y aquellos aspectos que se derivan a manera de consecuencias.

### **2.1.2. Desarrollo sostenible**

Bell y Morse (2003) indican que entre 1950 y 1970 las teorías sobre el desarrollo estaban enfocadas y aplicadas hacia la escala macro, a nivel de país o región continental, pero que a partir de la década de los setentas se comenzaron a emplear menos, y a partir de los ochenta se hablaba ya de un desarrollo a nivel micro, procurando llegar a los individuos, de manera tal que tomaron fuerza términos como “grupo o persona de interés” y “participación”, tras lo cual tomó impulso una teoría que proponían la integración de las dos visiones (macro y micro) en un contexto multidisciplinario, en lo que ahora se conoce como el Desarrollo sostenible.

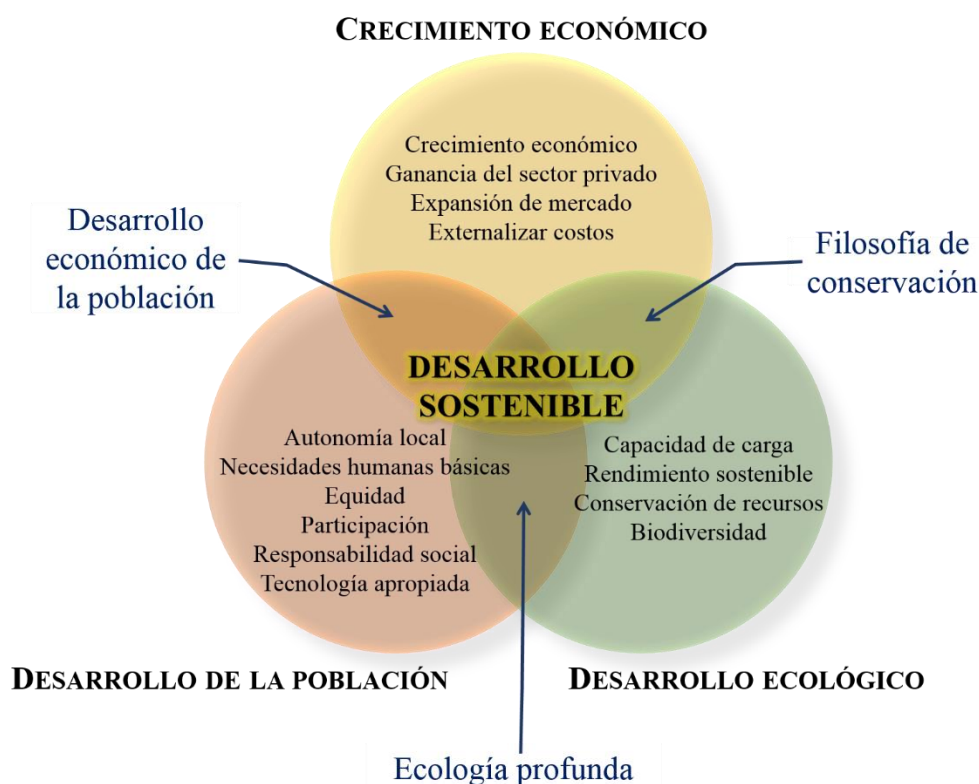
Los orígenes del desarrollo sostenible se remontan al año de 1987, cuando una comisión especial designada por la Asamblea General de la ONU, conocida como Comisión Mundial sobre Ambiente y Desarrollo, publicó el Reporte Brundtland, denominado también como “Nuestro futuro común”, en el que se expresaba que los más serios problemas ambientales a nivel mundial tenían su origen en la pobreza extrema que prevalecía en el sur del planeta, en combinación con los patrones insostenibles de producción y consumo que dominaban en el norte. De este documento se desprende la siguiente definición de desarrollo sostenible: *desarrollo que satisface las necesidades de las generaciones presentes sin comprometer la habilidad de las futuras generaciones de satisfacer sus propias necesidades* (Institut International d’Ingénierie de l’Eau et de l’Environnement [IIIEE], 2010: 34). De acuerdo con Bell y Morse (2003), la naturaleza del desarrollo sostenible es proporcionar acercamientos múltiples para mejorar las condiciones para las personas y su entorno a en cuanto a escalas, disciplinas, perspectivas y definiciones, misma que la convierte en la culminación definitiva de las teorías del desarrollo.

De acuerdo con el Reporte Brundtland (IIIEE, 2010), los tres grandes pilares interrelacionados del desarrollo sostenible son:

- La economía, que establece la cooperación internacional con los países en desarrollo para combatir la pobreza, la modificación de los patrones de producción y consumo, promoviendo acuerdo entre el norte y el sur, e incorporando elementos del Desarrollo sostenible en el proceso de toma de decisiones.
- El ambiente, que considera la reducción de la contaminación, la lucha contra la deforestación, la desertificación y la sequía, protegiendo la biodiversidad, los bosques y las montañas, promoviendo la agricultura y salud ambientalmente amigables y protegiendo todos los recursos naturales.
- Aspectos sociales, asegurando el acceso a servicios de salud y educación, luchando contra la pobreza y hambrunas, mejorando las condiciones de vida, combatiendo la explotación de niños y fortaleciendo los grupos sociales mediante su organización.

Bell y Morse (2003) retoman estos tres pilares para expresar que una política, acción o proyecto necesita concebirse, proponerse e implementarse en el punto donde se intersectan los tres pilares, para así considerar todos sus propósitos en conjunto, ya que de lo contrario,

se estaría realizando un desarrollo que no puede ser considerado sostenible (Figura 2.1). Así por ejemplo, atender sólo los rubros de economía y ambientales conducen a la conservación del ambiente, pero que no genera beneficio social, entonces la población exigirá mejorar sus condiciones; por otro lado, considerar el rubro económico y de beneficio a la población implicaría un crecimiento económico de la población a costa del ambiente, a tal punto que llegará un momento en que los recursos naturales serán insuficientes para sostener el beneficio social y económico; y, por último, sólo dar prioridad a los aspectos ambientales y sociales expresa una profunda preocupación de la sociedad por conservar el ambiente, pero que no genera crecimiento económico alguno, lo que se puede traducir en atrasos en otros ámbitos, como tecnológico, político y económico.



**Figura 2.1.** Interacciones entre el desarrollo económico, ambiental y social.  
Fuente: Bell y Morse (2003).

Es importante destacar que no basta sólo la visión sistémica, sino que hay que emplearla con un propósito, en el caso de la gestión del territorio, desde la década de los noventa se emplea con el propósito de lograr un desarrollo integrado de las vertientes social, ambiental y económica de los territorios, mismo que se conoce como desarrollo sostenible.

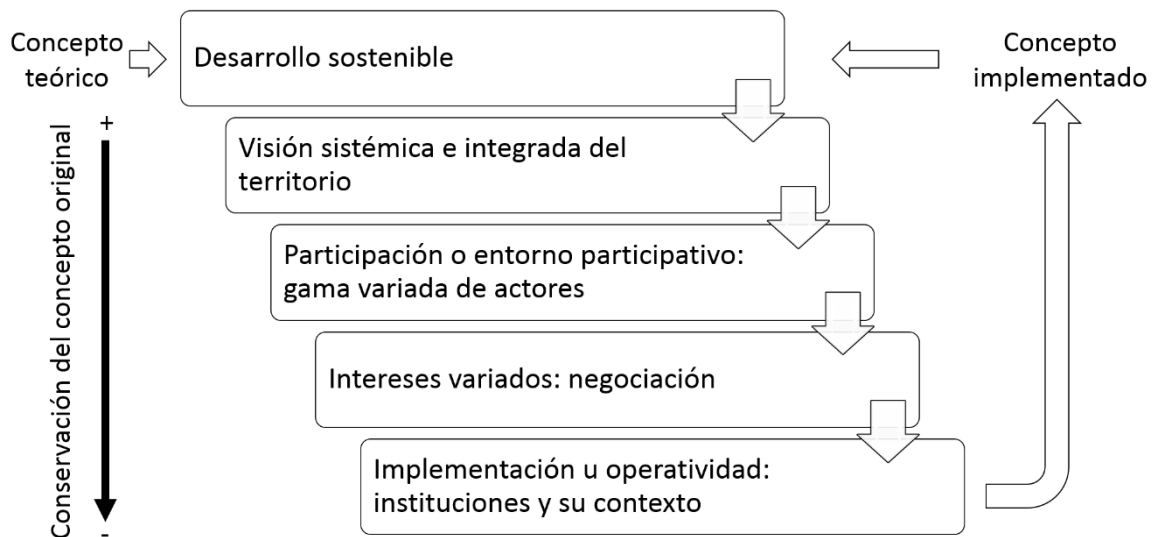


Visto desde una perspectiva sistémica, el desarrollo sostenible, como un proceso complejo y multidimensional, pretende garantizar la permanencia del sistema en un determinado nivel de estabilidad, ello mediante la reducción de la entropía (caos y desorden) y el control de los eventos que pongan en riesgo al sistema (Mateo, 2005).

Entonces, la idea del desarrollo sostenible es la visión sistémica puesta en práctica con un propósito o fin, ya que su concepto expone claramente el principio de relaciones que existe en un sistema territorial, al propiciar un desarrollo coordinado de las vertientes económica, social y ambiental de los territorios, ya que supone que estos elementos están vinculados, y la falta de atención de alguno de ellos tarde o temprano se traduce en obstáculo para el resto de los componentes del desarrollo.

A su vez, el desarrollo sostenible declara que éste implica el uso y aprovechamiento racional de los recursos naturales para propiciar el desarrollo social y económico de largo plazo y sin afectar su disponibilidad para las futuras generaciones.

No obstante todo lo anterior, la realidad es que existe una brecha entre el concepto teórico y el concepto implementado de desarrollo sostenible (Bell y Morse, 2003), misma que se muestra en la figura 2.2, la cual además se puede ver reflejada en la GIRH.



**Figura 2.2.** Brecha existente entre el concepto teórico y práctico del desarrollo sostenible.

La figura 2.2 parte del concepto y supuestos teóricos del desarrollo sostenible mencionados líneas arriba. El apreciar el territorio como una gama de elementos interrelacionados implica que es necesario hacer partícipes de la planeación del desarrollo a más y variados actores del territorio, pero eso da un escenario demasiado complejo por lo que se reduce el ámbito de acción a sólo las cuestiones prioritarias. A su vez, cada uno de estos actores tiene sus propios intereses, mismos que al ser negociados pueden implicar una mayor reducción del ámbito de acción. A esta reducción de la complejidad, el involucramiento de sólo algunos actores y compromisos limitados negociados, se agrega el entorno institucional inadecuado, el cual en ocasiones no cuenta con la condición legal, administrativa o de habilidades para implementar acciones de desarrollo sostenible, lo que conduce a una implementación del desarrollo sostenible que dista mucho de su percepción conceptual original. Sin embargo, no hay que olvidar que el desarrollo sostenible es un proceso cíclico de mejora continua, y la idea es mejorar tras cada ciclo hasta lograr cerrar la brecha referida.

Para concluir, es importante mencionar que la evolución del desarrollo sostenible está ligada con el cambio de paradigma hacia la GIRH. Así por ejemplo, la Conferencia de Dublín (Irlanda), celebrada en 1992, es el evento que marca el inicio del concepto de GIRH (IIIEE, 2010), al adoptar lo que se denominó “Declaración de Dublín sobre recursos hídricos en la perspectiva del desarrollo sostenible”, constituida por cuatro principios guía, mismos que a continuación se comentan:

1. *El agua es un recurso finito y vulnerable esencial para la vida, el desarrollo y el ambiente.* Su gestión deberá ser holística, a nivel de cuenca y con una aproximación integrada, coordinando los distintos usos del agua.
2. *El desarrollo y gestión del recurso hídrico debe ser participativo e involucrar a usuarios, planificadores y tomadores de decisiones de todos los niveles.* Y es que según este principio, una aproximación participativa es la mejor forma de lograr consensos y acuerdos comunes que prosperan; no obstante, el tipo de participación dependerá de la escala espacial. También aclara que la participación no siempre conduce al consenso, por lo que es necesario considerar procesos de arbitraje u otros mecanismos de resolución de disputas. Además, considera que el nivel más apropiado para la descentralización de la toma de decisiones debe ser al más bajo posible para

asegurar una adecuada participación, reforzando que se debe fortalecer la habilidad de participar de aquellos actores más vulnerables.

3. *Las mujeres juegan un rol clave en la provisión, gestión y preservación del agua.* Un aspecto clave en este principio es crear un escenario donde las mujeres cuenten con medios y autoridad para participar en la gestión del agua, incluida la toma de decisiones.
4. *El agua es utilizada para múltiples propósitos y ello implica un valor económico, por lo tanto debe ser reconocida como un bien económico.* De hecho, el agua tiene el valor de un bien tanto económico como social. El precio del agua es un instrumento económico que puede emplearse para propiciar la preservación y uso racional del agua, gestionar la demanda de agua, asegurar un costo de recuperación y poder realizar inversiones adicionales en beneficio del recurso mismo.

En el siguiente apartado se trata a profundidad la GIRH.

### **2.1.3. Gestión integrada de recursos hídricos**

Snellen y Schrevel (2004) consideran que el concepto de gestión integrada del agua puede tener distintas interpretaciones, y que dependiendo del contexto que se le proporcione, entonces es posible identificar ejemplos de su uso, incluso en siglos pasados. En décadas recientes, la idea, concepto y medios de la GIRH han evolucionado según lo ha hecho la relación agua-sociedad-ambiente. En la tabla 2.1 se presenta una breve reseña de esta situación.

Sin embargo, la evolución del concepto continua, por ejemplo para Biswas (en Snellen y Schrevel, 2004), la definición de GIRH de la GWP no puede ser implementada debido que no ofrece respuestas sobre cuestiones operacionales, ni respecto a criterios para su medición. No obstante lo anterior, Mukhtarov (2008) considera que cuando se aborda la discusión sobre la gestión del agua, el concepto de GIRH es el más popular en todo el mundo, sobre todo por la cantidad de reportes y organizaciones a nivel mundial dedicadas a promover este paradigma. De hecho, el mismo Mukhtarov (2008) propone un esquema gracias al cual, a pesar de la ausencia de su eficacia práctica, la GIRH ha logrado posicionarse a nivel mundial como un paradigma de gestión del agua.

**Tabla 2.1.** Reseña de la evolución de idea, concepto y medios de la GIRH.

<b>Relación agua-sociedad-ambiente</b>	<b>Reseña</b>
Gestión de la oferta mediante el desarrollo de infraestructura hidráulica	Aunque el trabajo realizado por la Autoridad del Valle de Tennessee (EE.UU.) en la década de los treinta contiene aspectos de GIRH, en el resto del mundo la palabra “integrado” estaba relacionada con la integración para apoyar las obras hidráulicas principales, y no tanto a la coordinación entre los distintos usos del agua.
Inicia la visión sistémica y se propone coordinación	En la Conferencia Internacional del Agua en Mar de la Plata (Argentina) en 1977 se hizo explícita la necesidad de propiciar la coordinación en el sector hídrico.
Punto de quiebre: se hace evidente la insostenibilidad del crecimiento económico a costa del ambiente	Para 1992, en la Conferencia Internacional sobre Agua y Ambiente realizada en Dublín, Irlanda, se puso de manifiesto de que para lograr un verdadero desarrollo sostenible, era necesario realizar la planeación del desarrollo socioeconómico considerando la capacidad de los recursos naturales.
Se consolida la visión sistémica, pero confronta una fragmentación entre instituciones	En la Cumbre de la Tierra realizada en Río de Janeiro en 1992, se declaraba que si bien era necesaria una visión holística de la gestión del agua y una integración de los planes y programas hídricos, también era un hecho que la fragmentación existente entre las instituciones gubernamentales constituía el principal impedimento para promover la gestión integrada del agua.
Gestión de la demanda	En la conferencia de Dublín también se habla de gestión de la demanda, entendida como la formación y aplicación de incentivos que busquen limitar la demanda de agua e impulsen la eficiencia en su distribución y uso, así como la reducción de aguas residuales.
Gestión coordinada para el desarrollo sostenible	En el año 2000 la GWP presentó su definición de GIRH, ya que este grupo consideraba que las definiciones existentes hasta entonces eran ambiguas. Esta definición indica que la GIRH <i>es un proceso que promueve el desarrollo y gestión coordinados de agua, suelo y recursos relacionados, con la finalidad de maximizar de forma equitativa el bienestar económico y social resultante, sin comprometer la sostenibilidad de los ecosistemas vitales</i> . Esta definición es la más replicada en la literatura relacionada con la GIRH.
Materializar la integración	Snellen y Schrevel (2004) mencionan cuatro tipos de integración que implica la palabra “integrada” en el contexto de la GIRH: (1) integración en el contexto de desarrollo sostenible, (2) integración sectorial, (3) integración en el contexto de sistema ambiental y (4) integración espacial en la cuenca.

Fuente: Elaboración propia con base en Snellen y Schrevel (2004).

Dicho esquema se basa en tres ciclos, el primero de ellos corresponde a la generación del conocimiento “de abajo hacia arriba”, hasta conducir este conocimiento al segundo ciclo, donde se da la estandarización y formulación de políticas en el nivel internacional, para después llegar al tercer ciclo, el de difusión y promoción de la transferencia de políticas, la cual se da “de arriba hacia abajo”.

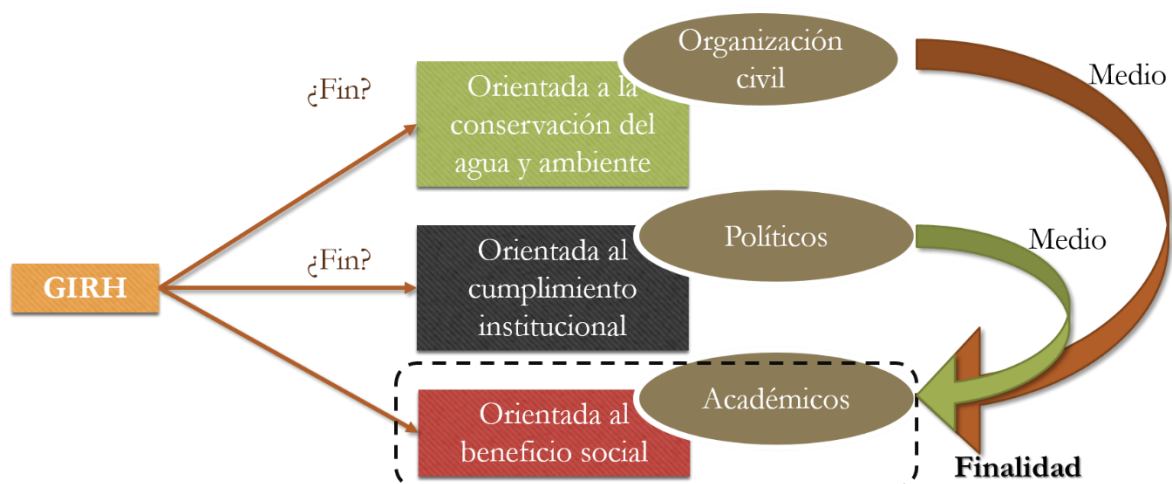
En el marco de la GIRH, Mukhtarov (2008) señala que en el primer ciclo se encuentran las comunidades científicas interesadas en las distintas dimensiones de la GIRH; en el segundo, el cúmulo de comunidades científicas que buscan difundir sus hallazgos en materia de GIRH, conformando así las redes globales de conocimiento; mientras que en el último ciclo se halla la GWP, cuyo origen se ubica en la colaboración entre el Banco Mundial, el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) y la Agencia Sueca de Desarrollo Internacional (SIDA, por sus siglas en inglés), y que promueve la implementación de la GIRH entre las naciones relacionadas con estos tres organismos.

Existen tres aspectos sobre el concepto de GIRH que Mukhtarov (2008) destaca con base en las tendencias de su uso, los cuales el autor emplea para ofrecer una orientación de cómo puede evolucionar este término y su perspectiva práctica. Dichos aspectos son:

1. Se trata de una definición muy general, lo cual complica su interpretación para propósitos prácticos. Por ello, aun hoy en día existe un amplio debate sobre el valor práctico de la GIRH. En este aspecto es importante fortalecer la investigación sobre su devenir histórico y los fundamentos intelectuales sobre las que se sustenta.
2. El concepto actual de la GIRH ha traspasado fronteras en forma de un discurso global viable. Entonces es importante analizar las condiciones de este empleo discursivo del término más allá de sus bases originales como un concepto normativo o prescriptivo.
3. Muchas ideas, políticas y tecnologías que expresan tener como base la GIRH están siendo transferidas entre las naciones antes que hayan sido probadas empíricamente. Esta situación expone un alto nivel de riesgo en su efectividad, y por lo tanto, en el bono de confianza sobre su empleo, por lo que debe ser expuesta, estudiada y reorientada hacia buenas prácticas.

Las situaciones anteriores en parte se pueden explicar debido a la orientación con la que se desarrolla la GIRH (Figura 2.3). En términos generales pueden existir tres orientaciones: (1)

hacer GIRH orientada a la conservación del agua y ambiente, promovida normalmente por la sociedad civil y algunos centros de investigación; (2) hacer GIRH con orientación al cumplimiento institucional, es decir, buscar generar un plan de GIRH solo para cumplir con un requisito legislativo o normativo, generada normalmente en el ámbito político; y (3) realizar GIRH orientada al desarrollo sostenible para buscar el beneficio social, impulsada principalmente por el sector académico.



**Figura 2.3.** Principales orientaciones que impulsan realizar un proceso de GIRH.

Sin embargo, es claro que las orientaciones uno y dos no deben ser vistas como un fin de la GIRH sino como un medio de la tercera orientación. De esta forma, posiblemente sea necesario pasar por las dos primeras orientaciones, pero se debe tener en mente cumplir al final con la tercera. Visto de otra forma, se puede plantear como fin de un proceso de GIRH con orientación al beneficio social y por lo tanto se deberá tener claro que se deberá pasar por las orientaciones de conservación del agua y el ambiente y del alineamiento político.

En este documento se aprecia a la GIRH como una filosofía y un proceso articulador para fomentar el desarrollo sostenible de un territorio a partir de una adecuada gestión del agua. La GIRH considera al agua como un elemento articulador entre distintos componentes del sistema territorial y, por consecuencia, las afectaciones al agua, o a los componentes asociados a ella, le repercutirán, a la vez que creará repercusiones sobre sus elementos asociados. Por lo tanto, la GIRH brinda sentido, estructura y organización al ser un proceso de planeación estratégica participativa con visión sistémica del territorio, de forma tal que

busca identificar los componentes del sistema de gestión y, consecuentemente, a los actores clave para llevar adecuadamente dicha tarea.

Todo lo anterior conduce al hecho de que el debate actual no se encuentra sólo en definir lo que es la GIRH, sino en los medios para hacerla operativa. En este sentido, el Banco Mundial (en Snellen y Schrevel, 2004) considera que uno de los pasos para materializar la GIRH es generar procedimientos para ponerla en práctica, porque aprecia que el reto de la gestión del agua ya no es indicar a qué se refiere la GIRH y su visión, sino generar un enfoque pragmático con principios para lograr su implementación.

En un ejercicio que coincide y resume las condiciones expuestas en la tabla 2.1, el Centro Virtual de Aprendizaje del Agua (WVLC, por sus siglas en inglés, s/f), indica que existen cuatro principales etapas en la evolución de la gestión del agua:

1. El enfoque sectorial desarrollado entre 1820 y 1950. Cada sector realizaba la planeación y su implementación por su cuenta.
2. El enfoque de cooperación, dado entre 1960 y 1970, que buscaba la cooperación entre distintas agencias relacionadas con los recursos hídricos.
3. La perspectiva ecosistémica fundamenta los intentos de integración de instituciones para la gestión del agua en la década de los ochenta.
4. La GIRH orientada a metas, que ocurre desde 1990 y hasta el presente. El enfoque está en los resultados, principalmente en maximizar equitativamente el bienestar económico, social y ecológico.

Sin embargo, hoy en día (y desde hace unos años) existe la GIRH que aprecia el establecimiento de adecuadas condiciones de gobernanza del agua, la cual distintos autores (Domínguez, 2012; Guerrero-de León, 2010; Martínez y Reyna, 2013) consideran es una condición indispensable para que la gestión integrada se materialice, sobre todo para que ésta sea sostenible, equitativa y asegure el beneficio social, económico y ambiental. Tras el análisis de las propuestas de diversos autores, Guerrero-de León *et al.* (2010: 544) consideran que la gobernanza se define como *el total de interacciones entre actores públicos y privados, para resolver problemas y crear oportunidades, entendiendo la participación de las instituciones formales o informales en un marco normativo, más como sistemas de redes entre actores y no sólo como una estructura jerarquizada en la toma de decisiones.* Al llevar

la gobernanza al ámbito del agua, la GWP (en Guerrero-de León *et al.*, 2010), indica que la gobernanza efectiva del agua se refiere a establecer sistemas administrativos y sociopolíticos eficientes, incluyendo los principios de la GIRH.

Por otra parte, la tendencia actual de algunos investigadores y gestores del agua aprecia el trabajo local como una oportunidad de desarrollar experiencias prácticas en lo que se ha denominado “GIRH a nivel local” o “GIRH comunitaria” (Van Koppen *et al.*, 2009). Ya en el capítulo 18 de la Agenda 21 se indicaba que la planeación de la gestión del agua, la toma de decisiones y la propuesta de políticas debería estar basada en las necesidades y prioridades de las comunidades, considerando la participación pública, incluidos actores de interés como mujeres, jóvenes e indígenas, en el marco de una política de desarrollo económico a nivel nacional (Snellen y Schrevel, 2004). Por su parte, y con base en el análisis de las experiencias de distintos proyectos del Centro Internacional de Agua y Saneamiento (IWSC, por sus siglas en inglés), Mayfield (2015) destaca que entre los principios para una adecuada GIRH se encuentran: que esta gestión debe cuidar de ser realizada en el nivel territorial más bajo, pero apropiado, para la coordinación, que el desarrollo de capacidades es clave para la sostenibilidad de las acciones y que es indispensable la participación de todos los actores de interés.

Finalmente, la experiencia en implementar la GIRH a nivel local de Van Koppen *et al.* (2009), les ha mostrado que aunque los gobiernos locales normalmente cuentan con diversos conocimientos técnicos, también es verdad que existe una constante la falta de capacidad de atención, y es justo en este contraste que tiene cabida la colaboración gobierno-población local, donde además aprecian que el enfoque participativo es más sostenible y eficiente tanto desde el punto de vista institucional como técnico, puesto que atiende las necesidades y prioridades de las personas, lo que crea apropiación del proceso de diseño e implementación.

Por lo descrito en este apartado del marco teórico, este proyecto se enmarca en la GIRH comunitaria, para identificar las acciones en materia de agua que conducirían a una mejora sostenible de las condiciones de vida de la población e identificar las circunstancias necesarias que llevarían a una efectiva gobernanza del agua.



## 2.2. MARCO CONCEPTUAL DE LOS MODELOS METODOLÓGICOS QUE DAN APLICABILIDAD AL SUSTENTO TEÓRICO

### 2.2.1. Planeación estratégica

*Planear es conocer y entender el contexto; es saber qué se quiere y cómo alcanzar los objetivos; es saber cómo prevenir y evitar las amenazas; es calcular los riesgos y tratar de minimizarlos evitando la vulnerabilidad; es prepararse tácticamente mediante una reestructuración interna; es ser osado en las metas propuestas y superarse de forma continua y constante para ofrecer cada vez mejores resultados (Chiavenato y Sapiro, 2011: xi). De forma concreta, La planeación es el proceso de establecer objetivos y escoger el medio más apropiado para el logro de los mismos antes de emprender la acción (Goodstein et al., 1998: 5).*

Respecto a lo que es la estrategia, en su forma más básica, para Chiavenato y Sapiro (2011) es la orientación que una organización elige con la finalidad de conducirse hacia una condición futura deseada en la que mejorarán sus circunstancias respecto a su situación actual. Y para Bungay (2012: 103) *La estrategia es un marco de referencia para la toma de decisiones. Es una elección original sobre la orientación, que permite elecciones posteriores sobre la acción. Prepara a la organización para hacer esas elecciones.* Mientras que para Morrisey (1996a: 79), la estrategia es *un proceso para determinar la dirección en que una empresa necesita avanzar para cumplir con su misión.* Aunque es importante tener claro que la planeación estratégica no elimina el riesgo en la toma de decisiones, sino que ayuda a los gestores a evaluar los riesgos que acompañan a cada decisión (Goodstein et al., 1998).

Por lo tanto, la planeación estratégica es un proceso que permite organizar y estructurar las acciones requeridas entre la condición futura deseada para una organización (institución, compañía o cualquier grupo de personas), y la forma de llegar a ella, considerando los aspectos y dinámica interna de la organización, así como del ambiente en el que se desenvuelve e interactúa, de manera tal que se aprecian ventajas a fomentar y desventajas a mitigar, tanto internas como externas. Cuando este tipo de planeación se abre a todo aquel actor de la organización interesado en participar y no se limita sólo a la esfera directiva de la organización, entonces se habla de una planeación estratégica participativa.

En términos más prácticos, como los que usa Morrissey (1996), la planeación estratégica es enfocarse en lo que debe hacerse para lograr el resultado esperado. Este enfoque se refiere a distinguir las circunstancias e información que realmente importan de las que no, para lograr un propósito específico, procurando no llegar a un resultado no esperado por haberse desviado en el camino.

De acuerdo con Mikhtarov (2008), la GIRH conceptualmente está basada en las teorías de la planeación estratégica, por lo que este autor sugiere que ante la falta de éxito en la implementación práctica del concepto de GIRH, uno de los ámbitos en los que se ha de enfocar la investigación debe ser en el campo de la planeación estratégica. Además, en su planteamiento sobre lo que es la visión estratégica, Chiavenato y Sapiro (2011) dejan claro que ésta es una visión sistémica del proceso de planeación, puesto que indican que se debe visualizar con una perspectiva holística el todo y no solo las partes de una organización, así como su entorno y su relación él. Un análisis del trabajo de Bungay (2012) hace evidente que los principios de la Teoría General de Sistemas se emplean en un proceso de planeación estratégica, al indicar que la solución al problema de convertir de forma eficiente la estrategia en acción está en el estudio del sistema causal que hay detrás de dicho problema.

Por lo que, como lo han confirmado distintos investigadores gestión sostenible del agua (Antao *et al.*, 2005; Antao *et al.*, 2006; Cap-Net *et al.*, 2005a; Cap-Net *et al.*, 2005b; Cap-Net, 2006; Díaz-Delgado *et al.*, 2009; García *et al.*, 2010; GWP e INBO, 2009; TEC-GWP y Ministerio de Asuntos Exteriores de Noruega, 2006), el marco de trabajo que permite la adecuada implementación del proceso de GIRH es la planeación estratégica participativa, mismo que representa el sustento metodológico general.

En este sentido, durante el establecimiento de objetivos, Gigch (2006) indica que debe involucrarse a todos los actores de interés, de manera tal que se consideren sus intereses para conducir a un punto que genere objetivos con los cuales todos ellos estén de acuerdo. Además, Chiavenato y Sapiro (2011) exponen que, cuando las personas que conforman una organización aceptan, entienden y aplican en la práctica un plan estratégico, sólo entonces se puede esperar que éste brinde los resultados planeados.

Tras las consideraciones del párrafo anterior, Gigch (2006: 112) denomina a los actores de interés como *agentes*, indicando que son todos aquellos actores que *estarán involucrados en*

*un proyecto, o que pueden influir o ser influidos por éste.* Retomando la idea de Ackoff, Goodstein *et al.* (1998) consideran que una empresa u organización no solo debe atender los intereses de sus inversionistas, sino de todos los grupos o personas de interés relacionadas con dichas entidades. Sin embargo, al considerar que en un proceso de planeación estratégica existen diversos intereses, Goodstein *et al.* (1998) son conscientes que nunca será posible satisfacerlos todos, por lo que proponen se deben evaluar y considerar las implicaciones de ceder o no ante ellos.

Si se analiza el concepto de entropía (caos y desorden) a la que tienden los sistemas sociales de Johansen (2012), resulta que un proceso de planeación estratégica es un modo de propiciar neguentropía, es decir, de contrarrestar la entropía y buscar el orden y la organización. Al respecto, Gigch (2006) considera que una característica de los sistemas sociales es que muestran estados improbables de organización gracias al empleo de la tecnología (económica y social, entre otras).

Chiavenato y Sapiro (2011), al realizar un análisis de la evolución del pensamiento estratégico en las organizaciones no bélicas de occidente señalan lo siguiente:

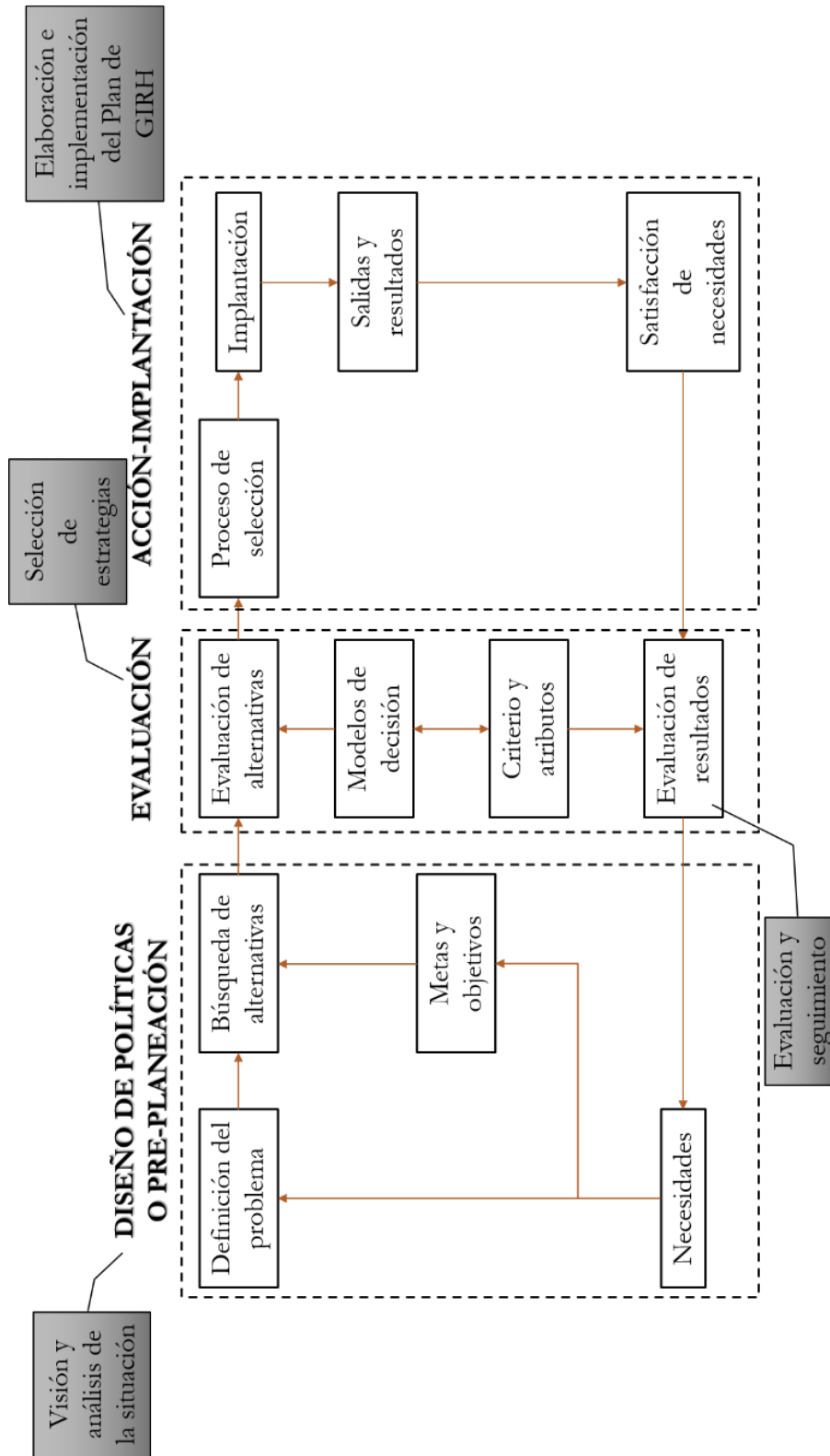
- Hasta el siglo XIX prácticamente no se le empleaba porque las empresas no tenían la necesidad de crecer o expandirse, además de que su capital era el suficiente apenas para subsistir.
- Una situación similar se presentó al finalizar la Segunda Guerra Mundial, donde se dio un estancamiento del pensamiento estratégico al combinarse la destrucción que dejó la guerra con un exceso de demanda tras su finalización, ello en un entorno de poca competencia al desaparecer muchas empresas en las naciones participantes en el evento bélico.
- De esta forma, es hasta mediados de la década de 1960 cuando los estrategas toman una orientación de adaptación al entorno de la organización, a fin de buscar una posición dominante y de defensa ante sus competidores. Ya a finales de los años sesenta los profesionales del pensamiento estratégico consideran un enfoque para evaluar aspectos internos y externos a la organización en la realización de sus planes, siendo estos los componentes del análisis FODA.

- Tras la experiencia de los años previos, para la década de los setenta el enfoque estratégico era reconocer cuáles aspectos organizaciones eran duraderos y persistentes en un tiempo prolongado y cuáles podrían ser adaptables según la presión ejercida por la competencia, por lo que el pensamiento estratégico empezó a considerar las divisiones operacionales o unidades de negocios de una organización, sobre los cuales se deben hacer diferenciaciones en la planeación para el cumplimiento de objetivos generales de toda la organización. En la misma década se dieron dos condiciones que dirigieron el devenir del pensamiento estratégico: por un lado el sistema monetario internacional se colapsó con la crisis del petróleo y, por otro lado, emergió el tema de la sostenibilidad del medio ambiente, por lo que los estrategas comenzaron a apreciar la denominada “ventana estratégica”, término acuñado en 1978 por Abell (en Chiavenato y Sapiro, 2011) para expresar la necesidad de aprovechar el momento adecuado para entrar o salir de un negocio.
- Ya para la década de los ochenta surgió la teoría del posicionamiento, cuyo fundamento estratégico era posicionar firmemente en la mente del cliente el producto o la organización.
- Al llegar la década de los noventa se produce el enfoque de pensamiento estratégico denominado “modelo basado en recursos”, el cual supone que los recursos y capacidades de una organización deben ser la base de la estrategia. A finales de la misma década surge la teoría del pensamiento complejo, cuyo fundamento se puede asociar con la visión sistémica de las organizaciones y de su entorno, ya que integra el pensamiento lineal cartesiano con el pensamiento sistémico, de forma tal que es posible analizar el caos, complejidad, diversidad e imprevisibilidad de los entornos internos y externo en que se desarrolla la organización.
- Con la llegada del siglo XXI, Chiavenato y Sapiro (2011) señalan que arribaron dos visiones básicas de la estrategia, una de ellas denominada “Visión estructuralista” que señala que dada una relación oferta-demanda, se genera una estructura de mercado que propicia las condiciones para vendedores y compradores, sobre la cual se basa el desempeño de las empresas para captar la riqueza (y no preocuparse por crearla). Ejemplos claros de este tipo de visión se aprecian en los productos para acondicionamiento físico que ofrecen perder mucho peso y masa corporal con un

mínimo de esfuerzo. La otra visión es la conocida como “Reconstructivista”, cuyo fundamento es el crecimiento interno por innovación y creación de valor, para incentivar que la demanda potencial en estado latente se convierta en demanda real, ello mediante la creación o reconstrucción de necesidades (en vez de oferta). Claros ejemplos de lo anterior se aprecian en empresas como Apple o en el uso del modelo “*freemium*” (contracción de *free* y *premium*) en el entorno computacional, con el cual se permite el acceso gratuito a ciertas funcionalidades de un programa o a una cantidad de almacenamiento en la nube, pero una vez que el usuario necesita acceder a mayores funcionalidades o a más espacio de almacenamiento, entonces es necesario pagar por la licencia completa.

Al hacer un comparativo entre las fases del proceso de diseño de sistemas, las etapas de un proceso de planeación estratégica y las fases de un proceso de GIRH, se puede establecer que tienen puntos de coincidencia, por lo que se hace claro que la planeación estratégica y la GIRH emplean esta propuesta de diseño de sistemas. A continuación (Figura 2.4) se presentan la propuesta de diseño de sistemas de Gigch (2006) para la solución de problemas desde el paradigma de sistemas y su analogía con las fases del proceso de GIRH.

En cuanto a poner en práctica la planeación estratégica para la GIRH, se tiene que, en términos generales, las distintas propuestas existentes se pueden hacer coincidir con las fases ya definidas del proceso de GIRH: Inicio del proceso, visión, análisis de la situación, selección de estrategias, elaboración del plan, implementación del plan y seguimiento y evaluación. Como ejemplo a continuación se brindan dos casos.



**Figura 2.4.** Propuesta de diseño de sistemas de Gigch (2006) (rectángulos blancos) y su analogía con el proceso de GIRH (rectángulos grises).

La propuesta de planeación estratégica de Chiavenato y Sapiro (2011) se basa en las premisas de ser sistémica, enfocarse al futuro, crear valor, ser participativa, tener continuidad, ser implementada y ser monitoreada. De esta forma su modelo, que es una combinación optimizada de las diferentes escuelas de planeación estratégica que analizan en su obra, consiste en los siguientes pasos:

1. Declaración de la misión (pretensiones y ámbito de actuación).
2. Visión de negocios (del futuro deseado).
3. Diagnóstico estratégico externo (oportunidades y amenazas).
4. Diagnóstico estratégico interno (fortalezas y debilidades).
5. Determinantes del éxito (factores críticos de éxito).
6. Definición de los objetivos (diferenciados y múltiples).
7. Formulación de las estrategias (ruta óptima para cumplir los objetivos).
8. Desempeño estratégico (programas y proyectos específicos).
9. Auditoria al desempeño y resultados (evaluación del proceso y sus resultados, para realimentar el plan).

Mientras que el modelo de planeación estratégica aplicada de Goodstein *et al.* (1998) consiste en nueve pasos puntuales y dos pasos continuos que deben ser realizados de inicio a fin del proceso:

1. Planeación para planear.
2. Búsqueda de valores.
3. Formulación de la visión.
4. Diseño de la estrategia de negocio.
5. Auditoria al desempeño.
6. Análisis de brechas.
7. Integración de los planes de acción.
8. Planeación de contingencias.
9. Implementación.
10. Monitoreo del entorno, desde el inicio en el paso uno y hasta llegar al paso nueve.
11. Consideraciones para la implementación de cada uno de los pasos, para avanzar de un paso a otro.

El modelo de planeación estratégica aplicada de Goodstein *et al.* (1998) está enfocado en prever el futuro deseado, a partir del cual se genera una estrategia conceptual fundamentada en un conjunto de valores que aseguren su sostenibilidad, realiza un análisis de los problemas internos y externos de la organización respecto al logro de su misión, y a partir de ellos generar planes tácticos. El proceso continua con la elaboración del plan al integrar vertical y horizontalmente los planes tácticos, el cual se implementa mediante un conjunto de pasos y procedimientos operativos para, finalmente, reiniciar el proceso nuevamente teniendo como base el plan anterior, quedando así institucionalizado como un proceso permanente en la organización. Por lo descrito, los autores (Goodstein *et al.*, 1998) consideran que su modelo se encuentra enfocado en el futuro, es impulsado por el liderazgo y propicia el involucramiento organizacional, lo cual a su vez genera un plan completo, detallado y con alto grado de aceptación.

Las fases del proceso de Planeación estratégica aplicada de Goodstein *et al.* (1998) que enriquecen un proceso de GIRH son las de Monitoreo del entorno, Auditoría del desempeño y Análisis de brechas. El monitoreo del entorno recomienda estar haciendo un seguimiento de los principales temas que sean de interés para la organización, desde el inicio y hasta el final del proceso de planeación. Este monitoreo no está considerado en el proceso de GIRH, por lo que sería una nueva fase a incluir, de manera transversal al resto de fases. La Auditoría al desempeño y el Análisis de brechas podrían ser actividades de apoyo en la etapa de “Selección de estrategias” de la GIRH, y tendría como entrada el listado de “Elementos estratégicos” que resulta de la fase de GIRH “Análisis de la situación”, de forma tal que en la Auditoría al desempeño se evaluaría, mediante un análisis FODA, el funcionamiento actual de la organización respecto al funcionamiento requerido por las estrategias. El resultado de la evaluación anterior alimentaría el análisis de brechas, que implica la identificación de los huecos entre el desempeño actual de la organización y el desempeño que se esperaría, parámetro que serviría para hacer la selección de las estrategias derivadas del Análisis de la situación en la GIRH y, al mismo tiempo, para la generación de estrategias que ayuden a cerrar las brechas.

En conclusión, existen aspectos de la planeación estratégica que son relevantes para la GIRH (Mukhtarov, 2008):



- Perspectiva de largo plazo, en oposición a la búsqueda de soluciones inmediatas pero no sostenibles.
- Identificar primero la dirección a la que hay que moverse, en lugar de moverse en una dirección dada para experimentar el resultado.
- Búsqueda de soluciones innovadoras más que en el empleo de las soluciones tradicionales.
- Acercamiento por síntesis (integración) más que por análisis (separación).
- Dar atención a las posibilidades que ofrece el futuro (fortalezas y oportunidades)

Por lo que el reto es expresar el potencial de la planeación estratégica, para lograr el éxito en el desarrollo de un plan bajo un esquema de gestión sostenible del agua.

### **2.2.2. Análisis estructural de sistemas**

Godet (1994, p. 98) afirma que *un sistema no es la realidad, sino un medio (para el espíritu humano) para observarla*. A lo anterior se podría agregar entonces que el análisis de sistemas es una forma de pensamiento para conocer y comprender un sistema que representa una realidad.

Por otro lado, Godet (1994) señala que la estructura de un sistema es la red de relaciones entre sus componentes, y que su análisis permite comprender su evolución. Por lo tanto, el análisis estructural de sistemas se puede definir como un *método sistemático, en forma matricial, de análisis de las relaciones entre variables constitutivas del sistema estudiado y la de su entorno explicativo... este método tiene como objetivo destacar las principales variables influyentes y dependientes y, por consiguiente, las variables esenciales para [el análisis de] la evolución del sistema* (Godet, 2009, pp. 54-55).

Arya y Abbasi (2001) señalan que, si bien en la teoría es necesario considerar a todos los componentes de un sistema en su análisis, en la práctica esto no es factible, puesto que, además de ser altamente demandante de tiempo y recursos, el comportamiento de algunos de los componentes es poco detectable o significativo si se aprecia al sistema como un todo.

De acuerdo con Godet (1994) y Delgado-Martínez y Pantoja-Timarán (2015), el análisis estructural se emplea para identificar las variables clave que ayuden a lograr dos fines. El primero es para la toma de decisiones que conduzca al logro de algún objetivo, al identificar

las variables y actores sobre las cuales se debe intervenir para el logro de dicho propósito. El segundo tiene que ver con el proceso prospectivo, es decir, para la reflexión sobre posibles escenarios futuros, identificando las variables clave que configuran dichos escenarios.

Las fases del análisis estructural son (1) inventariar las variables, (2) describir las relaciones entre las variables y (3) identificar las variables clave (Godet, 1994, 2000 y 2009; Godet y Durance, 2011). En la primera fase, del inventario de variables, se elabora un listado de las variables internas y externas que caracterizan el sistema estudiado y su entorno. Es necesario que cada variable sea descrita, conceptualizada y detallada en el marco de la finalidad del análisis del sistema. La fase dos, denominada descripción de las relaciones entre las variables, es precisamente donde se identifican, analizan, discuten y consensan las relaciones entre variables. En la fase final, que se refiere a la identificación de las variables clave, se busca llegar a las variables esenciales para el análisis y comprensión de la evolución del sistema.

Existen dos conceptos clave en el análisis estructural, que son motricidad (o influencia) y dependencia. *La motricidad es la influencia que una variable ejerce sobre las demás... La dependencia es la incidencia de las diferentes variables sobre una en particular, es la subordinación al impacto de las demás* (Delgado-Martínez y Pantoja-Timarán, 2015, p. 29). Para Godet (1994), los comportamientos de las variables motrices condicionan más el sistema, en tanto que las variables dependientes son más sensibles a la evolución del mismo sistema.

### **2.2.3. Indicadores sistémicos**

Entre las diversas metodologías que existen para ayudar a medir el progreso del desarrollo sostenible, los indicadores gozan de la mayor popularidad porque condensan información compleja, de forma tal que permiten el entendimiento e interpretación por parte de personas no especializadas en la gestión del territorio (Bell y Morse, 2003; Morse, 2004). De hecho, son apreciados como herramientas para la planeación y comunicación.

En su definición más simple, un indicador es un instrumento de medición a través de signos, señales o síntomas. Gallopin (en Morse, 2004: 27) señala que un indicador *es una representación operacional de un atributo (cualidad, característica, propiedad) de un sistema.*

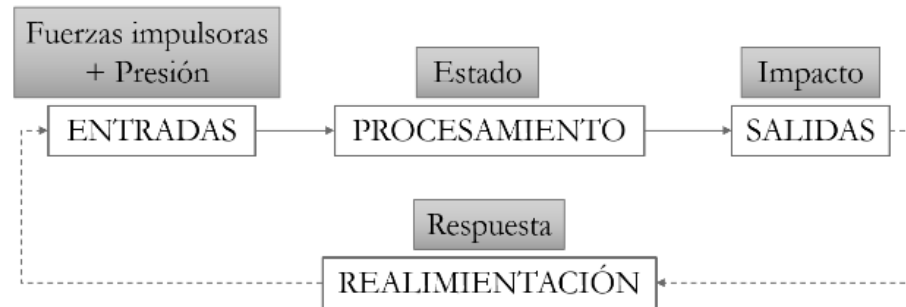
Al considerar que existen diversas metodologías para medir el avance en desarrollo sostenible, Bell y Morse (2003) apuntan que no existe documento metodológico que sea universalmente aceptado ni aplicable a todas las regiones del planeta, el cual además considere un conjunto de indicadores para medir las dimensiones ambiental, social y económica del desarrollo sostenible, así como un índice que sintetice la información de los indicadores y proporcione un valor numérico para evaluarlo.

Como se expuso en la sección de antecedentes de esta tesis, hoy en día existen variados trabajos que emplean el marco de trabajo de FiPEIR (o alguna de sus variantes), según las necesidades de los proyectos. En el caso de los recursos hídricos, para medir la GIRH, la cual tiene características diferenciadoras de cuenca en cuenca, es necesario manejar un marco de trabajo que sea adaptable y manifieste las relaciones sistémicas que ocurren entre el agua en el ambiente, los recursos hídricos y las repercusiones de la gestión del agua, por lo que el marco de trabajo de FiPEIR es propicio para identificar indicadores clave para este fin, pues en el caso de la GIRH no existe un conjunto de indicadores que sirvan para medir todos los casos, ya que cada cuenca tiene sus propios problemas de uso, aprovechamiento y manejo sostenible del agua.

La lógica general del esquema es que ciertas fuerzas impulsoras conducen a que se ejerza una mayor presión sobre los recursos naturales, lo que a su vez modifica su estado natural en calidad y cantidad, traduciéndose en impactos tanto positivos como negativos hacia la sociedad (escasez, exceso), tras lo cual la sociedad responde con acciones, políticas y estrategias con la intención de mitigar los impactos negativos y aprovechar los positivos.

Johansen (2012) indica que en todos los sistemas abiertos existe un flujo (de material, información y/o energía) que entra al sistema, es procesado para cumplir con su objetivo, sale del mismo y lo realimenta con la finalidad de mantener un cierto equilibrio (o lo envía a otro sistema, subsistema o supersistema) (rectángulos blancos en la figura 2.5).

“Todo sistema tiene el siguiente proceso”



**Figura 2.5.** Analogía entre el proceso genérico de un sistema (rectángulos blancos) y el esquema FiPEIR (rectángulos grises).

Si se hace una analogía con el esquema FiPEIR, en la figura 2.5 se tendría que las Fuerzas impulsoras junto con las Presiones serían las entradas, el procesamiento ocurriría en la modificación del Estado del entorno natural, las salidas o resultados corresponderían a los Impactos sobre la población y la realimentación equivaldría al conjunto de Respuestas que genera el comportamiento del sistema (rectángulos grises de la figura 2.5).

Uno de los principales cuidados que se debe tener en el trabajo con indicadores para medir el desarrollo sostenible, es que pueden ser confundidos con el fin, cuando en realidad son un medio que permite llegar a un fin.

Una forma para llegar a los indicadores sistémicos es realizar un análisis sistémico de los recursos hídricos y su proceso de gestión, lo cual se logra mediante la perspectiva de *análisis de cadena causal* o *análisis de causa raíz* (McMahan, 2011; Okes, 2009). Una propuesta para llegar al análisis sistémico, es el *modelo de solución de problemas "DO IT<sup>2</sup>"* de Okes (2009), el cual está orientado hacia el análisis de cadena causal y expone herramientas útiles para su aplicación.

El modelo de Okes (2009) se compone de 10 pasos divididos en fase de diagnóstico y fase de solución. Los pasos que se llevan a cabo dentro de la fase de diagnóstico son (1) definir o declarar el problema, (2) entender el proceso del sistema, (3) identificar las causas posibles, (4) recolectar datos y (5) analizar los datos. Por su parte, la fase de solución está integrada por los pasos (6) identificar posibles soluciones, (7) seleccionar soluciones, (8) implementar soluciones, (9) evaluar efectos y (10) institucionalizar el cambio.

El primer paso del modelo *DO IT*<sup>2</sup> (Okes, 2009), permite diferenciar problemas de síntomas e identificar distintos niveles de causas. En este paso es necesario definir o declarar el problema, identificando para ello el problema, su causa directa o inmediata (presente justo antes de que ocurra el problema) y su causa del sistema o latente (que puede explicar el porqué de la causa directa y se localiza en etapas tempranas del proceso que desencadena en el problema).

El segundo paso del modelo de Okes (2009) se refiere a entender el proceso del sistema, aplicando para ello la herramienta denominada *análisis de eventos y factor causal* (McMahan, 2011; Okes, 2009) al problema y sus causas, tanto directa como del sistema, definidos todos en el paso uno. Lo que se hace con la herramienta de análisis mencionada, es trazar la ruta o diagrama de flujo entre el problema y las causas, poniendo en evidencia otros aspectos no considerados de inicio, como pueden ser otras causas o consecuencias de que ocurra el problema.

El paso tres del modelo de Okes (2009) pretende visualizar las causas posibles de que ocurra el problema, empleando para ello la herramienta de *árbol lógico*, que no es otra cosa que complementar el esquema o diagrama de flujo logrado en el segundo paso, pero analizando el panorama como un todo, para identificar el porqué de ciertas causas, hasta llegar a las causas raíz y, por consecuencia, tener un panorama de soluciones efectivas.

El paso cuatro del modelo de Okes (2009) consistente en recolectar los datos necesarios para su cálculo. Es importante considerar que, para obtener datos útiles, es necesario analizar las variables a utilizar, la disponibilidad de los datos, las herramientas para su procesamiento, así como presunciones sobre la forma en que los indicadores se relacionan entre sí. Una vez que se cuenta con los datos necesarios, se continúa con el paso cinco del *modelo de solución de problemas "DO IT"*<sup>2</sup> (Okes, 2009), que se refiere a analizar los datos para probar las relaciones de dependencia o independencia (causales) entre los indicadores, principalmente mediante análisis de regresión y correlación (Okes, 2009).

Tras el análisis de los datos y la validación de relaciones causales, se está en condiciones de identificar las posibles soluciones para el problema (paso seis) para, posteriormente, mediante una evaluación multicriterio, se puedan seleccionar las soluciones (paso siete), las cuales se recomienda implementar en casos de estudio (paso ocho) para evaluar sus efectos

(paso nueve) y decidir finalmente si la solución se puede implementar en la totalidad de espacios donde se presenta el problema (paso diez).

Si se hace una analogía entre los 10 pasos del modelo de Okes (2009) y los fines de las fases de un proceso de GIRH, se tiene que los pasos uno al seis corresponden con la fase de análisis de la situación; mientras que los pasos siete a diez corresponderían con la fase de selección de estrategias. Por esta razón se considera a éste como parte de los modelos metodológicos que dan aplicabilidad al sustento teórico.

#### **2.2.4. Proceso hidrogeomático**

El método propuesto para llevar a cabo el proceso hidrogeomático se denomina método hidrogeomático, y se basa en el denominado ciclo de vida clásico o de cascada para el desarrollo de sistemas de información, el cual ha sido ampliamente empleado por Environmental Systems Research Institute [ESRI] (2007), Franco (2008), Manzano (2007), Manzano *et al.* (2010), Manzano y Franco (2009), Miranda y Solares (2009), Quentin *et al.* (2007) y Tomlinson (2008), y consiste en cinco pasos fundamentales:

Paso 1. Análisis de requerimientos. Este paso corresponde al análisis de la problemática que se requiere resolver. Específicamente hay que clarificar qué se quiere, detallando el producto que se espera generar, quien será el usuario, las condiciones típicas en que dicho usuario trabajará sus datos de entrada y de salida, así como el nivel de familiarización que el usuario normalmente tiene en el empleo de Sistemas de Información Geográfica. También es fundamental fijar el tiempo en el que se requiere que se finalice el producto, así como, de ser el caso, definir los tiempos para entregar resultados parciales.

Paso 2. Diseño conceptual. El diseño conceptual se refiere a la construcción de modelos teóricos y/o conceptuales de los componentes del proceso que se trabajará, mismos que permiten abstraer sólo los componentes del mismo que son fundamentales para comprender su funcionamiento, ello mediante acciones de selección y generación de sus componentes. En este paso se realiza el análisis teórico, conceptual y metodológico para clarificar su sustento y comprender la lógica de funcionamiento.

Paso 3. Diseño lógico. Para este paso ya se tiene bien definido qué se quiere (análisis de requerimientos) y cuál es su estructura y funcionamiento teórico-conceptual (diseño

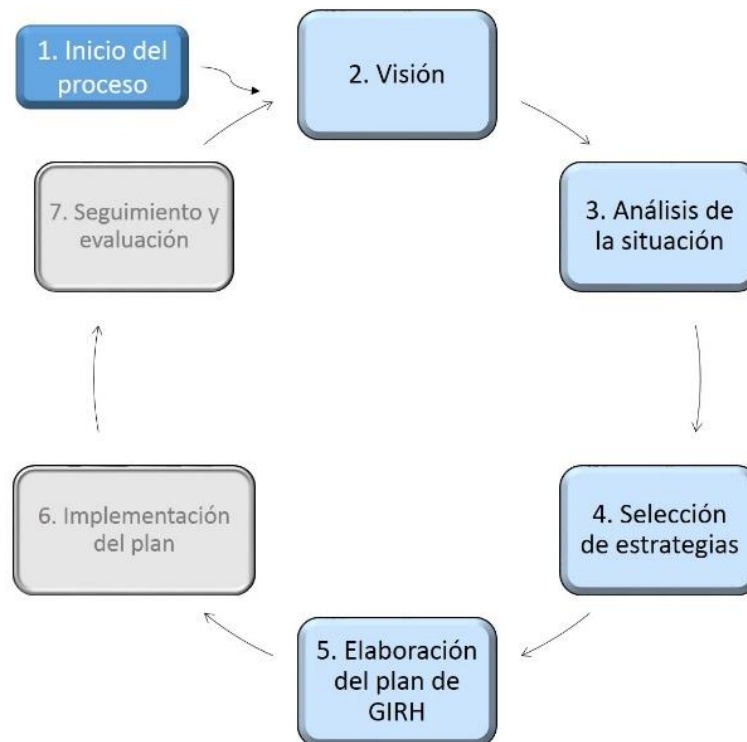
conceptual), por lo que se estará en condiciones de definir cómo funcionará un modelo. Se trata entonces de definir la lógica del flujo que deberá seguir el modelo en su funcionamiento hidrogeomático, fundamentada en la estructura conceptual y metodológica de las etapas pasadas. Lo anterior, permite identificar los datos de entrada que serán necesarios, sus características y restricciones, además de los datos intermedios o resultados parciales que se generarán para crear los resultados deseados, que serán los datos de salida, de los cuales es necesario establecer las características que tendrán para cumplir el requerimiento inicial. Normalmente esta etapa da como resultado diagramas de flujo del proceso que se implementará, mismos que se denominan modelos lógicos o hidrogeomáticos.

Paso 4. Implementación. También conocido como diseño físico, se refiere a implementar el modelo para materializar los resultados a partir de los datos de entrada y empleando los diseños establecidos en los pasos previos. Este paso también tiene que ver con elegir el programa de SIG en que se implementará el modelo, de modo tal que se puedan considerar (y, de ser el caso, estandarizar) los formatos de los datos de entrada y salida.

Paso 5. Pruebas y realimentación. Una vez implementado el modelo, es obligatorio correr pruebas bajo distintas condiciones de uso, con la finalidad de detectar anomalías de diseño. Lo anterior, para asegurar que el modelo creado genera los resultados esperados de manera eficiente. Por lo tanto, se hacen pruebas y de cada prueba se toman notas del rendimiento del modelo y de los resultados de su ejecución (realimentación), de forma tal que, si es necesario, se regresa a cualquiera de las etapas anteriores para hacer las correcciones correspondientes y continuar probando el modelo hasta que su funcionamiento sea satisfactorio.

### 3. MATERIALES Y MÉTODOS

Dentro de los materiales y métodos empleados, el proceso de elaboración de un Plan de Gestión Integrada de Recursos Hídricos (Cap-Net *et al.*, 2005) fue el que proporcionó las etapas generales de desarrollo del proyecto. Este proceso de GIRH es en sí mismo un proceso de planeación estratégica participativa, por lo que se compone de las etapas de (1) inicio del proceso de planeación, (2) determinación de la visión, misión, valores y aspectos estratégicos del proceso de planeación, (3) análisis de la situación, (4) selección de las estrategias, (5) elaboración del plan de GIRH, (6) implementación del plan de GIRH y (7) Evaluación y seguimiento de la implementación del plan de GIRH (Figura 3.1).



**Figura 3.1.** El proceso de GIRH.

Fuente: Elaborado a partir de Cap-Net *et al.* (2005).

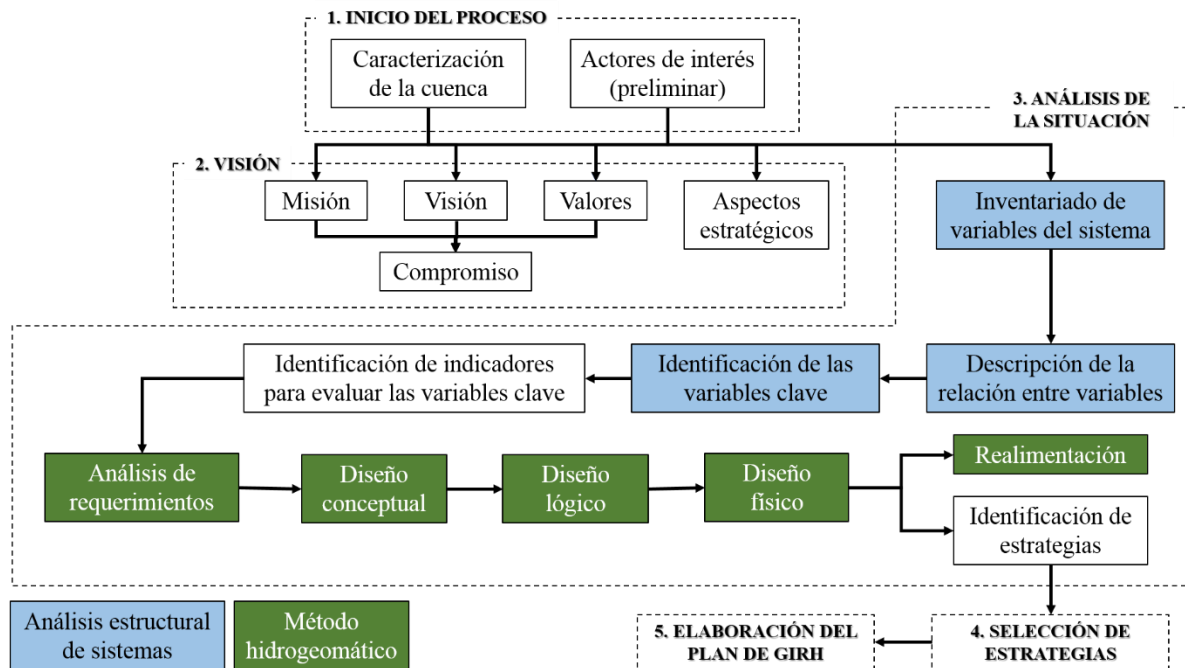
Es muy importante aclarar que, para este proyecto sólo se consideró trabajar hasta la etapa que generó como resultado el producto comprometido en el objetivo general, es decir, la de *Elaboración del Plan de GIRH*. Las etapas posteriores a la mencionada quedaron fuera del alcance del proyecto porque tienen que ver con la implementación y la evaluación y seguimiento del Plan de GIRH, asunto que depende más de la voluntad y disposición de las



autoridades municipales, estatales y federales, así como de los usuarios del agua; además, para validar la efectividad de las etapas seis y siete de la figura 3.1 se requeriría de un monitoreo constante de las acciones recomendadas por el Plan, asunto que quedó fuera de la disposición de recursos humanos, económicos y materiales de quien desarrolló este trabajo.

Adicionalmente, se requeriría que se cumplieran los umbrales de planeación especificados, que normalmente son a corto, mediano y largo plazo, fijados en años típicamente como a cada 5, 10 y 20 años, respetivamente. Una vez aclarado lo anterior, a continuación se brinda más información de cada una de estas etapas que se desarrollaron en el presente proyecto.

En la figura 3.2 se expone el procedimiento general seguido en esta investigación según las etapas de GIRH de la figura 3.1. Este procedimiento permitió asegurar el cumplimiento de los objetivos de la tesis. En los apartados subsecuentes se describen los materiales y métodos empleados en cada caso.



**Figura 3.2.** Procedimiento para desarrollar la investigación.

### 3.1. INICIO DEL PROCESO DE PLANEACIÓN

#### **3.1.1. Caracterización de la cuenca del río Nenetzingo con relación a aspectos de gestión del agua**

En primer lugar, se elaboró una caracterización de la cuenca para presentarse ante los actores clave de la misma. Esta caracterización comprendió aspectos de gestión del agua, la cual considera la localización de la cuenca, características de su población, clima, flora y fauna natural, sus recursos hídricos, el acceso a servicios hídricos, condiciones de vulnerabilidad y riesgos por cuestiones hídricas y aspectos de gestión del agua.

Los datos e información para elaborar esta caracterización se obtuvieron de instituciones oficiales, en formato de bases de datos o para SIG, por lo que se empleó esta última herramienta para integrar una base de geodatos estandarizada y se organizó cada categoría temática en proyectos de SIG.

Las capas base de SIG que aparecen en la mayoría de las figuras que se presentan en el capítulo de Resultados son las que se muestran en la tabla 3.1.

La delimitación de la cuenca del río Nenetzingo se hizo en el programa de SIG Idrisi, empleando el Modelo Numérico de Altitud (MNA) del Servicio Geológico de Estados Unidos de América (USGS, por sus siglas en inglés) y un punto que representa la salida de la cuenca ubicado antes de la unión de río Nenetzingo con el río Calderón (del cual es tributario). Para realizar la localización de la cuenca se obtuvieron del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) las capas vectoriales de la región hidrológica Balsas, sus cuencas y subcuencas.

La información para realizar un marco hidrológico-administrativo regional al que pertenece la cuenca del río Nenetzingo se obtuvo de la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) y del Organismo de Cuenca Balsas

**Tabla 3.1.** Capas base de SIG para generar algunas figuras mostradas en el capítulo de Resultados.

<b>Capa</b>	<b>Formato</b>	<b>Fuente</b>	<b>Procesos de SIG para estandarizarla</b>
División política municipal	Vectorial	Marco Geoestadístico Nacional del INEGI	Selección de los municipios del Estado de México
División política estatal	Vectorial	Capa de división política municipal	Se disolvieron los límites municipales
Modelo numérico de altitud	Matricial	Earth Explorer de USGS	Recorte a la zona de estudio
Sombreado del relieve	Matricial	Modelo numérico de altitud	Sombreado
Localidades rurales	Vectorial	Marco Geoestadístico Nacional del INEGI	Selección de las localidades del Estado de México
Localidades urbanas	Vectorial	Marco Geoestadístico Nacional del INEGI	Selección de las localidades del Estado de México
Escurrimientos	Vectorial	Cartas topográficas del INEGI	Recorte a la zona de estudio
Cuerpos de agua	Vectorial	Cartas topográficas del INEGI	Recorte a la zona de estudio
Uso de suelo	Vectorial	Capa de uso de suelo del INEGI	Recorte a la zona de estudio
Cuencas y subcuencas de la Región Hidrológica Balsas	Vectorial	Cartografía temática del INEGI	Recorte a la zona de estudio
Población	Tabular	Censo de población y vivienda del 2010 del INEGI	Estructuración de la base de datos, espacialización y creación de capa vectorial
Condición de habla indígena	Tabular	Censo de población y vivienda del 2010 del INEGI	Estructuración de la base de datos, espacialización y creación de capa vectorial
Servicios de agua, sanitario y drenaje	Tabular	Censo de población y vivienda del 2010 del INEGI	Estructuración de la base de datos, espacialización y creación de capa vectorial
Grado de marginación	Tabular	Indicadores de marginación de Conapo	Estructuración de la base de datos, espacialización y creación de capa vectorial
Temperatura media mensual	Matricial	Tesis de la maestría en Ciencias del Agua del CIRA de Ordoñez, (2015)	Recorte a la zona de estudio

**Tabla 3.1.** Capas base de SIG para generar algunas figuras mostradas en el capítulo de Resultados (continuación).

<b>Capa</b>	<b>Formato</b>	<b>Fuente</b>	<b>Procesos de SIG para estandarizarla</b>
Precipitación total mensual	Matricial	Tesis de la maestría en Ciencias del Agua del CIRA de Ordoñez, (2015)	Recorte a la zona de estudio
Uso de suelo y vegetación	Vectorial	Uso de suelo y vegetación de INEGI, Serie V	Recorte a la zona de estudio
Aprovechamientos subterráneos	Tabular	Registro público de aguas (REPGA) de la CONAGUA	Estructuración de la base de datos, espacialización y creación de capa vectorial
Mortalidad	Tabular	Base de datos de mortalidad del SINAI	Estructuración de la base de datos, espacialización y creación de capa vectorial
Morbilidad	Tabular	Base de datos de morbilidad del INSP	Estructuración de la base de datos, espacialización y creación de capa vectorial
Inundaciones	Vectorial	Atlas de riesgos del Estado de México	Recorte a la zona de estudio
Sequía	Vectorial	Monitor de sequías de Norteamérica (NADM, por sus siglas en inglés)	Recorte a la zona de estudio

Los datos de población, condición de habla indígena, así como de servicios de agua, sanitario y drenaje de cada una de las localidades de la cuenca, pertenecen al Censo de Población y Vivienda del 2010 realizado por el INEGI; mientras que la categorización del grado de marginación de cada localidad se obtuvo del Consejo Nacional de Población (CONAPO) (De la Vega, 2012). Vale la pena aclarar que para CONAPO (De la Vega, 2012: 11) *la marginación es entendida como el conjunto de problemas (desventajas) sociales de una comunidad o localidad y hace referencia a grupos de personas y familias.*

La clasificación climática se realizó con un módulo desarrollado por el Centro de Recursos Idrisi de la Universidad Autónoma del Estado de México (CRI-UAEM), donde colaboró el autor de la presente tesis. Dicho módulo automatiza en el entorno del SIG Idrisi, el proceso de clasificación climática de Köppen modificado por Enriqueta García (García, 1987), el cual se denomina Köppen-García. Las principales capas de entrada al módulo fueron 12 archivos matriciales de temperatura media mensual y 12 de precipitación mensual, mismos que fueron elaborados por Ordoñez (2015) como parte de su tesis de Maestría en Ciencias del Agua en

el CIRA, donde empleó datos mensuales del periodo 1960-2010 y el método Spline en ANUSplin (el paquete con el que se crearon las capas de clima del proyecto World Clim que se usan para modelar el cambio climático). Con estas mismas capas de temperatura y precipitación mensual, se obtuvieron los valores medios mensuales para la cuenca del río Nenetzingo, considerando además los valores máximos y mínimos para cada caso.

La información para caracterizar el uso de suelo y vegetación en la cuenca, se obtuvo de la serie V del INEGI. Esta capa fue generada por este instituto, actualizando la serie IV con imágenes LandSat del 2011.

El cálculo de los parámetros fisiográficos de la cuenca del río Nenetzingo se realizó en el módulo hidrogeomático “Ciclo hidrológico” de Idrisi, desarrollado por Franco (2008), donde a partir del MNA y del archivo matricial de la cuenca se obtuvieron los valores para describir las condiciones de forma, ubicación y relieve tanto de la cuenca como de su río principal, para relacionarlas con patrones generales de régimen de lluvias, así como de velocidad y volumen de escurrimiento.

La información de aprovechamientos subterráneos del acuífero 1504 Tenancingo, se obtuvo del Registro Público de Aguas (REPDA) de la CONAGUA. Originalmente el sistema del REPDA proporciona una base de datos en línea, la cual es necesario ir descargando para cada título registrado hasta conformar una base de datos de escritorio que se puede espacializar mediante las coordenadas geográficas de los aprovechamientos.

En lo que se refiere a los datos empleados para analizar la vulnerabilidad y riesgos por cuestiones hídricas, se descargaron bases de datos de mortalidad del Sistema Nacional de Información en Salud (SINAIS) y de morbilidad del Instituto Nacional de Salud Pública (INSP), en ambos casos para el año 2010. Se estructuraron bases de datos para las Enfermedades Diarreicas Agudas (EDAS) en la zona de estudio y se calcularon, por un lado la tasa de mortalidad a nivel localidad (Ecuación 3.1) y, por otro, la prevalencia para los casos de morbilidad a nivel municipal (nivel de desagregación máximo proporcionado por la institución) (Ecuación 3.2).

$$TM_{EDAS} = \frac{n_{EDAS}}{N} * k \quad \text{.....} \quad \text{(Ecuación 3.1)}$$

(con base en Hernández, 2007)

Donde:

$TM_{EDAS}$ : Tasa de mortalidad por Enfermedades Diarreicas Agudas (EDAS), durante el 2010;

$n_{EDAS}$ : Número de casos de muerte por EDAS en la localidad, durante el 2010;

$N$ : Población total de la localidad, durante el 2010;

$k$ : Factor de ajuste, equivalente a 10, 000 habitantes para este caso.

$$PM_{EDAS} = \frac{n_{EDAS}}{N} * k \quad \text{.....} \quad \text{(Ecuación 3.2)}$$

(con base en Hernández, 2007)

Donde:

$PM_{EDAS}$ : Prevalencia de morbilidad por EDAS, durante el 2010;

$n_{EDAS}$ : Número de casos de morbilidad por EDAS en el municipio, durante el 2010;

$N$ : Población total del municipio, durante el 2010;

$k$ : Factor de ajuste, equivalente a 100 habitantes para este caso.

Por otro lado, se consultaron los Atlas de Riesgos del gobierno estatal de los años 2000 a 2010 con la finalidad de identificar eventos de inundación, pero no se identificó ningún en la cuenca del río Nenetzingo, y más bien se detectó la presencia de deslaves o deslizamiento de tierra.

Para caracterizar la presencia de sequías en la zona de estudio, se obtuvieron capas vectoriales mensuales para el periodo 2003-2013 del Monitor de Sequías de Norteamérica (NADM, por sus siglas en inglés), las cuales se procesaron para conocer la categoría máxima de sequía que se ha presentado alguna vez en la cuenca, el número de meses con algún grado de sequía y caracterizar de forma anual la condición media de presencia de sequías.

Además, en todos los rubros considerados de la caracterización de la cuenca, se incluyó información que fue recabada durante los recorridos de campo y de las pláticas con autoridades y delegados de la zona de estudio, así como de los planes de desarrollo municipal vigentes en ese momento.

### **3.1.2. Listado preliminar de los actores de interés para la GIRH en la cuenca del río Nenetzingo**

A partir de la caracterización de la situación de los recursos hídricos en la cuenca del río Nenetzingo, se elaboró un primer listado preliminar de actores de interés para la GIRH en la

cuenca del río Nenetzingo. Al mismo tiempo, se estableció contacto con algunos actores clave en la cuenca, por un lado, aquellos actores relevantes para facilitar el trabajo de campo y, por otro lado, aquellos que eran clave en la gestión del agua en la cuenca. En un principio se realizaron reuniones individuales para presentar el documento, las intenciones del proyecto en general y tratar de coordinar una reunión conjunta.

Los primeros actores de la cuenca del río Nenetzingo contactados para dar inicio a la parte práctica de la investigación fueron el director del OPDAPAS de Ixtapan de la Sal, L. en E. Joaquín Cornelio Vilchis Vara (administración 2013-2015), a quien el 24 de octubre de 2014 se le presentó el proyecto de investigación y se le invitó a participar en el mismo. Junto con el director, se efectuó un recorrido por las instalaciones del servicio de agua potable que abastecen al municipio, específicamente los depósitos de agua, la planta potabilizadora “Alfredo del Mazo” y el canal que conduce al agua hasta esta planta. En dicho recorrido se incluyó la parte alta de la cuenca del río Nenetzingo.

Respecto al municipio de Villa Guerrero, también se efectuó una reunión el día 23 de octubre de 2014 con el C. Nazario Vázquez Moreno, titular de la Sexta Regiduría de la administración 2013-2015, la cual se encarga de la prestación de los servicios de agua, alcantarillado y saneamiento del municipio, con quien se acordó una reunión para el 14 de noviembre de 2014. A esta reunión asistieron los delegados de la mayoría de las localidades del municipio, se les expuso el proyecto de investigación y se mostraron interesados en participar, aun cuando sus localidades quedan fuera de la cuenca del río Nenetzingo.

No obstante que las administraciones 2013-2015 en ambos municipios se mostraron interesados por participar y apoyar esta investigación, se tuvo que reiniciar el acercamiento con las administraciones 2016-2018 de esos mismos municipios. Tanto en Ixtapan de la Sal como en Villa Guerrero hubo alternancia del partido político del candidato que ganó las elecciones locales (en Ixtapan de la Sal la transición fue del PRD al PRI, mientras que en Villa Guerrero fue del PRI al PRD). Esta situación dificultó mantener el apoyo de las administraciones anteriores y diluyó su nivel de participación con este proyecto académico.

## 3.2. DETERMINACIÓN DE LA MISIÓN, VISIÓN, VALORES Y ASPECTOS ESTRATÉGICOS DEL PROCESO DE PLANEACIÓN

### 3.2.1. Determinación de la misión

Para identificar la misión para el plan de GIRH, se buscó generar una declaración que explicara qué hace o a qué se dedica un conjunto de actores de interés que promueve la GIRH, las funciones que desempeña, las necesidades que satisface, los bienes y/o servicios con que satisfacen estas necesidades, para quién lo hacen, cómo lo hace, los fundamentos en que se basa y su ventaja competitiva respecto a otras organizaciones con el mismo propósito.

### 3.2.2. Determinación de la visión

Para expresar la visión se buscó declarar la condición futura deseada para un individuo o una organización, la cual fuera suficientemente clara e importante para considerarla y para realizar las acciones necesarias a fin de hacerla realidad. En ella fue necesario tomar en cuenta la misión y los intereses de todos los actores, así como clarificar el lapso de tiempo a realizarse y se procuró que fuera clara y realizable. Además, se buscó expresarla de forma amplia y detallada (acciones-actores-rol), así como positiva y alentadora. Finalmente, se consideró que la visión debe ser compartida para promover su apoyo (recibir realimentación y consenso) y así crear una comunidad, que es el conjunto de personas con una visión común.

### 3.2.3. Determinación de los valores

Para elegir los valores para la planeación estratégica, se consideró a éstos como conductas y actitudes que se valoran porque hacen sentir bien al individuo consigo mismo y con su entorno. Por lo tanto, se expresan en las conductas y actitudes del trato y actuación individuales, así como en el trato deseado como individuo u organización.

En este trabajo, para definir los valores indicados para el éxito de un individuo u organización, se plantearon las siguientes interrogantes: ¿qué valores ayudan a realizar la misión y la visión? ¿cuál es la forma en que ayuda cada uno de esos valores? y ¿cómo se interrelacionan esos valores entre sí?



### **3.2.4. Determinación del compromiso**

El compromiso es una declaración de la disposición por atender y comprender alguna situación o problemática que ocupa a un individuo o una organización, con el fin de colaborar en brindar alguna solución viable, eficiente y efectiva (sostenible).

Una forma de identificar el compromiso necesario fue siguiendo el proceso siguiente: (a) realizando un diagnóstico preliminar para identificar la situación o problema, (b) definiendo estrategias generales para su solución, (c) creación de demanda informada entre los actores de interés, (d) búsqueda de apoyo para afinar y materializar las estrategias y (e) búsqueda de consenso para declarar el apoyo o compromiso.

Para hacer la declaración final del compromiso, se expone la situación o problema a atender (con base en el diagnóstico preliminar), se indican las estrategias generales que podrían conducir a una solución, se identifican los actores que se deberían comprometer, así como los compromisos que han de adquirir dichos actores y señalar el tipo de instrumentos formales e informales que serían necesarios de aplicar para asegurar el cumplimiento de los compromisos (acuerdos, planes, políticas, contratos, pactos, entre otros).

### **3.2.5. Determinación de aspectos estratégicos del proceso de planeación**

Para determinar los aspectos estratégicos del proceso de planeación, se consideró la caracterización general de la cuenca y el listado preliminar de los actores de interés. Se realizó una evaluación FODA de ambos elementos en su conjunto, con la finalidad de prever temas generales que faciliten buscar el cumplimiento de la misión, visión, valores y compromiso.

## **3.3. ANÁLISIS DE LA SITUACIÓN**

La etapa de análisis de la situación es en la que se propuso el trabajo hidrogeomático con indicadores sistémicos, constituyendo así la parte esencial, clave e innovadora para la misma en un proceso de GIRH. Sin embargo, para llegar a los indicadores sistémicos primero fue necesario realizar un análisis estructural del sistema de gestión del agua en la cuenca del río Nenetzingo.

### **3.3.1. Análisis estructural de sistemas**

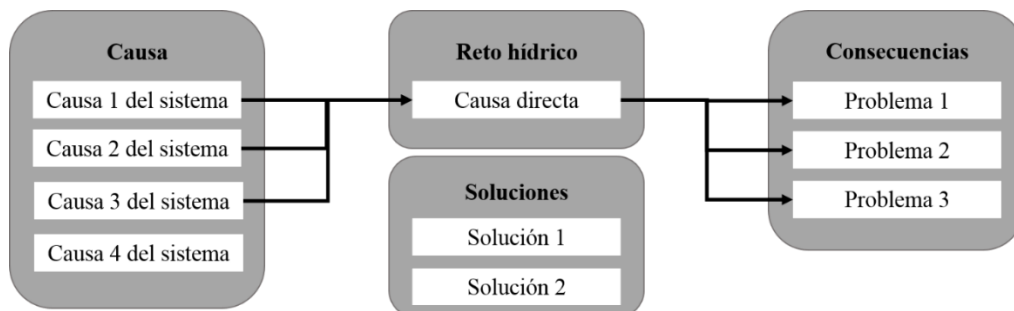
El procedimiento que siguió este trabajo para realizar el análisis estructural del sistema de gestión del agua en la cuenca del río Nenetzingo se generó a partir de un análisis comparativo entre el trabajo de diversos autores (Aledo, et al., 2008; Ambrosio-Albalá et al., 2011; Arya y Abbasi, 2001; Delgado-Martínez y Pantoja-Timarán, 2015; Delgado-Serrano et al., 2015; Estuardo-Cevallos et al., 2015). No obstante lo anterior, en este procedimiento se pueden distinguir las tres fases propuestas por Godet (1994, 2000 y 2009) y Godet y Durance (2011): inventariado de las variables del sistema, descripción de la relación entre variables e identificación de las variables clave.

#### **3.3.1.1. Inventariado de variables**

La fase de inventariar variables inició con la realización de una entrevista semiestructurada a delegados y delegadas de las localidades que se ubican dentro de la cuenca. Ellos están enterados de las problemáticas que aquejan a su localidad y se las transmiten a las autoridades municipales para actuar en consecuencia. Evidentemente, los temas hídricos están incluidos en la agenda.

El contenido de la entrevista semiestructurada se fundamentó en la caracterización general de la zona de estudio que se elaboró previamente (investigación documental, de campo y de análisis de datos y estadísticas). La entrevista pedía identificar los retos (problemas) hídricos en la localidad en los usos del agua doméstico, agrícola y ambiental. Posteriormente, por cada reto hídrico identificado, se pidió a los entrevistados que indicaran las causas que los provocan, las consecuencias que tenía la presencia de cada reto, así como las acciones emprendidas para solucionarlo. Esta estructura de entrevista fue diseñada considerando un análisis de causa raíz (Okes, 2009; McMahan, 2011).

Las respuestas de las entrevistas se tradujeron a modelos de la dinámica del sistema, uno por cada reto hídrico existente en la cuenca del río Nenetzingo, de forma tal que se respetó la estructura de problema-causa directa o inmediata-causa del sistema o latente de Okes (2009), así como las soluciones (Figura 3.3).



**Figura 3.3.** Representación de la forma que se modeló la dinámica del sistema hídrico en la cuenca del río Nenetzingo.

El siguiente paso fue el análisis de causa raíz. Se integraron los retos hídricos comunes en las localidades, al tiempo que se incluyeron los retos que sólo se mencionaron en algunas localidades. Lo anterior bajo el supuesto de que un tema abordado en una localidad también puede estar presente en otra localidad de la cuenca, pero aún no es evidente. Para cada uno de estos retos hídricos de cuenca se tomaron todas las respuestas de causas y consecuencias, así como las soluciones, integrando aquellas que fueran comunes y anexando las que sólo se habían mencionado en algunas localidades. De esta agrupación se obtuvo el listado de variables del sistema de gestión del agua de la cuenca del río Nenetzingo.

Un requisito preliminar a la evaluación de las relaciones entre variables dentro de un proceso de análisis estructural de sistemas, es ofrecer una definición de las variables a evaluar para lograr una visión común entre todos los evaluadores respecto a dichas variables en el contexto del sistema específico que se está evaluando. Por ejemplo, cuando se habla de calidad del agua, se especificó que en la cuenca se emplean agroquímicos para los cultivos o que el agua residual doméstica es vertida en escurrimientos sin recibir el tratamiento adecuado.

### 3.3.1.2. Descripción de la relación entre variables

Esta segunda etapa se realizó con el apoyo del programa computacional MICMAC (Matriz de Impactos Cruzados, Multiplicación Aplicada a una Clasificación). El primer paso fue evaluar la relación entre las variables. Para esta evaluación se solicitó el apoyo de expertos en el tema, tanto del ámbito académico como gubernamental. Específicamente, se contó con la participación de seis investigadores en gestión integrada del agua del CIRA y un representante de la autoridad hídrica municipal en Villa Guerrero (aunque la evaluación de este representante quedó inconclusa y ya no se incluyó en los resultados).

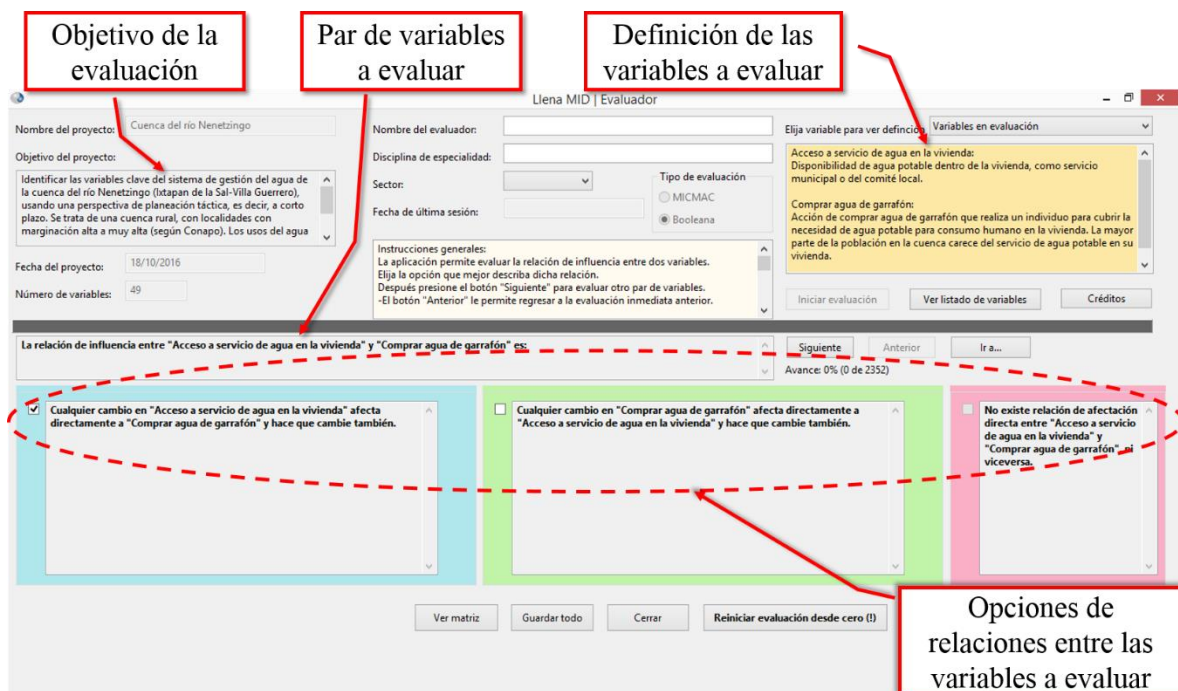
Se pidió a estos actores que evaluaran la relación entre las variables del sistema de gestión del agua en la cuenca través de una *Matriz de análisis estructural* (Godet y Durance, 2011), donde tanto las filas como las columnas enlistaban a las variables, de modo que se ejecutó una evaluación por pares, preguntándose en cada caso si un cambio en una primera variable (listada en la fila) implicaría de forma directa que también cambiara una segunda variable (listada en la columna). Esta pregunta se aplicó a cada variable respecto al resto de las mismas, evaluando un total de 2, 352 relaciones.

Con base en la propuesta de Godet (1994) para el llenado de la matriz de análisis estructural, si la respuesta era afirmativa se colocaba el número uno en la celda correspondiente. En cambio, si la respuesta era negativa, entonces se calificaba con cero dicha relación. Se utilizó esta lógica por dos razones principales, la primera relacionada con sólo destacar la existencia de relaciones de influencia entre variables, sin importar la magnitud de dicha relación. Esto permitió reducir las disparidades que genera discutir si existe o no la influencia entre variables, aunada a la discusión más subjetiva del grado que tiene dicha influencia. La segunda motivación se relaciona con el horizonte de la planeación táctica (de corto plazo), por lo que no fue de interés el analizar relaciones potenciales (de largo plazo). El resultado fue una matriz de influencia directa (MID).

Para reducir la complejidad en el llenado de esta MID, se desarrolló y empleó una aplicación informática denominada *Llena MID* (Figura 3.4), en la que se presentó a los evaluadores, entre otros elementos, el objetivo de la evaluación, el par de variables a evaluar y la definición de cada variable, todo con la finalidad de mantener el ejercicio en el marco del caso específico que se estaba analizando.

Se obtuvo una MID por cada evaluador, mismas que se integraron en una sola matriz aplicando un criterio de mayoría de votos para cada evaluación de relación de influencia directa.

Posteriormente, y siguiendo el método de MICMAC, se elevó la MID integrada a la quinta potencia para determinar la matriz de influencia indirecta (MII). Se determinó este valor de potencia porque a partir de ésta se logró la estabilidad en MICMAC de las jerarquías de influencia y dependencia (Godet, 1994). El resultado fue la MII para las variables de la cuenca del río Nenetzingo.



**Figura 3.4.** Aplicación informática *Llena MID*, para el llenado de la matriz de influencia directa (Manzano-Solís y Gómez-Albores, 2016).

Una vez generadas las MID y MII en MICMAC, éstas se integraron en una matriz de influencia total (MIT) fuera de dicho programa (ya que MICMAC no cuenta con esta alternativa de integrar las dos primeras matrices). La MIT es una propuesta de Diaz-Delgado (comunicación personal, 2016) para complementar el análisis MICMAC.

Para esta integración, primero se estandarizó la MII al dividir los valores de todas las celdas por el valor más alto contenido en ella misma, de forma tal que se obtuvo una matriz con valores que iban de cero a uno. Esta nueva matriz se denominó MIIE (Matriz de Influencia Indirecta Estandarizada) (Ecuación 3.3). Posteriormente, se sumó la MIIE con la MID (Ecuación 3.4), de modo tal que la MIT indicó si una relación entre variables era directa (valores cero o uno), indirecta (valores entre cero y uno) o ambas (valores mayores que uno), al mismo tiempo que el valor de la suma indicó la magnitud de dicha relación.

$$a_{i,j} = \frac{b_{i,j}}{Max} \dots\dots\dots \text{(Ecuación 3.3)}$$

Donde:

$a$  = celda de la matriz de influencia indirecta estandarizada;

$b$  = celda de la matriz de influencia indirecta (resultado de elevar a una potencia);

$i$  = columna de la matriz, con valores 1, 2, 3, ...,  $n$ ;

$j$  = renglón de la matriz, con valores 1, 2, 3, ...,  $n$ ;

$n$  = número de variables del sistema;

$Max$  = celda con el valor máximo en toda la matriz de influencia indirecta.

$$c_{i,j} = d_{i,j} + a_{i,j} \dots\dots\dots \text{(Ecuación 3.4)}$$

Donde:

$c$  = celda de la matriz de influencia total;

$d$  = celda de la matriz de influencia directa;

$a$  = celda de la matriz de influencia indirecta estandarizada.

### 3.3.1.3. Identificación de las variables clave

Se calcularon los indicadores de influencia y dependencia para la MIT, considerando que la suma de los valores de una fila, indica el nivel de influencia total que tiene una variable dentro del sistema (Ecuación 3.5), mientras que la suma de los valores de una columna, señalan el nivel de dependencia total de esa variable respecto al sistema (Ecuación 3.6).

$$I_j = \sum_{i=1}^n e_i \dots\dots\dots \text{(Ecuación 3.5)}$$

Donde:

$I$  = Indicador de influencia total de la variable en la fila  $j$ ;

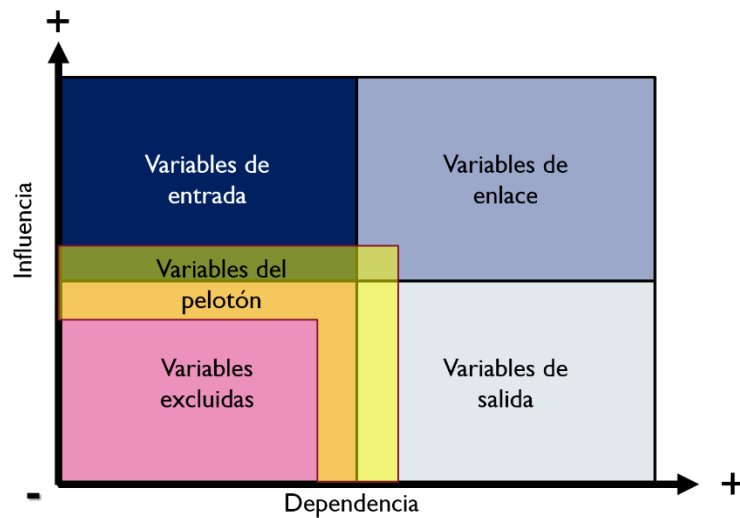
$e$  = celda de la matriz (MID, MIIE o MIT).

$$D_i = \sum_{j=1}^n e_j \dots\dots\dots \text{(Ecuación 3.6)}$$

Donde:

$D$  = Indicador de dependencia total de la variable en la columna  $i$ ;

Emulando el fundamento de MICMAC, se consideraron los valores de dependencia como el eje de las  $x$  y los valores de la influencia como el eje de las  $y$  para graficar la relación influencia-dependencia de las variables. Se identificó el punto medio tanto de dependencia como de influencia y a partir de su intersección se generaron cuatro cuadrantes para realizar la clasificación de la relación de influencia-dependencia de las variables (Figura 3.5).



**Figura 3.5.** Ejemplo de gráfica de la relación influencia-dependencia de las variables.

Acorde con Godet (1994), y apoyándose en la figura 3.5, las variables del cuadrante superior izquierdo se denominaron variables de entrada, las del cuadrante superior derecho variables de enlace, las del cuadrante inferior derecho variables de salida y las del cuadrante inferior izquierdo variables excluidas. Existe una zona en el gráfico reservada para las denominadas variables del pelotón.

Las variables de entrada (Figura 3.5) influyen sobre otras variables del resto del sistema, al mismo tiempo que pocas o ninguna variable influye sobre ellas. Por lo tanto, se trata de variables impulsoras de la dinámica del sistema y su comportamiento influye en los demás componentes del sistema y en el sistema como un todo. Adicionalmente, la condición que presenta cada una de estas variables de entrada se relaciona más con factores externos al sistema bajo análisis.

Las variables de enlace (Figura 3.5) influyen en el comportamiento de otras variables, pero también reciben una considerable influencia de otras variables del propio sistema (sobre todo de las de entrada). Esta condición las posiciona como inestables, ya que su comportamiento puede ser influenciado por distintas variables de forma directa, indirecta o mediante ciclos de retroalimentación, dicho comportamiento se traslada en forma de cascada hacia las variables a las que influye, directa e indirectamente.

Evidentemente, las variables de enlace influyen sobre otras variables, principalmente sobre las variables de salida (Figura 3.5). Estas últimas son dependientes del comportamiento de las otras variables (de entrada y de enlace) y poco influyentes en el comportamiento de alguna otra variable, por lo que la condición que presenta cada una de estas variables de salida se relaciona más con factores internos al sistema bajo análisis.

Las variables excluidas (Figura 3.5) no ejercen influencia considerable sobre el resto de componentes del sistema y a la vez no expresan gran dependencia de lo que ocurre con el resto de variables, por lo que cualquier acción sobre ellas no repercutirá significativamente en la totalidad del sistema, ni viceversa. Mientras que las variables del pelotón (Figura 3.5) son aquellas que no se pueden definir claramente como influyentes o dependientes, y por lo tanto no se incluyeren en ninguno de los grupos anteriores.

Para definir la franja que delimita a las variables del pelotón, se usó el método de clasificación de datos Goodness of variance fit o GVF (Environmental Systems Research Institute, ESRI, 2016). El principio de la clasificación por GVF, es que los conjuntos de datos que representan una clase son muy parecidos entre sí al interior de la clase y son más diferenciados respecto a los datos pertenecientes a otras clases (ESRI, 2016). En la ecuación 3.7 se presenta la forma de calcular el GVF.

$$GVF = \frac{SDAM - SDCM}{SDAM} \dots\dots\dots (Ecuación 3.7)$$

Donde:

*SDAM* = Suma de las desviaciones cuadradas para la media de la matriz (Sum of squared deviations for array mean);



*SDCM* = Suma de las desviaciones cuadradas para la media de la clase (sum of squared deviations for class means).

Las ecuaciones 3.8 y 3.9 exponen cómo calcular los valores de *SDAM* y *SDCM*, respectivamente.

$$SDAM = \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{X})^2 \text{ ..... (Ecuación 3.8)}$$

$$SDCM = \sum_{i=1}^m (x_{i,h} - \bar{X}_h)^2 \text{ ..... (Ecuación 3.9)}$$

Donde:

$x$  = Dato  $i$  del conjunto de datos;

$n$  = total de datos;

$\bar{X}$  = media del conjunto de datos;

$h = 1, 2, 3, \dots, m$ ;

$m$  = total de clases;

El valor del GVF varía entre cero y uno. Lo ideal es buscar llegar a uno, porque implica el mejor ajuste.

Para aplicar el GVF se deben ordenar los datos de forma jerárquica ascendente y establecer el número de clases en que se desean dividir los mismos. La búsqueda de límites óptimos de clase es un proceso cíclico. Se hace un primer cálculo del GVF y se mueven algunos datos de una clase a otra para calcular nuevamente el GVF con las nuevas clases y compararlo con el anterior. El proceso es sucesivo hasta lograr un GVF que no se pueda mejorar (y que, en la medida de lo posible, sea cercano a uno).

En el caso de esta investigación, se delimitaron tres categorías de influencia y tres de dependencia. Las tres categorías fueron alto, medio y bajo, en atención a los objetivos del análisis estructural de hallar las variables más influyentes y más dependientes, adicional al

punto medio entre ellos, es decir, las variables que no se ajustan completamente a alguno de los extremos.

Con el uso del método de clasificación por GVF se buscó que, tanto para la influencia como para la dependencia, los datos de las categorías fueran muy parecidos al interior de cada categoría (alta, media o baja) y diferenciados respecto al resto de grupos. Lo anterior brindó los límites mínimo y máximo de cada clase para conocer la zona de las variables con alta y baja influencia, así como de alta y baja dependencia y, por supuesto, la zona de influencia o dependencia medias, según fuera el caso. Y fueron precisamente los valores que delimitaron las clases de influencia y dependencia media, las que se usaron para definir el límite de las variables de pelotón.

Una vez categorizadas las variables, se procedió a matizar a las variables clave. Las variables clave son aquellas que permiten reducir la complejidad del sistema ante un amplio número de variables involucradas, pero conservando una estructura que permita analizar la dinámica del mismo. Para Godet (1994) las variables clave son aquellas que son más influyentes sobre el sistema y aquellas que son más dependientes de la dinámica del mismo. Por lo tanto, se consideraron como variables clave, a aquellas que se posicionaron fuera de la zona de pelotón y del cuadrante de variables excluidas al sistema.

Adicionalmente, a cada variable clave se categorizó según el esquema FiPEIR (conforme se estableció en los objetivos particulares), así como por el Área Estratégica de Planeación y Articulación (AEPA) a la que pertenecen, y que es propuesta por Díaz-Delgado *et al.* (2009) en su *Guía de planeación estratégica participativa para la gestión integrada de los recursos hídricos de la cuenca Lerma-Chapala-Santiago*. En cuanto al esquema FiPEIR, se propuso expresar las relaciones sistémicas en torno al agua con este esquema porque expresa relaciones causales. La tabla 3.2 expone los criterios para categorizar a FiPEIR.

Respecto a la categorización por AEPA, Díaz-Delgado *et al.* (2009) manejan cuatro de ellas; sin embargo, a través de un comentario personal, Díaz-Delgado (2016) ha señalado que esas AEPAS se deben replantearse para ajustar a las dimensiones del desarrollo sostenible y que sean operativas para la GIRH. Por lo tanto, en este trabajo se ofrece la siguiente propuesta con la cual se categorizaron las variables del sistema de gestión del agua en la cuenca del río Nenetzingo (Tabla 3.3).

**Tabla 3.2.** Criterios para categorizar los elementos del modelo de la dinámica del sistema hídrico.

<b>Aspecto</b>	<b>Criterio</b>	<b>Ejemplo</b>
Fuerza impulsora	Se refiere al contexto que conduce a la toma de decisiones y que no depende de individuos la modificación de su presencia. Originada por acciones no premeditadas.	Carencia de presupuesto para pagar el servicio de agua
Presión	Acciones que ejercen individuos o conjuntos de personas y que pueden afectar al ambiente.	Consumo de agua natural de un lago
Estado	Condición en que se encuentra el entorno natural, fuente de los recursos que usa el humano.	Volumen natural de agua en un lago
Impacto	Afectación que sufre o puede sufrir la población humana, a causa de malas condiciones de los recursos naturales	Escasez de agua, al reducir el volumen en el lago
Respuesta	Acciones que autoridades o población han realizado para tratar solucionar o minimizar el impacto que sufre la población. Se pueden aplicar a aspectos de fuerza impulsora, presión, estado o impacto.	La más obvia (pero menos sostenible): buscar fuentes alternativas de agua

**Tabla 3.3.** Criterios de categorización según Áreas de planeación y articulación estratégica (AEPA).

<b>AEPA</b>	<b>Criterio de categorización</b>
Social	Esta área estratégica orienta la planeación con relación a mejora de las condiciones de vida de la población. También, incluye aspectos de promoción de la organización, la participación y la equidad. Por último, contiene rubros con relación a su articulación con el uso de bienes y servicios provenientes de las áreas económica, ambiental e institucional.
Económica	El área estratégica de planeación y articulación de la dimensión económica, se relaciona con los patrones de producción y consumo, es decir, la transformación de los recursos naturales en bienes y servicios, así como su transferencia a los usuarios. En ambos casos mediante las instituciones y tecnologías adecuadas. También incluye apreciar las finanzas de individuos, grupos y regiones.

**Tabla 3.3.** Criterios de categorización según Áreas de planeación y articulación estratégica (AEPA) (continuación).

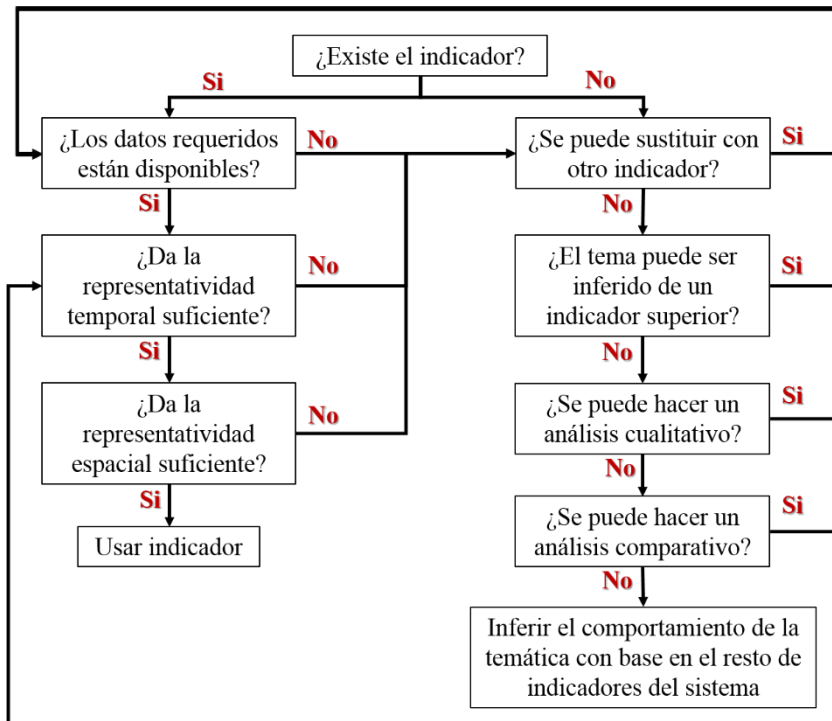
AEPA	Criterio de categorización
Ambiental	La orientación de la planeación que ofrece esta área, es con relación a evaluar las condiciones del entorno ambiental, su potencial para aprovechar los recursos naturales y su uso como tal. Adicionalmente, se ocupa de promover la conservación de dichos recursos como motor del desarrollo económico y el bienestar social. Para esto último se ha de considerar las cuestiones institucionales, científicas y tecnológicas más adecuadas.
Institucional, información, ciencias y tecnología	Se refiere a los datos e información indispensables para la toma de decisiones, así como a los instrumentos institucionales, científicos y tecnológicos para su procesamiento y uso óptimo. En la parte institucional, se encuentran las instituciones de los ámbitos social, económico y ambiental, y sus normas, planes y políticas para propiciar su integración. En la parte científica se encuentran las disciplinas que brindan los sustentos teórico-metodológicos para la generación del conocimiento. Mientras que las tecnologías son los medios que permiten, tanto a los ámbitos tanto institucional como científico, la eficaz realización de sus fines.

### 3.3.2. Identificación de indicadores para evaluar las variables clave

Una vez expresadas las variables clave del sistema de gestión del agua en la cuenca del río Nenetzingo, el siguiente paso consistió en encontrar al menos un indicador (o índice) por cada variable clave. La finalidad de este indicador fue permitir obtener una valoración cuantitativa o cualitativa del tema que representó la variable y darle un contexto espacial sobre la cuenca. De esta forma se facilitaría evaluar de forma integrar el análisis de la situación en la cuenca, al conocer el comportamiento de los indicadores y su distribución en la cuenca.

Es importante mencionar que para la selección final de indicadores que se emplearían, se buscó que éstos cumplieran una serie de criterios para asegurar su aplicación práctica (como

disponibilidad de datos, validez y precisión, escala espacial y temporal, fiabilidad e interpretación de resultados para generar información útil) y no se consideraron indicadores que no fueran realizables en el marco del proyecto de investigación. En la figura 3.6 se expone el procedimiento seguido para la selección de los indicadores usados en esta investigación.



**Figura 3.6.** Procedimiento y criterios para la identificación de indicadores para evaluar las variables clave.

### 3.3.3. Método hidrogeomático

Para desarrollar el modelo hidrogeomático de los indicadores sistémicos, se trabajó aplicando el método hidrogeomático o de cascada para la elaboración de sistemas de información, mismo que ha sido implementado con éxito por varios autores para el desarrollo de aplicaciones hidrogeomáticas (Environmental Systems Research Institute [ESRI], 2007; Franco, 2008; Manzano, 2007; Manzano *et al.*, 2010; Manzano y Franco, 2009; Miranda y Solares, 2009; Quentin *et al.*, 2007; Tomlinson, 2008). Dicho método consiste en cinco pasos, en los cuales es necesario que se lleve por completo un paso antes de pasar al siguiente, siendo éstos: (a) Análisis de requerimientos, (b) Diseño conceptual, (c) Diseño lógico, (d) Diseño físico y (e) Realimentación. A continuación se describen a detalle estos pasos.

#### 3.3.3.1. Análisis de requerimientos

Para identificar los requerimientos, se detalló el producto a generar para el sistema de gestión del agua de la cuenca del río Nenetzingo, sobre todo como un insumo para un proceso de GIRH de dicha cuenca. De forma específica, se definieron el usuario de dicho producto, las condiciones de los datos de entrada y las características de los datos de salida, así como el medio para su mejor visualización.

#### 3.3.3.2. Diseño conceptual

En este paso, se documentaron todos y cada uno de los indicadores en cuanto a los conceptos y variables que involucran, así como su expresión conceptual o matemática, de forma tal que se identificaron los datos de entrada necesarios para su cálculo, la forma y factibilidad de obtenerlos y la manera de interpretar sus resultados. El producto resultante de esta fase fue la documentación de los indicadores sistémicos y, en dado caso, su expresión conceptual a manera de expresiones matemáticas.

#### 3.3.3.3. Diseño lógico

Aquí es donde se comenzó a concebir cómo se iban a materializar los modelos conceptuales para satisfacer los requerimientos establecidos. De forma específica, aquí fue donde se obtuvieron y prepararon los datos que requieren los indicadores para su cálculo, identificando para ello la secuencia lógica de cada indicador para llegar de los datos de entrada a la producción de los datos de salida, analizando todas las posibles consideraciones que podrían suceder el proceso de cálculo (como estructuración de bases de datos, espacialización de información o adecuación de formatos de datos).

Este paso generó como producto un conjunto de modelos hidromeométricos (diagramas de flujo con operaciones espaciales y tabulares) para realizar el cálculo los indicadores sistémicos en un entorno de SIG (sin especificar aún cuál se utilizaría), así como un diccionario de datos para cada uno de los indicadores, donde se expresó la naturaleza de las variables que emplea, como el tipo de dato, su intervalo y las posibles restricciones que pudiera presentar para la realización de los cálculos.

#### 3.3.3.4. Diseño físico

El diseño físico hace referencia a implementar o materializar los diseños de la etapa previa en el SIG para realizar los cálculos y obtener los resultados esperados, todo en un entorno espacial de la cuenca. A este momento los datos de entrada deberán estar listos para emplearse siguiendo las secuencias lógicas documentadas en el tercer paso del método hidrogeomático, de forma tal que se lleguen a los resultados para todos y cada uno de los indicadores sistémicos a lo largo y ancho de la cuenca.

En el caso específico de esta investigación en un inicio se optó por utilizar software libre para la implementación de los modelos hidrogeomáticos. Esta decisión se basó en el hecho de que la cuenca y los municipios a los que pertenece tienen recursos (humanos, económicos y de infraestructura) limitados como para invertir en un SIG con licencia comercial y el personal capacitado para su uso. De esta forma, se trabajó con PostgreSQL como manejador de bases de datos y PostGIS como una extensión espacial para el primero. En la práctica PostGIS carga un conjunto de funciones para el análisis espacial de la información, por lo que convierte a PostgreSQL en una base de datos geoespacial (BDG).

No obstante lo anterior, durante la implementación hubo situaciones que no se pudieron atender con PostGIS y se tuvo que recurrir al uso de TerrSet. En los resultados se explica a detalle esta situación.

En cuanto a la generación de cartografía de salida, por cuestiones de presentación se optó por usar ArcGIS. Sin embargo, este última puede ser sustituido por un software libre (como QGIS o gvSIG) cuando las demandas de calidad cartográfica no sean demasiadas.

#### 3.3.3.5. Realimentación

En este paso se realizó una documentación descriptiva del proceso de ejecución del diseño físico, de manera tal que se contrastó lo realizado con lo diseñado (diseños conceptual y lógico) para lograr cumplir con los requerimientos modelado hidrogeomático. Así mismo, se documentaron aspectos que pueden mejorar el modelo hidrogeomático de indicadores sistémicos para continuar empleándolo con mayor eficacia en la continuidad del proceso de planeación de GIRH en la cuenca (o en caso de que se deseen emplear en otra cuenca).

### **3.3.4. Identificación de estrategias**

Si se considera a las estrategias como el puente entre una visión y su cumplimiento eficiente en un horizonte de tiempo relativamente aceptable, entonces es necesario contar con criterios que permitan enfocarse en dichas estrategias y dejar de lado aspectos secundarios en el marco de una planeación para la gestión sostenible del agua.

Hasta este punto se tenían las variables clave del sistema de gestión del agua, su jerarquización por influencia y dependencia y su evaluación por indicadores por cada localidad o subcuenca. Estos elementos ayudaron dar el enfoque para identificar las estrategias.

Por un lado, se consideró el peso de las variables clave según su nivel de influencia sobre el resto de variables y sobre el sistema como un todo. Por otro lado, en cada variable se analizó el comportamiento del indicador con el que se evaluó por cada una de las unidades de análisis (localidad o subcuenca). De esta combinación se hizo evidente qué temas son prioritarios en qué localidades o subcuencas.

Los resultados fundamentales del análisis de la situación para la GIRH fueron el hacer explícito el sistema de gestión del agua para la cuenca bajo estudio, su análisis estructural y modelado hidrogeomático para llegar a un conjunto de estrategias de gestión sostenible del agua.

### **3.4. SELECCIÓN DE ESTRATEGIAS**

Para realizar la selección de estrategias se consideró la jerarquización de estrategias obtenida en la etapa anterior (de análisis de la situación) puesto que fue el resultado de una actividad participativa (las entrevistas semiestructuradas a actores de interés y la evaluación de la estructura del sistema por parte de expertos). A los criterios de jerarquización se adhirieron también el análisis de la misión, visión, valores, compromisos propuestos para el plan de GIRH de la cuenca, así como de los umbrales de planeación y los contextos social, económico y ambiental presentes en la misma.

El principal producto de esta etapa fue el listado y documentación del conjunto de estrategias priorizadas para la elaboración del plan.



### 3.5. ELABORACIÓN DEL PLAN DE GIRH

Con base en el criterio de la GWP (Cap-Net *et al.*, 2005), en esta etapa se emplearon las estrategias generadas en la etapa anterior para convertirlas en programas y proyectos. Para cada proyecto se definieron estrategias específicas de apoyo.

De esta forma se buscó cubrir el contenido mínimo que la GWP señala para un plan de GIRH, mismo que consiste en (Cap-Net *et al.*, 2005: 66):

- *La descripción de la propuesta de gestión del agua, que se pretende remplazar con el plan de GIRH. Donde viene cuánto tiempo ha estado en vigencia, cuáles instrumentos legales (políticas, leyes e instituciones) la apoyan y cuáles son las limitaciones de la propuesta actual para la gestión del agua.*
- *Una descripción de la situación actual del recurso hídrico en el país (una evaluación del recurso hídrico) que cubra los siguientes temas:*
  - *La distribución espacial y temporal de la lluvia, los principales ríos, lagos, embalses, etc. Esencialmente, una descripción de dónde está el agua y de dónde no está.*
  - *Los usos del agua y quiénes son sus usuarios. Cuándo usan y para qué propósitos.*
  - *Las condiciones actuales, tanto sociales como institucionales, relacionadas con la gestión del agua.*
  - *Una descripción de las inundaciones y sequías, la frecuencia con la que ocurren y la extensión de dichos eventos.*
  - *Las estrategias de conservación de agua y de gestión de demanda que están en funcionamiento.*
  - *Una descripción de “otras” fuentes de agua (desalinización, reciclaje, etc.) que sean utilizadas.*
  - *Asuntos que hayan sido señalados por los interesados durante el proceso de participación.*
- *Una descripción del alcance del plan. Cuáles son las metas, intenciones y objetivos que se desean alcanzar con el plan de GIRH. La visión para la*

*gestión del recurso hídrico y también el nivel en el cual el plan es concebido (nacional, provincial o local).*

- *Una descripción de cómo planeamos alcanzar la visión, metas, intenciones y objetivos. Ya sea mediante referencia directa a la estrategia del recurso hídrico o incorporando los aspectos relevantes en el plan mismo... Esto significa una estrategia de implementación.*
- *El plan debe incluir una sección que vincule dicho plan de GIRH con otros procesos o y/o [sic] planes nacionales. Por ejemplo, cuán relevante es el plan de GIHR para un plan de reducción de la pobreza o un plan integrado de desarrollo.*
- *Requerimientos de recursos para la implementación del plan.*

Es importante aclarar que el último punto de la lista anterior (requerimientos de recurso para la implementación del plan) quedo fuera del alcance de este trabajo, puesto que desde un inicio se especificó que ya no se cubriría la etapa de GIRH “Implementación”.

El proceso de elaboración del Plan de GIRH contempla hacer borradores (del plan completo) para ser propuestos a los actores clave para la gestión del agua en la cuenca, obtener su realimentación y llegar al documento final. Por lo tanto, en esta etapa se generó una propuesta de Plan de GIRH que deberá ser expuesta en la cuenca.

## 4. RESULTADOS

### 4.1. INICIO DEL PROCESO DE PLANEACIÓN

#### 4.1.1. Caracterización de la cuenca del río Nenetzingo con relación a aspectos de gestión del agua

##### 4.1.1.1. Localización

La cuenca del río Nenetzingo es una microcuenca de 37.6 km<sup>2</sup> que se ubica en la porción oeste del curso alto de la cuenca del río Amacuzac (Figura 4.1), a donde vierte sus escurrimientos, la cual a su vez pertenece a la Región Hidrológica número 18 denominada “Balsas”, cuya red de drenaje natural desagua en el Océano Pacífico, entre los estados de Michoacán y Guerrero (Figura 4.2).



**Figura 4.1.** Ubicación de la cuenca del río Nenetzingo en el contexto hidrológico nacional.  
Fuente: elaboración propia con base en datos del INEGI (2010).

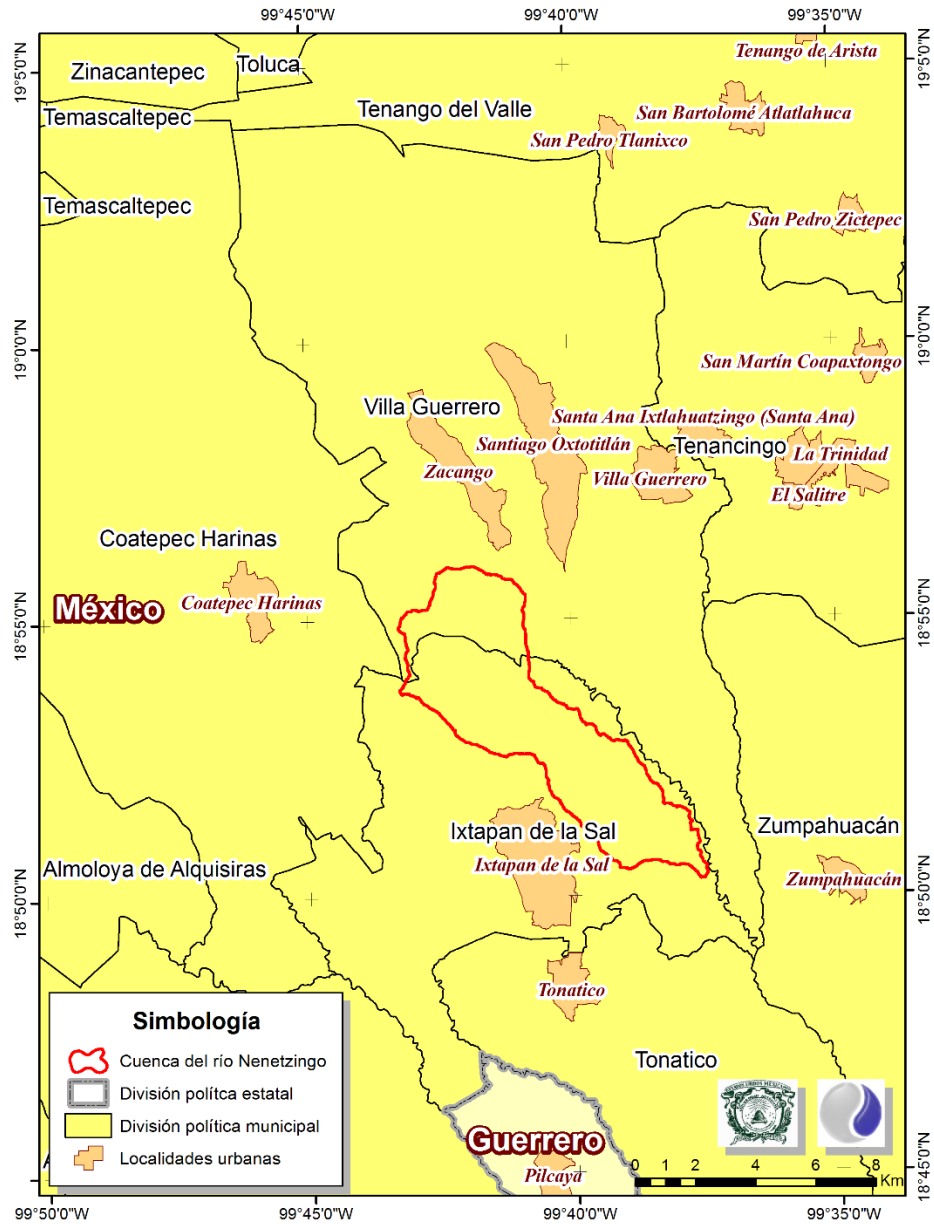


**Figura 4.2.** Ubicación de la cuenca del río Nenetzingo en el contexto político-administrativo nacional.

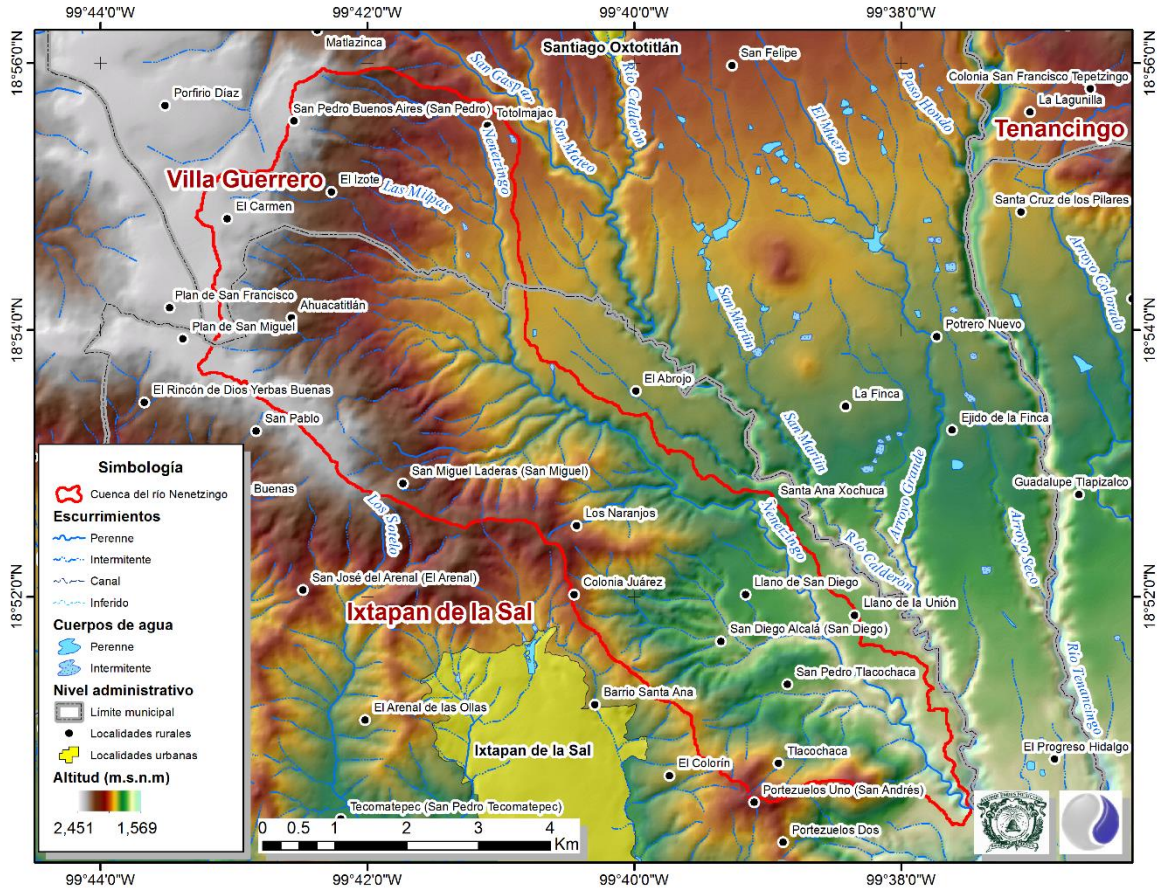
Fuente: elaboración propia con base en datos del INEGI (2010).

Considerando la división político-administrativa estatal que muestra la figura 4.2, la cuenca bajo estudio se ubica en su totalidad dentro del Estado de México, específicamente al sureste de dicha entidad. A nivel municipal, la cuenca abarca la porción norte y noreste del municipio de Ixtapan de la Sal y la Proción sur del municipio de Villa Guerrero (Figura 4.3), cubriendo una superficie de 29 km<sup>2</sup> (77.1%) en el primer municipio y 8.6 km<sup>2</sup> (22.9%) en el segundo.

Desde el punto de vista geográfico, y apoyándose en la figura 4.4, se tiene que la cuenca del río Nenetzingo se localiza entre las coordenadas extremas 18°50'09" y 18°55'58" de latitud norte en ambos casos, mientras que la longitud se encuentra entre los 99°37'29" y 99°43'17" del hemisferio oeste para el par de coordenadas. Desde el punto de vista altitudinal, la cuenca se ubica entre los 1, 569 y 2, 451 metros sobre el nivel del mar (m.s.n.m.). Además, el río principal de la cuenca se denomina Nenetzingo, de ahí que en el presente estudio se le dé tal denominación a la cuenca.



**Figura 4.3.** Ubicación de la cuenca del río Nenetzingo en el contexto político-administrativo municipal del Estado de México.  
 Fuente: elaboración propia con base en datos del INEGI (2014b).



**Figura 4.4.** Localización geográfica de la cuenca del río NeNETZINGO, configuración de su río principal y localidades que incluye.  
Fuente: elaboración propia con base en INEGI (1998a, 1998b, 1999, 2009 y 2014b) y USGS (2000).

#### 4.1.1.2. Marco hidrológico-administrativo regional al que pertenece la cuenca del río NeNETZINGO

El Organismo de Cuenca Balsas (2010) indica que la Región Hidrológica 18 Balsas pertenece a la Región hidrológico-administrativa IV del mismo nombre (la cual además incluye a la región hidrológica 19 y una parcialidad de la 17) (Figura 4.5). Para el año 2010 en esta Región hidrológico-administrativa se encontraban 17% de la totalidad de municipios del país y el 10% de su población total, teniendo la subregión Alto Balsas 333 municipios con el 73.3% de esa población, mientras que la Medio Balsas contaba con 48 municipios y el 13.7% de población y la Bajo Balsas con 39 municipios y 12.9%. Específicamente, la cuenca del río NeNETZINGO se ubica en la subregión Alto Balsas. Además, en la Región IV Balsas se localizan siete zonas metropolitanas en las que vive más de una tercera parte de la población

de la región, siendo éstas Cuernavaca, Puebla-Tlaxcala, San Martín Texmelucan, Valle de México, Apizaco y Tlaxcala (Organismo de Cuenca Balsas, 2010).

De acuerdo con la Comisión Nacional del Agua (2013a), para el año 2012 la Región IV Balsas contaba con 22, 899 hm<sup>3</sup>/año, una población de 11.44 millones de habitantes, un volumen de agua renovable per cápita de 2, 002 m<sup>3</sup>/hab/año, un escurrimiento natural medio superficial total de 17, 057 hm<sup>3</sup>/año y una recarga media total de acuíferos de 5, 842 hm<sup>3</sup>/año.



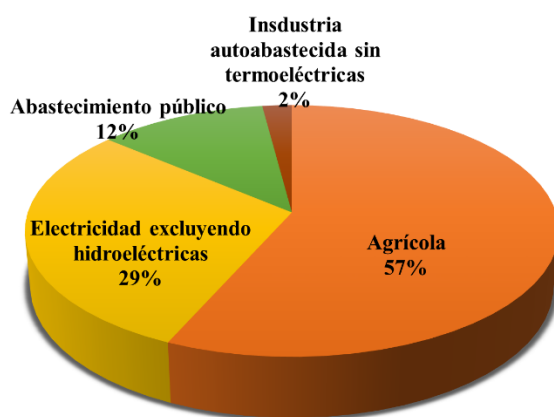
**Figura 4.5.** Contexto y aporte de la cuenca del río Nenetzingo a la Región hidrológico-administrativa IV Balsas.

Fuente: elaboración propia con base en datos del INEGI (2014b).

No obstante las cifras anteriores, y de acuerdo con el Organismo de Cuenca Balsas (2010), a nivel de región hidrológico-administrativa, la IV Balsas tiene una baja disponibilidad relativa del recurso hídrico (además de que pasó de 2, 092 m<sup>3</sup>/hab/año en 2010 a 2, 002 m<sup>3</sup>/hab/año en 2012), sobre todo en las principales zonas de concentración de población como Puebla, Tlaxcala y Cuernavaca, en la Subregión Alto Balsas y Lázaro Cárdenas en la Subregión Bajo Balsas; sin embargo, también existen zonas donde se considera que existen condiciones de

sub-explotación, como es el caso de la cuenca del río Nenetzingo. La situación anterior da relieve a la relación existente entre la cuenca del río Nenetzingo y localidad urbana de Lázaro Cárdenas (Figura 4.5), ya que la primera (ubicada en el curso alto) aporta parte del escurrimiento que llega a la segunda (que está en la salida de la región hidrológica), la cual además pasa por la presa Infiernillo, donde se genera electricidad.

Según la Comisión Nacional del Agua (2013b), la región IV Balsas para el año 2012 tuvo un volumen concesionado total de 10, 652.2 millones de metros cúbicos de agua, de los cuales el uso que tuvo mayor demanda fue el agrícola con 6, 034.8 millones de metros cúbicos, siguiéndole el uso para generar electricidad (sin incluir a las hidroeléctricas) con 3, 147.8 millones de metros cúbicos. Muy por debajo de los usos anteriores se encuentran el uso para abastecimiento urbano y el de la industria autoabastecida sin termoeléctricas, con 1, 250.5 y 219.1 millones de metros cúbicos, respectivamente. La figura 4.6 expone la distribución porcentual de estos usos.



**Figura 4.6.** Distribución porcentual de los volúmenes concesionados para usos del agua en la Región IV Balsas para el 2012.

Fuente: Comisión Nacional del Agua (2013b).

De acuerdo con la Comisión Nacional del Agua (2013a), en la Región IV Balsas, la principal fuente de volumen concesionado o asignado es superficial, mientras que los principales usos que se le dan al agua (tanto superficial como subterránea) son agrícola y de abastecimiento público. Vale la pena mencionar que los usos mostrados en la figura 4.6 no incluyen la demanda de las hidroeléctricas, sin embargo, es de destacar que el 78% del volumen de agua que genera la cuenca de la región hidrológica Balsas se emplea en la generación de energía eléctrica. Por tal razón a partir de 1966 se publicó en el Diario Oficial de la Federación (DOF)

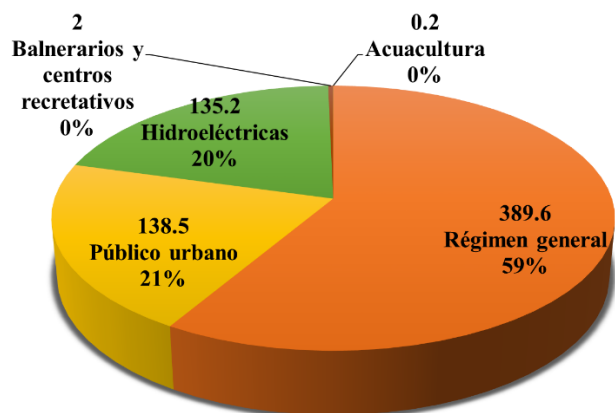


una veda por tiempo indefinido en cuanto a concesiones de agua del río Balsas y todos sus afluentes y subafluentes, lo que restringe la creación de nuevos aprovechamientos de agua superficial para cualquier uso (Organismo de Cuenca Balsas, 2010).

Específicamente, la Comisión Nacional del Agua (2013a y 2013b), expone que en la Región IV Balsas existen algunas zonas de veda tipo II de agua subterránea (sólo extracciones para usos domésticos), sobre todo en las porciones norte (donde se ubica la cuenca del río Nenetzingo), noreste y oeste; mientras que el agua superficial cuenta con veda prácticamente en toda la región. Lo anterior se explica en parte porque el mismo documento señala que, si bien en casi toda la región existe disponibilidad de agua en sus acuíferos, en la gran parte de la región existe déficit en la disponibilidad de agua a nivel de las cuencas hidrológicas que la integran.

En el rubro de generación de electricidad empleando agua, como se mencionó previamente, en la región de la cuenca del Balsas se localiza la presa Infiernillo (Figura 4.5), empleada básicamente para la generación de energía eléctrica, y que es considerada la segunda presa más importante de México (Organismo de Cuenca Balsas, 2010).

Por lo anterior, la Comisión Nacional del Agua (2013a) señala que para el año 2012, la región IV Balsas tuvo una recaudación por extracción, uso o aprovechamiento de aguas nacionales de 665.4 millones de pesos, lo que representa el 7% de la recaudación total en todas las regiones hidrológico-administrativas del país (la que más recauda es la región VIII Lerma-Santiago-Pacífico con 2, 144.8 millones de pesos y la que menos lo hace es la región XII Península de Yucatán, con 141.5 millones de pesos). En la siguiente figura (Figura 4.7) se muestra la recaudación 2012 en millones de pesos y el porcentaje del total que representan para cada tipo de uso o aprovechamiento en la región IV Balsas.



**Figura 4.7.** Recaudación por extracción, uso o aprovechamiento de aguas nacionales en la Región IV Balsas para el 2012. Arriba del uso se ubica el dinero recaudado, en millones de pesos, y debajo el porcentaje que esta cantidad representa respecto a la recaudación total de la región.

**Nota:** “Régimen general” se refiere a los usos o aprovechamientos distintos de los otros mostrados en la misma figura.

En cuanto a la calidad del agua en la región IV Balsas, La Comisión Nacional del Agua (2013a) ha realizado una caracterización del agua superficial, considerando los indicadores de Demanda Bioquímica de Oxígeno a cinco días (DBO<sub>5</sub>), Demanda Química de Oxígeno (DQO) y Sólidos Suspendidos Totales (SST), y los expone como porcentaje respecto al total de sitios de monitoreo examinados, tal y como se muestra en la tabla 4.1. En términos generales, y a nivel de región hidrológico-administrativa, se puede apreciar que en más de la mitad de los sitios de monitoreo se tiene una calidad que va de aceptable a excelente para los tres indicadores analizados (80.7% para DBO<sub>5</sub>, 64.5% para DQO y 94.2% para SST).

Desde el punto de vista administrativo, se tiene que en la Región Hidrológica IV Balsas opera desde 1999 el Consejo de Cuenca del Río Balsas (CCRB), considerada como una *instancia de coordinación y concertación entre la Conagua, las dependencias y entidades de las instancias federal, estatal o municipal y los representantes de los usuarios de la cuenca hidrológica, con el objeto de formular y ejecutar programas y acciones para la mejor administración de las aguas, el desarrollo de la infraestructura hidráulica y de los servicios respectivos y la preservación de los recursos de la cuenca* (Organismo de Cuenca Balsas, 2010: 115). Sin embargo, y de acuerdo con el mismo Organismo de Cuenca Balsas (2010), para el 2010 en el Estado de México no se contaba con ningún grupo auxiliar del Consejo de Cuenca del Río Balsas y sólo había un Consejo Ciudadano del Agua, denominado “Consejo Consultivo para la Protección del Agua en el Estado de México” (instalado en el año 2000).

**Tabla 4.1.** Evaluación de la calidad del agua superficial según el porcentaje de sitios de monitoreo en una condición dada respecto al total de sitios.

**Porcentaje de sitios de monitoreo según su calidad del agua**

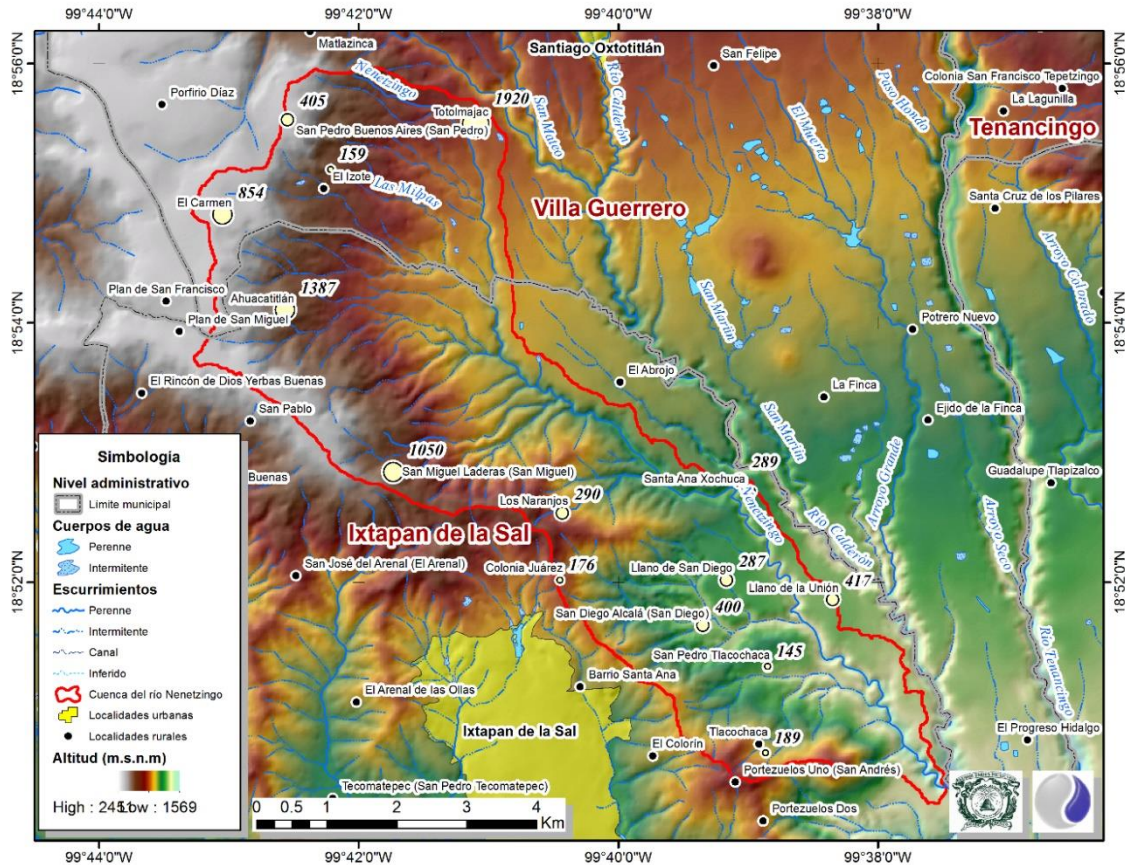
<b>Parámetro</b>	<b>Excelente</b>	<b>Buena</b>	<b>Aceptable</b>	<b>Contaminada</b>	<b>Fuertemente contaminada</b>
DBO <sub>5</sub>	31.2	16.9	32.6	15.7	3.6
DQO	30.8	13.9	19.8	27.2	8.3
SST	56.7	27.8	9.7	4.3	1.4

**Nota:** DBO<sub>5</sub> equivale a “Demanda Bioquímica de Oxígeno a cinco días”, DQO a “Demanda Química de Oxígeno” y SST a “Sólidos Suspendidos Totales”.

Fuente: Comisión Nacional del Agua (2013a).

#### 4.1.1.3. Población

En la figura 4.8 se identifican 14 localidades dentro de la cuenca del río Nenetzingo, de las cuales 10 pertenecen al municipio de Ixtapan de la Sal y cuatro al de Villa Guerrero. Todas estas localidades son consideradas como localidades rurales por el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). De forma específica, las localidades del municipio de Villa Guerrero contenidas en la cuenca son San Pedro Buenos Aires, Totolmajac, El Izote y El Carmen; mientras que las pertenecientes al municipio de Ixtapan de la Sal son Ahuacatlán, San Miguel Laderas, Los Naranjos, Santa Ana Xochuca, Colonia Juárez, Llano de San Diego, Llano de la Unión, San Diego Alcalá, San Pedro Tlacoachaca y Tlacoachaca. Considerando los datos del año 2010 del INEGI, la suma de la población de todas las localidades de la cuenca para ambos municipios equivale a 7, 968 habitantes. La figura 4.8 y la tabla 4.2 exponen la cantidad de habitantes de cada una de las localidades dentro de la cuenca.



**Figura 4.8.** Número de habitantes en las localidades dentro de la cuenca del río NeNETZINGO para el año 2010.

Fuente: elaboración propia con base en INEGI (1998a, 1998b, 1999, 2009, 2010a y 2014b) y USGS (2000).

**Tabla 4.2.** Habitantes en localidades de la cuenca del río NeNETZINGO para el año 2010.

No.	Nombre	Habitantes	Municipio
1	San Pedro Tlacoachaca	145	Ixtapan de la Sal
2	El Izote	159	Villa Guerrero
3	Colonia Juárez	176	Ixtapan de la Sal
4	Tlacoachaca	189	Ixtapan de la Sal
5	Llano de San Diego	287	Ixtapan de la Sal
6	Santa Ana Xochuca	289	Ixtapan de la Sal
7	Los Naranjos	290	Ixtapan de la Sal
8	San Diego Alcalá (San Diego)	400	Ixtapan de la Sal
9	San Pedro Buenos Aires (San Pedro)	405	Villa Guerrero
10	Llano de la Unión	417	Ixtapan de la Sal
11	El Carmen	854	Villa Guerrero
12	San Miguel Laderas (San Miguel)	1,050	Ixtapan de la Sal
13	Ahuacatlán	1,387	Ixtapan de la Sal
14	Totolmajac	1,920	Villa Guerrero
<b>TOTAL</b>		<b>7,968</b>	

Fuente: INEGI (2010a).



población que habla alguna lengua indígena es mínima, pues apenas representa el 0.1% de la población total de la cuenca (aunque los nombres de los territorios que ahora componen a ambos municipios son origen Náhuatl y al parecer algunos de los primeros pobladores se relacionan con los Matlazincas). En la tabla 4.3 se muestra el desglose de la presencia de esta condición de habla de lengua indígena para cada localidad de zona de estudio, así como la proporción que representan respecto a la población total de cada una de ellas.

**Tabla 4.3.** Presencia de población en la cuenca del río Nenetzingo que habla alguna lengua indígena.

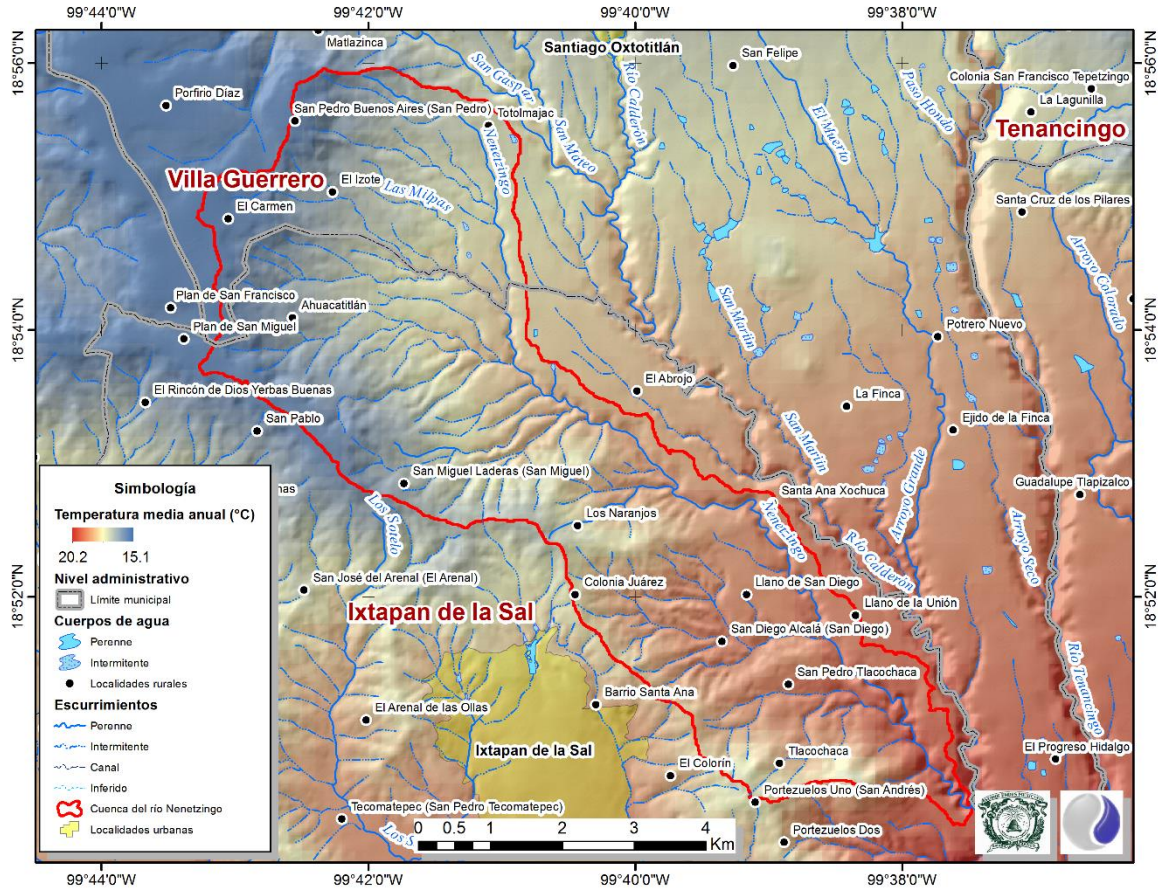
<b>Localidad</b>	<b>Población total</b>	<b>Población de 3 años o más que habla alguna lengua indígena</b>	<b>Porcentaje</b>
San Pedro Tlacoachaca	145	0	0
El Izote	159	0	0
Colonia Juárez	176	0	0
Tlacoachaca	189	0	0
Llano de San Diego	287	0	0
Santa Ana Xochuca	289	0	0
Los Naranjos	290	0	0
San Diego Alcalá (San Diego)	400	0	0
San Pedro Buenos Aires (San Pedro)	405	0	0
Llano de la Unión	417	0	0
El Carmen	854	3	0.4
San Miguel Laderas (San Miguel)	1, 050	2	0.2
Ahuacatlán	1, 387	4	0.3
Totolmajac	1, 920	1	0.1
<b>TOTAL</b>	<b>7, 968</b>	<b>10</b>	<b>0.1</b>

Fuente: INEGI (2010a).

#### 4.1.1.4. Clima

Considerando las condiciones térmicas de la clasificación climática de Köppen-García (García, 1987), el clima en la cuenca del río Nenetzingo (Figura 4.10) es semicálido templado en sus cursos bajo y medio, y templado en su curso alto, de manera tal que en las partes bajas de la cuenca, las condiciones térmicas oscilan los 20.2°C de temperatura media anual y conforme la elevación del terreno aumenta, dicha condición disminuye sus valores a un promedio anual de 15.1°C en las partes altas de la cuenca, sobre todo hacia el noroeste (Figura 4.11). El promedio anual y espacial de la temperatura en la cuenca es de 17.7°C.



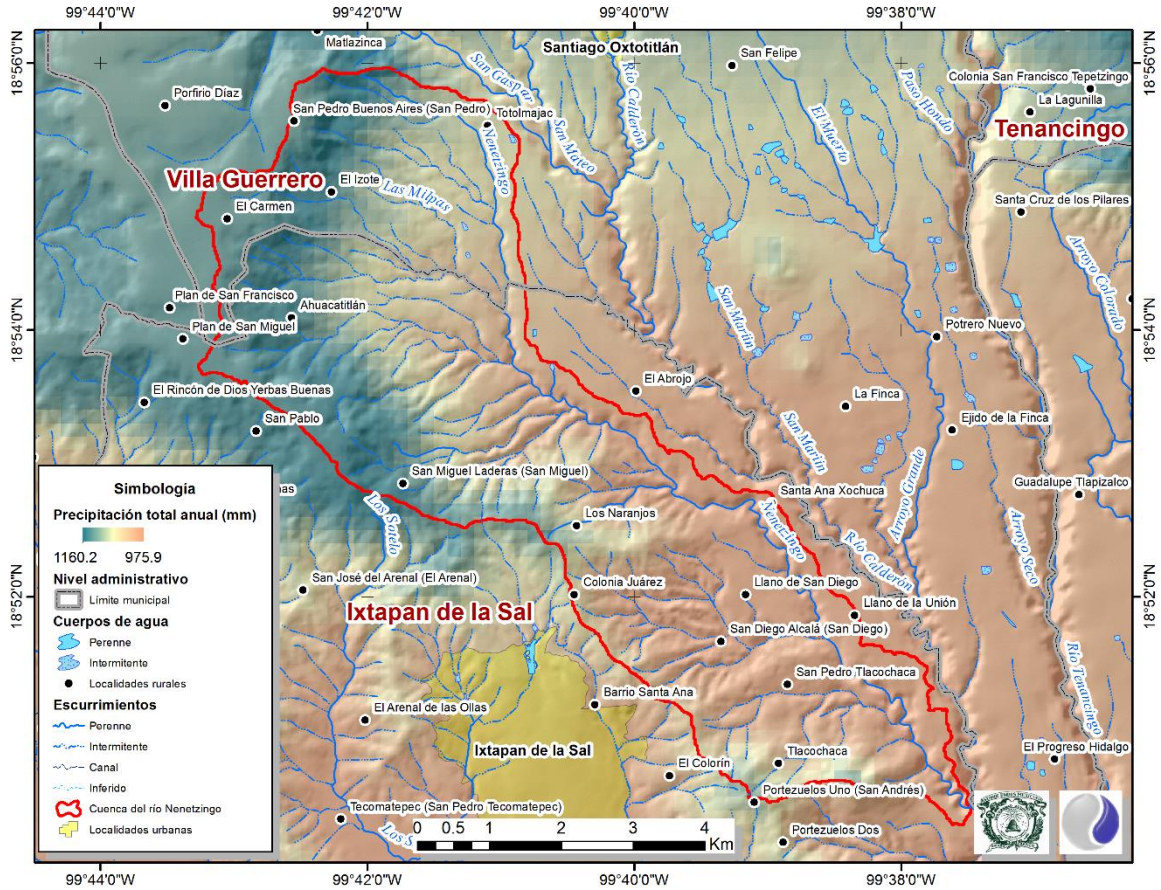


**Figura 4.11.** Temperatura media anual en la cuenca del río Nenetzingo.

Fuente: elaboración propia con base en INEGI (2014b), Ordóñez (2015) y USGS (2000).

El promedio espacial de la precipitación total anual en la cuenca es de 1, 056.3 mm, teniendo valores que oscilan los 975.9 mm anuales en la parte baja de la cuenca y los 1, 160.2 mm en su zona alta, lo que indica que conforme se incrementa la elevación del terreno, los valores de precipitación tienden a incrementar también (Figura 4.12).

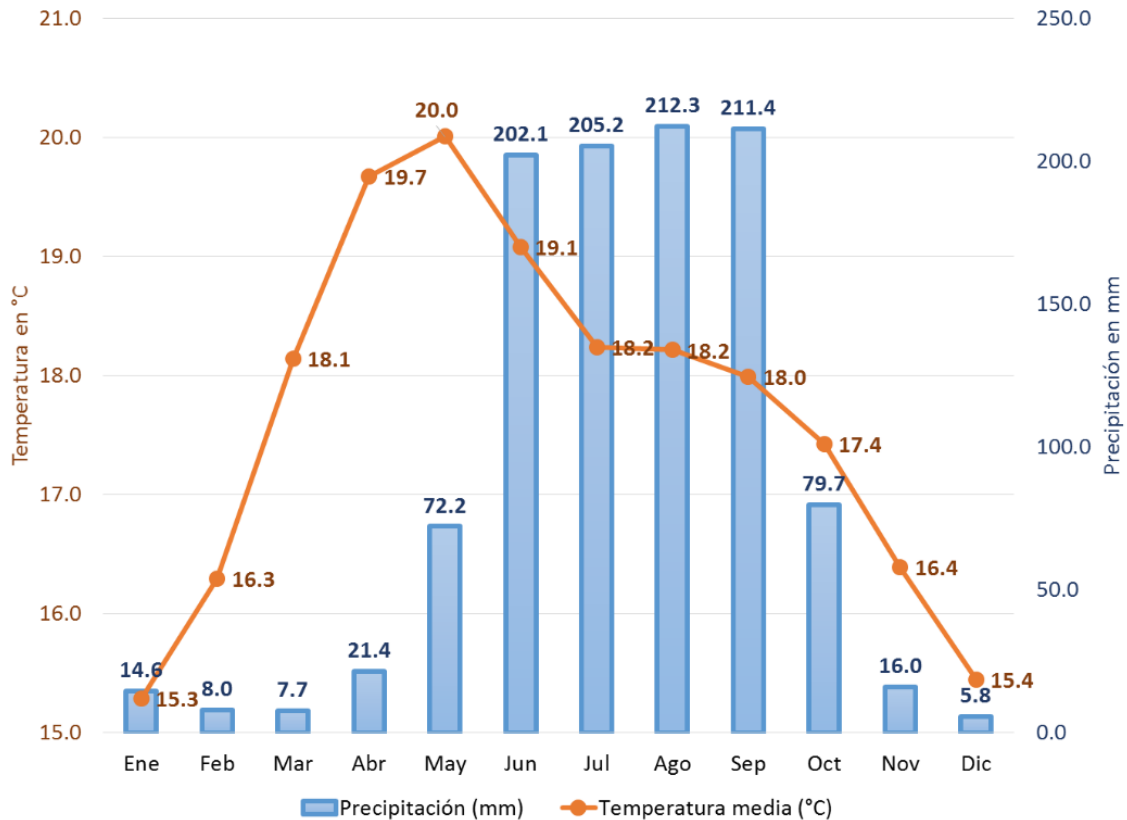




**Figura 4.12.** Precipitación total anual en la cuenca del río Nenetzingo.

Fuente: elaboración propia con base en INEGI (2014b), Ordóñez (2015) y USGS (2000).

Para explicar los siguientes parámetros de la clasificación climática de Köppen-García (García, 1987), a continuación se muestra la figura 4.13, en la que se expone el comportamiento medio mensual de la temperatura y la precipitación total para cada mes de la cuenca del río Nenetzingo. En dicha figura se aprecia que las lluvias más significativas se presentan entre los meses de junio y septiembre, siendo medianamente significativos los meses de mayo y octubre, por lo que el clima de la región expresa un régimen de lluvias de verano y sin sequía intraestival (salvo por pequeñas porciones al oeste y suroeste de la cuenca). En contraste, los valores de precipitación disminuyen drásticamente entre los meses de noviembre y marzo, constituyendo una precipitación invernal inferior al 5% respecto al total anual. La combinación de ambas situaciones diferenciadas de lluvia son las que caracterizan la condición subhúmeda de la cuenca que se mencionó líneas arriba.



**Figura 4.13.** Comportamiento mensual de la temperatura y la precipitación en la cuenca del río Nenetzingo.

Al analizar el comportamiento de la temperatura a lo largo del año en la figura 4.13, se tiene que, a diferencia de la precipitación, los valores medios mensuales son menos contrastantes entre un mes y otro, así como entre la época de verano e invierno. Esta situación propicia que en la cuenca del río Nenetzingo se considere que existe nula oscilación térmica (régimen isotermal). Además, se aprecia un verano cálido, aunque con temperaturas inferiores a las de los meses de abril y mayo, pero con mayor precipitación que en dichos meses, lo que propicia condiciones de frescura a la época veraniega. Al darse la temperatura máxima antes del solsticio de verano (junio), se habla de una marcha anual de la temperatura tipo Ganges.

En resumen, se tiene que de acuerdo con la clasificación climática de Köppen-García, los climas presentes en la cuenca del río Nenetzingo son semicálido templado subhúmedo con régimen de lluvias de verano, precipitación invernal inferior al 5%, nula oscilación térmica, veranos cálidos y/o frescos, marcha anual de la temperatura tipo Ganges y sequía intraestival en algunas zonas [(A)Ca(w<sub>1</sub>)(w)ig, (A)Cb(w<sub>1</sub>)(w)ig, (A)Cb(w<sub>1</sub>)(w)igw”, (A)Cb(w<sub>2</sub>)(w)ig y (A)Cb(w<sub>2</sub>)(w)igw”], así como templado subhúmedo con régimen de lluvias de verano,

precipitación invernal inferior al 5%, nula oscilación térmica, veranos cálidos y/o frescos, marcha anual de la temperatura tipo Ganges y sequía intraestival en algunas zonas [ $Cb(w_2)(w)ig$  y  $Cb(w_2)(w)igw''$ ] (Figura 4.10).

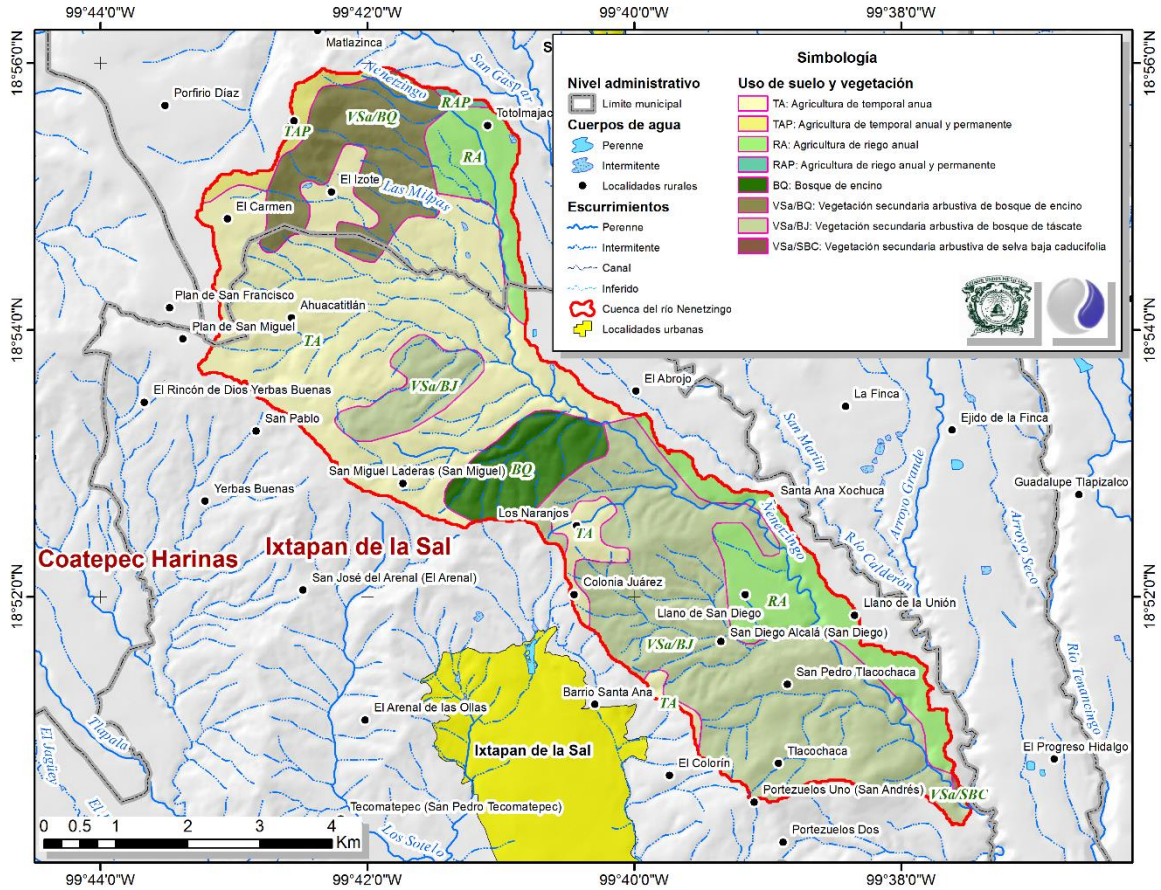
#### 4.1.1.5. Uso de suelo y vegetación

En lo que respecta al uso de suelo y la distribución de la vegetación en la cuenca del río Nenetzingo, destacan tres aspectos, en primer lugar que en la parte central de la cuenca existe una zona de bosque de encino que prácticamente divide a la cuenca en dos, pero que tiene poca presencia con apenas 5.3% de la superficie de la cuenca (1.97 km<sup>2</sup>); lo que da pie a la segunda condición característica, y es que la porción noroeste de la cuenca se emplea para la agricultura de temporal anual, siendo el uso con mayor presencia en la cuenca al ocupar el 36.1% de la superficie (13.53 km<sup>2</sup>); mientras que en el extremo opuesto, es decir, hacia el sureste de la cuenca, se tiene el tercer aspecto importante, porque se da la presencia de vegetación secundaria arbustiva de bosque de táscate con el 33.5% de superficie ocupada (12.56 km<sup>2</sup>). El resto de usos del suelo y de vegetación presente están por debajo del 15% de ocupación, distribuyéndose hacia las márgenes este y noreste de la cuenca (Tabla 4.4 y Figura 4.14). Por lo tanto es de destacar el contraste entre la ausencia de masa forestal de consideración y el amplio empleo del suelo para actividades agrícolas, tanto de temporal como de riego, lo cual en parte ha propiciado la abundancia de vegetación secundaria.

**Tabla 4.4.** Superficie absoluta y relativa de los usos de suelo y vegetación presentes en la cuenca del río Nenetzingo en 2011.

Uso de suelo y vegetación	Área en km <sup>2</sup>	Porcentaje
Agricultura de temporal anual	13.53	36.1
Vegetación secundaria arbustiva de bosque de táscate	12.56	33.5
Agricultura de riego anual	5.11	13.6
Vegetación secundaria arbustiva de bosque de encino	3.56	9.5
Bosque de encino	1.97	5.3
Agricultura de temporal anual y permanente	0.61	1.6
Agricultura de riego anual y permanente	0.1	0.3
Vegetación secundaria arbustiva de selva baja caducifolia	0.05	0.1
<b>TOTAL</b>	<b>37.49</b>	<b>100</b>

Fuente: Elaboración propia con base en INEGI (2011).



**Figura 4.14.** Uso de suelo y vegetación en la cuenca del río Nenetzingo en 2011.  
Fuente: Elaboración propia con base en INEGI (2011 y 2014b) y USGS (2000).

López-Sandoval *et al.* (2010) realizaron entre julio de 1998 y marzo del 2000, un estudio florístico sobre la barranca del río Nenetzingo, entre la localidad de El Abrojo y el puente Nenetzingo, correspondiente a la porción media del río principal.

Entre los principales resultados de su investigación, López-Sandoval *et al.* (2010) identificaron 362 especies vegetales distribuidas en 89 familias y 248 géneros. Considerando el total de especies, las hierbas perennes y anuales son las de mayor presencia (65.2%), seguidas por los arbustos (17.4%), trepadoras (7.2%) y árboles (5.8%), siendo las de menor presencia las epífitas (3.8%) y las parásitas (0.6%), las cuales además los autores consideran como poco comunes.

En este sentido, las familias vegetales con mayor riqueza a nivel de género y especie son Asteraceae (que es la más abundante), Poaceae (le sigue en abundancia) y Fabaceae; mientras

que a nivel de género destacan *Salvia* (el más notable y numeroso), *Tillandsia*, *Cyperus*, *Euphorbia*, *Ipomoea* y *Tagetes*.

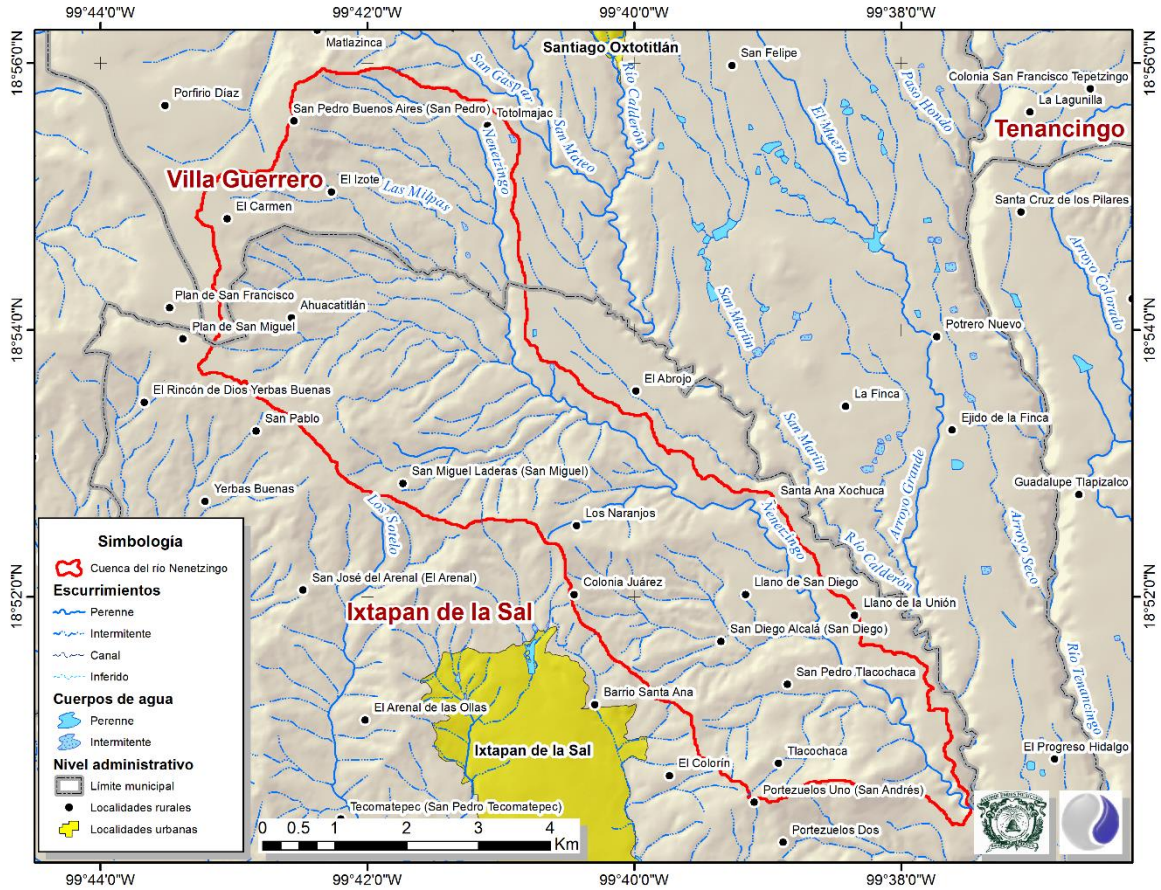
De esta forma, las hierbas y arbustos representan el 82.6% del total de especies identificadas. Adicionalmente, los autores, con base en el análisis que hicieron de las muestras, han identificado que la zona de estudio es un sitio perturbado, por lo que recomiendan se fomente la conservación de la flora del lugar.

De acuerdo con Juan *et al.* (2009), la vegetación natural y la diversidad ecológica corresponden al ecosistema de Bosque Tropical Caducifolio, con presencia de bosque de galerías en los márgenes de los escurrimientos. Desde el punto de vista de aprovechamiento del sistema de barrancas, los autores indican que la población emplea algunas de sus especies vegetales para construcción de casas, como combustibles o alimentos para el ganado o consumo personal, en el tratamiento de algunas enfermedades y en ceremonias y rituales. En el caso de la fauna natural que capturan (mamíferos, reptiles, anfibios, peces, aves e insectos), ésta la emplean para complementar su alimentación.

Para el año 2014 el Gobierno del Estado de México declaró un área natural protegida con categoría de parque estatal Nenetzingo-Calderón, la cual incluye parcialmente la parte baja de la cuenca, en los alrededores de las localidades San Diego Alcalá, San Pedro Tlacoachaca y Tlacoachaca, dentro del municipio de Ixtapan de la Sal.

#### 4.1.1.6. Recursos hídricos

La red de drenaje natural de la cuenca del río Nenetzingo es dendrítica, pero desarrollada más hacia la vertiente oeste de la cuenca y en menor medida hacia la vertiente este (Figura 4.15). Lo anterior denota dos condiciones distintas de control estructural, una de pendientes suaves, en rocas de resistencia uniforme (al oeste) y la otra con pendientes fuertes y una resistencia mayor de las rocas (al este). Ambas condiciones propician procesos erosivos y un rápido desagüe del escurrimiento natural.



**Figura 4.15.** Hidrología superficial de la cuenca del río NeNETZINGO.

Fuente: elaboración propia con base en INEGI (1998a, 1998b, 1999, 2009, 2010b y 2014b) y USGS (2000)

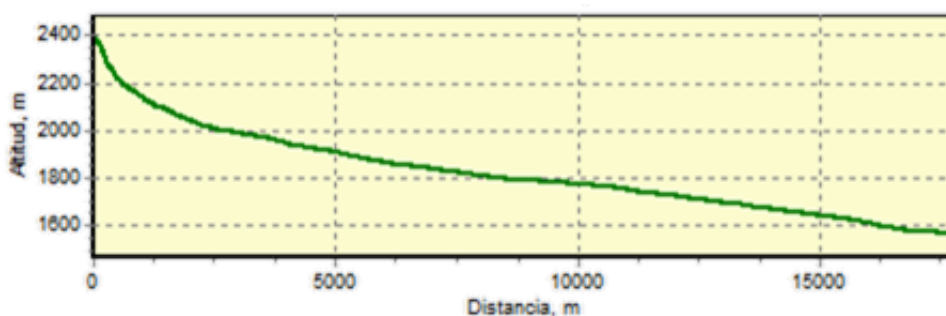
De acuerdo con los parámetros fisiográficos de la cuenca del río NeNETZINGO (Tabla 4.5), por tratarse de una cuenca pequeña alargada y subhúmeda, se identificaría una respuesta relativamente rápida ante la ocurrencia de lluvias de alta intensidad, sobre todo en los tributarios al río principal; pero una vez que llegan a este último, sus condiciones propias atenúan esta respuesta (Tabla 4.6), pues si bien se trata de un río de relativa poca longitud, su cauce es sinuoso y con presencia de meandros sobre una pendiente moderada (Figura 4.16). Esta situación la caracteriza como una cuenca en equilibrio morfológico (Figura 4.17), típica de una cuenca de pie de montaña.

**Tabla 4.5.** Caracterización fisiográfica de la cuenca del río Nenetzingo.

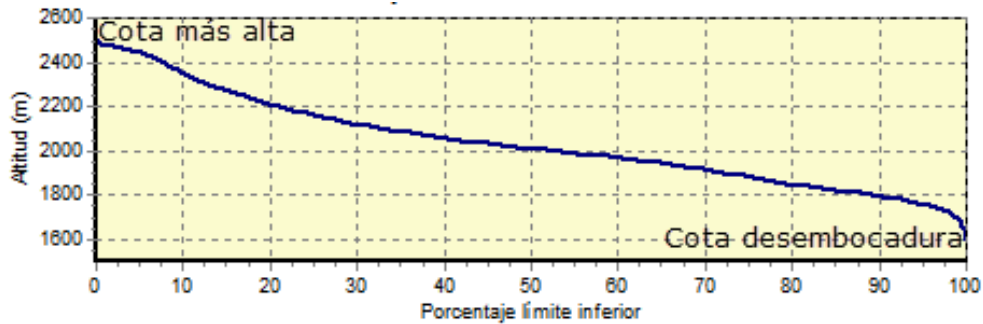
<b>Parámetro</b>	<b>Valor</b>	<b>Interpretación</b>
Área	37.6 km <sup>2</sup>	Cuenca relativamente pequeña (por ser menor a 250 km <sup>2</sup> ), sensible a lluvias de alta intensidad y corta duración, por lo que las condiciones físicas del suelo y su cobertura influyen en la cantidad y distribución del escurrimiento (Campos, 1998). Por lo tanto, toma relevancia el manejo del uso del suelo en la cuenca.
Perímetro	45.7 km	
Elevación media	1, 998.2 m.s.n.m.	Considerando las condiciones de humedad y térmicas que se dan en estas elevaciones y latitudes en México, se podría caracterizar como perteneciente a zonas subhúmedas templadas, lo que implicaría que propicia condiciones intermedias respecto a las magnitudes de lluvia y temperatura que ocurren a lo largo y ancho del país o, dicho de otra forma, se ubica en la parte media entre los máximos y mínimos de lluvia y temperatura que se dan en otras partes del país de forma normal.
Pendiente media	15.9° ó 29.5%	Característica de terrenos escarpados (por estar en el rango 25% a 50 %) (Campos, 1998). Este factor influye en una alta velocidad que pueden llegar a alcanzar algunos de sus escurrimientos.
Coefficiente de compacidad	2.1 (adimensional)	Cuenca alargada intermedia y/o asimétrica (considerando que el coeficiente de compacidad puede ir de uno para cuencas circulares, dos para intermedias y hasta tres para cuencas muy alargadas; y que la relación de circularidad es lejana a la unidad) (Franco, 2008). Lo anterior supone el origen de su forma alargada por la existencia de materiales heterogéneos (roca y suelo). Además, esta forma se puede asociar con un tiempo medio de concentración de caudal hacia la salida de la cuenca, sobre todo por el recorrido que debe realizar el agua (esta cualidad es relativa respecto a un tiempo corto en una cuenca circular y uno prolongado en cuencas muy alargadas).
Relación de circularidad	0.23 (adimensional)	
Relación hipsométrica	1.03 (adimensional)	Por ser un valor muy cercano a la unidad, se trata de una cuenca en equilibrio morfológico (equilibrio entre erosión/sedimentación), en fase de madurez morfológica (Franco, 2008), típica de una cuenca de pie de montaña (Campos, 1998).

**Tabla 4.6.** Caracterización del río Nenetzingo.

Parámetro	Valor	Interpretación
Longitud del río principal	17.7 km	Considerando la interpretación del área de la cuenca, se puede hablar de un río corto, donde es manifiesta una rápida respuesta hidrológica ante la ocurrencia de eventos de precipitación.
Longitud directa del río principal	13.1 km	Se trata de un cauce sinuoso, con presencia de meandros en el cauce principal (por estar la sinuosidad entre 1 y 1.5, siendo el primero característico de cauces rectos y el segundo de cauces con meandros) (Campos, 1998), asociado a una pendiente moderada del cauce. De acuerdo con Campos (1998), los meandros sirven para disipar energía y velocidad del caudal.
Coefficiente de sinuosidad	1.4 (adimensional)	
Elevación máxima	2,383 m.s.n.m.	El desnivel total del recorrido de 17.7 km del río principal es de 0.814 km, por lo que se puede contrastar el comportamiento de la velocidad respecto a los dos parámetros previos, es decir, considerando un rápido desagüe, pero no a una alta velocidad, como podría ser en un río recto sobre una fuerte pendiente.
Elevación mínima	1,569 m.s.n.m.	
Pendiente promedio del río principal	6.8° u 11.9%	Característica de terrenos accidentados (por estar en el rango 10% a 15%) (Campos, 1998).
Tiempo de concentración (Kirpich)	2 hrs.	Conjuntando la condición de los parámetros previos, se puede hablar de una cuenca pequeña en la que se puede dar una rápida respuesta de caudal ante un evento de lluvia de alta intensidad, pero que en parte es disipada por la forma de la cuenca y por las características del río principal.

**Figura 4.16.** Perfil longitudinal del río Nenetzingo.





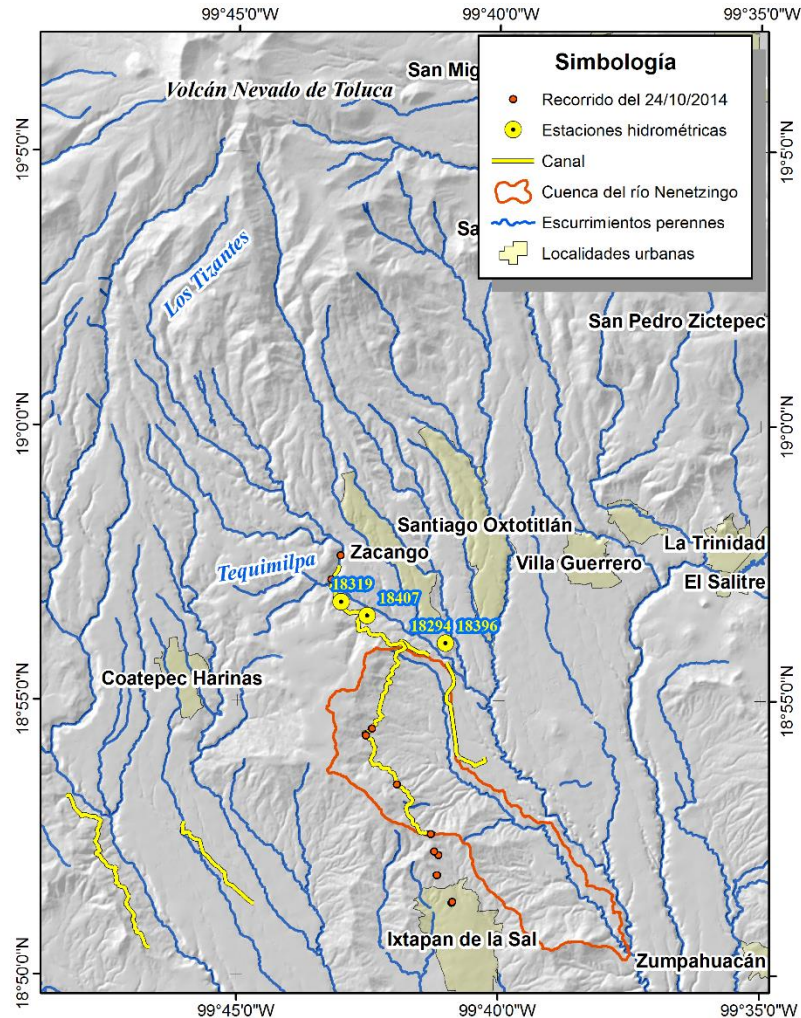
**Figura 4.17.** Curva hipsométrica de la cuenca del río Nenetzingo.

Los escurrimientos superficiales en la cuenca del río Nenetzingo son de carácter intermitente, es decir, sus cauces sólo llevan agua en la época lluviosa del año, entre los meses de junio y octubre. En este sentido es importante contrastar la información que proporciona el INEGI y los comentarios hechos por el Director del Organismo Público Descentralizado para la Prestación de los Servicios de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento (OPDAPAS) de Ixtapan de la Sal, en el sentido de que el instituto señala que el río Nenetzingo es perenne, mientras que el directivo afirma que este río sólo lleva agua en la época de lluvias. Fuera de esta discusión están el resto de escurrimientos de la cuenca, pues ambos coinciden en que son intermitentes. Adicionalmente, es importante resaltar que en la cuenca no existe estación hidrométrica alguna, y que las estaciones más cercanas son las de clave 18319, 18407, 18294 y 18396 (Figura 4.18), aunque destacan las dos primeras, porque la 18319 (denominada “Toma Tecomatepec”) se ubica sobre el río Tequimilpa, mientras que la segunda, la 18407 (con nombre “Toma Ixtapan II”), se encuentra en el Canal derivador de Ixtapan.

Las condiciones de la hidrología superficial de la cuenca del río Nenetzingo caracterizan uno de los principales problemas que tiene el municipio para aprovechar el agua de ríos y arroyos, pues éste considera que dichas condiciones afectan la disponibilidad de agua superficial en la cuenca, ya que el agua es evacuada de forma rápida, asunto que a su vez se relaciona con los problemas de erosión que existen en el municipio (Ayuntamiento del Municipio de Ixtapan de la Sal, 2003; Ayuntamiento del Municipio de Ixtapan de la Sal, 2013).

De acuerdo con el OPDAPAS de Ixtapan de la Sal y el Ayuntamiento del Municipio de Ixtapan de la Sal (2003 y 2013), el agua que abastece a las localidades de la cuenca no se obtiene de la cuenca misma, sino que proviene de un escurrimiento en la ladera sur del volcán Xinantécatl o Nevado de Toluca denominado “Los Tizantes” (Figura 4.18). Pero vale la pena

mencionar que, este abastecimiento se da principalmente porque las personas de las localidades del curso alto de la cuenca se conectan sin la autorización correspondiente al canal que lleva el agua a la cabecera municipal de Ixtapan de la Sal.



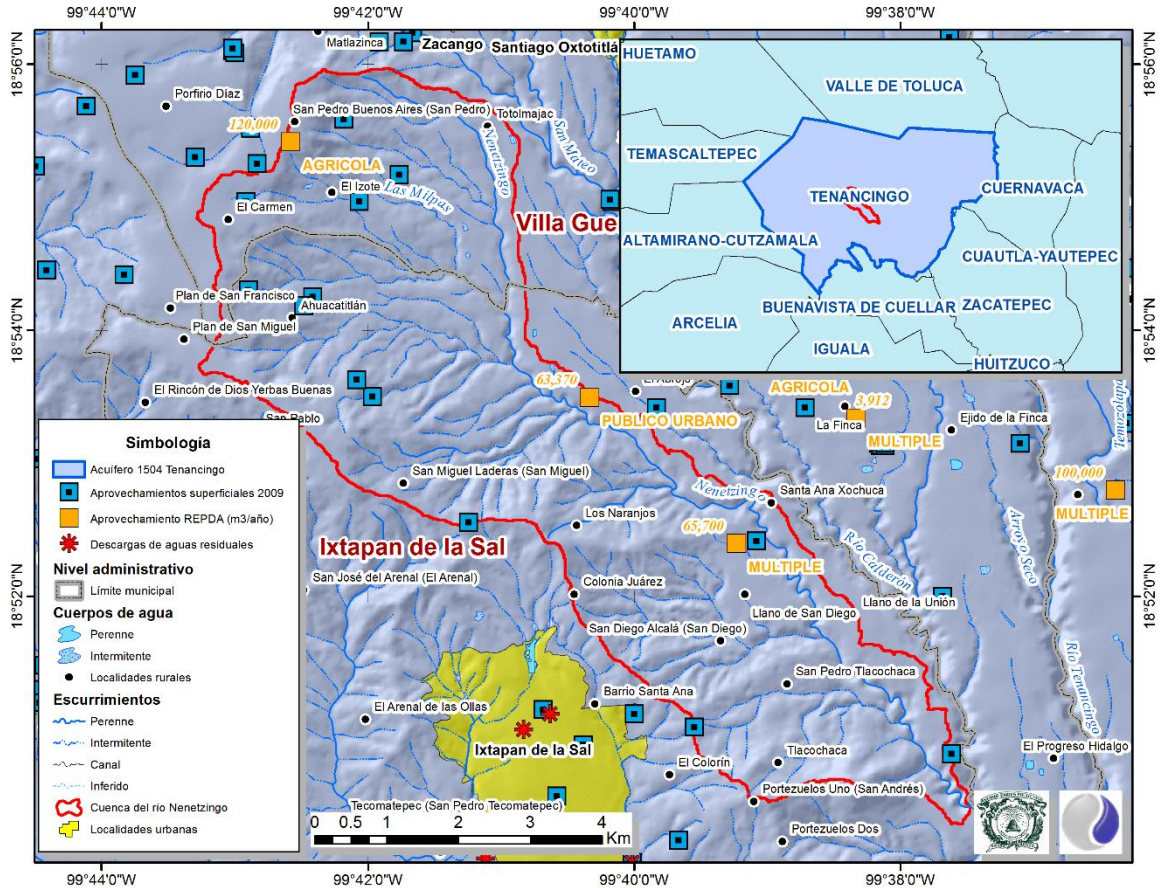
**Figura 4.18.** Origen del agua que conduce el canal que la lleva a la zona urbana del municipio de Ixtapan de la Sal, la cual además constituye la cabecera municipal. Fuente: elaboración propia con base en INEGI (1998a, 1998b, 1999, 2009, 2010b y 2014b), USGS (2000) y recorridos en campo.

Entre las problemáticas que presenta el canal referido, se encuentran el hecho de que depende de las nevadas y la temporada de lluvias, por lo que en época de estiaje el volumen disminuye drásticamente; adicionalmente, algunas porciones del canal conducen el agua a cielo abierto por lo que está expuesta al arrastre de lodos y materia orgánica (Ayuntamiento del Municipio de Ixtapan de la Sal, 2003; Ayuntamiento del Municipio de Ixtapan de la Sal, 2013; Ayuntamiento del Municipio de Villa Guerrero, 2013), así como a la contaminación de

agentes químicos provenientes de los predios que se dedican a la floricultura y que drenan el remanente del agua de riego hacia el canal.

En el mismo contexto, la cartografía del INEGI señala la existencia de bordos, a cual se entiende como estrategia de la población para almacenar agua ante las condiciones climáticas y topográficas de la cuenca. Aunque es importante mencionar que, el Registro Público de Aguas (REPDA) de la CONAGUA, para junio de 2014 no reportó ningún aprovechamiento superficial, no obstante que en 2009 el mismo registro indicaba la existencia de nueve aprovechamientos de este tipo. Lo anterior es relevante si se considera el comportamiento interanual de la temperatura y la precipitación mostrados en la figura 4.13, porque destaca el hecho crítico de que en los meses donde hay menos presencia de lluvia (básicamente de marzo a mayo) es cuando se dan los más altos valores de temperatura, situación que pone de manifiesto una época de estiaje a considerar en la gestión del agua.

Desde el punto de vista de aprovechamiento de agua subterránea, la cuenca se ubica prácticamente en el centro del acuífero 1504 denominado “Tenancingo” (Figura 4.19), el cual no presenta déficit en su explotación. El REPDA reportó para junio del 2014 la existencia de tres aprovechamientos subterráneos en la cuenca, cuyos titulares son la Asociación Agrícola de Buenos Aires A.C. (al norte de la cuenca) que emplea el agua para fines agrícolas, el OPDAPAS de Ixtapan de la Sal (en el centro de la cuenca) para la prestación del servicio público urbano y, finalmente, un titular particular (en la parte baja de la cuenca) que tiene registrado un uso múltiple del agua.



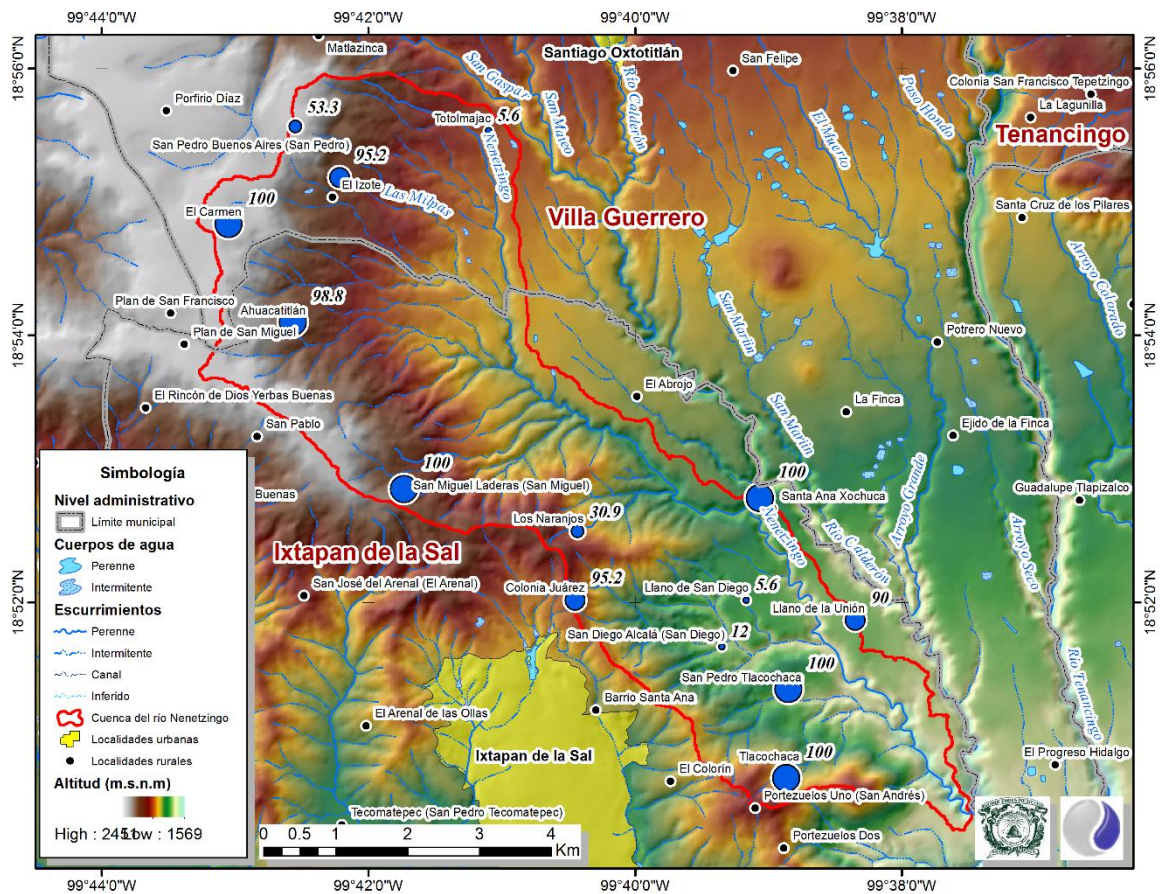
**Figura 4.19.** Aprovechamiento del agua subterránea en la cuenca del río Nenetzingo a junio de 2014.

Fuente: elaboración propia con base en CONAGUA (2014), INEGI (1998a, 1998b, 1999, 2009, 2010b y 2014b) y USGS (2000).

#### 4.1.1.7. Servicios hídricos

En el ámbito de los servicios de agua en las viviendas particulares habitadas, es de destacar el hecho de que existen localidades donde para el 2010 (INEGI, 2014a) carecían de este importante servicio, puesto que el 100% de las viviendas no lo tenían (Figura 4.20). Estas localidades son El Carmen (en el municipio de Villa Guerrero), San Miguel Laderas, Santa Ana Xochuca, San Pedro Tlacoachaca y Tlacoachaca (en el municipio de Ixtapan de la Sal); mientras que localidades como El Izote (en Villa Guerrero), Ahuacatlán, Colonia Juárez y Llano de la Unión (en Ixtapan de la Sal) reportaron una carencia de servicio por arriba del 90% respecto al total de viviendas. En el sentido opuesto, las localidades con mejor condición en este rubro son Totolmajac y Llano de San Diego, estando el primero en Villa Guerrero y

el segundo en Ixtapan de la Sal, puesto que su porcentaje de viviendas sin acceso al servicio de agua es de 5.6% (Figura 4.20).



**Figura 4.20.** Porcentaje de viviendas particulares habitadas sin servicio de agua en las localidades de la cuenca del río Nenetzingo para el 2010.

Fuente: elaboración propia con base en INEGI (1998a, 1998b, 1999, 2009, 2010a, 2010b y 2014b) y USGS (2000).

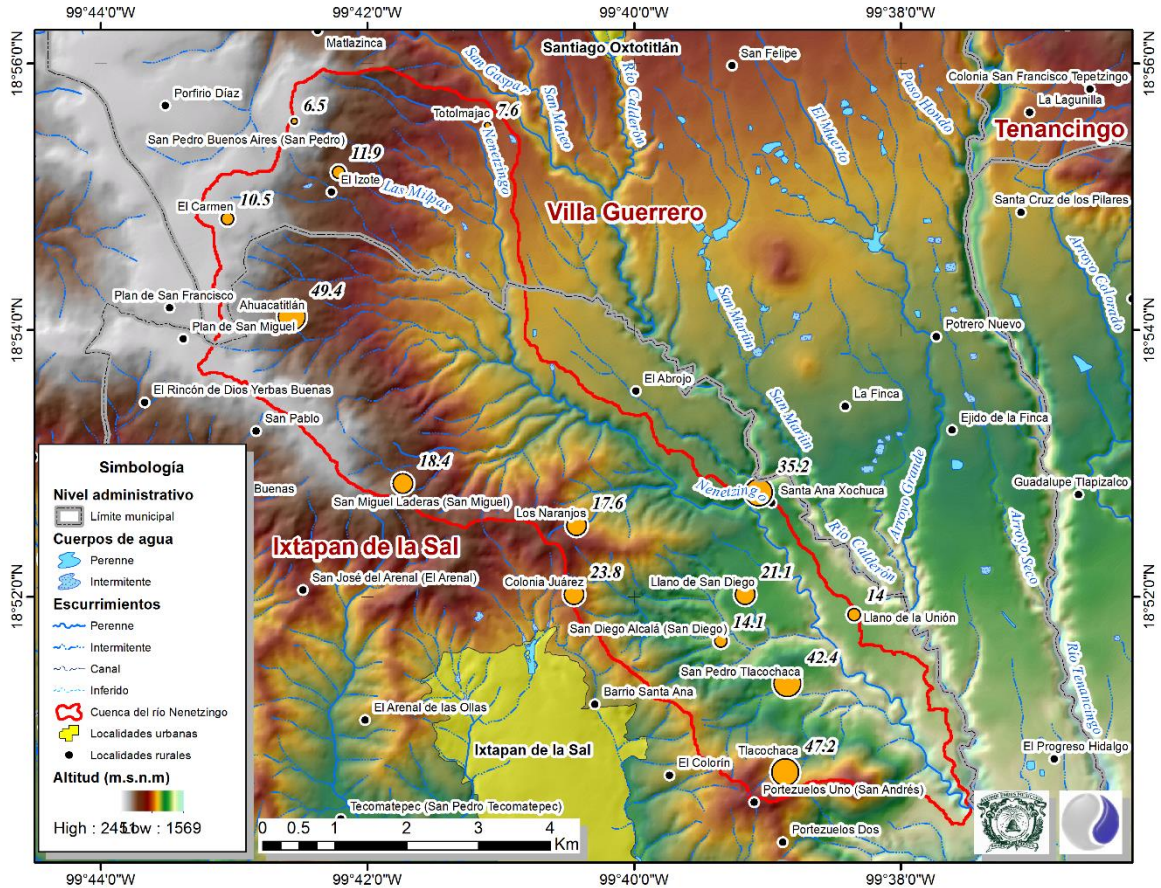
En el municipio de Ixtapan de la Sal existe un Organismo Público Descentralizado para la prestación de Servicios de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento (OPDAPAS), pero en el caso del municipio de Villa Guerrero se carece de un organismo de esta naturaleza, dejándose la tarea de atender los servicios de agua, alcantarillado y saneamiento a la sexta regiduría municipal. Adicional a lo anterior, se han identificado tres comités particulares o comunitarios que se encargan de la prestación del servicio de agua en las localidades Colonia Juárez, Los Naranjos y Llano de la Unión.

Para subsanar la falta del servicio, los municipios reparten agua en pipas en localidades como Tlacoachaca y San Miguel Laderas (donde carecen totalmente del servicio de agua en las viviendas).

Entre las dificultades en que funcionan las entidades prestadoras del servicio de agua potable a nivel municipal, se encuentra el desequilibrio desfavorable que existe entre la inversión necesaria para su operación y el dinero que se recauda por la prestación del servicio, sobre todo fomentado por el uso sin permiso del agua que conduce el canal a la cabecera municipal de Ixtapan de la Sal. Otro aspecto a destacar, es el hecho de que la concesión de agua que tiene el municipio de Ixtapan de la Sal es rebasada por la demanda del vital líquido, lo que se traduce en un déficit importante, ya que a nivel municipal, al año 2003 la concesión del agua era de 16.2 L/s, pero la demanda era de 45 L/s en la época húmeda del año y de 90 L/s en la de estiaje, razón por la cual recurren a particulares o comités comunitarios de agua de riego para complementar el volumen requerido (Ayuntamiento del Municipio de Ixtapan de la Sal, 2003).

En la actualidad el volumen de agua concesionado a este municipio se ha incrementado, pero la demanda sigue en los mismos niveles. Lo anterior se agrava para el municipio porque considera que no existen fuentes adicionales de abastecimiento. Del volumen de agua concesionado al municipio de Ixtapan de la Sal, la mayor parte se emplea en actividades comerciales (principalmente el turismo) y en menor proporción en usos domésticos y agrícolas.

En cuanto a disponibilidad de servicio sanitario en las viviendas particulares habitadas, en la cuenca del río Nenetzingo la situación es un tanto distinta respecto a la de servicio de agua, pues sus habitantes se han visto en la necesidad de resolver esta carencia. De esta forma las localidades con mayor porcentaje de viviendas carentes de este servicio son Ahuacatlán (49.4%), Tlacoachaca (47.2%) y San Pedro Tlacoachaca (42.4%), todas ellas pertenecientes al municipio de Ixtapan de la Sal (INEGI, 2014a). Esta situación se puede apreciar en la figura 4.21.



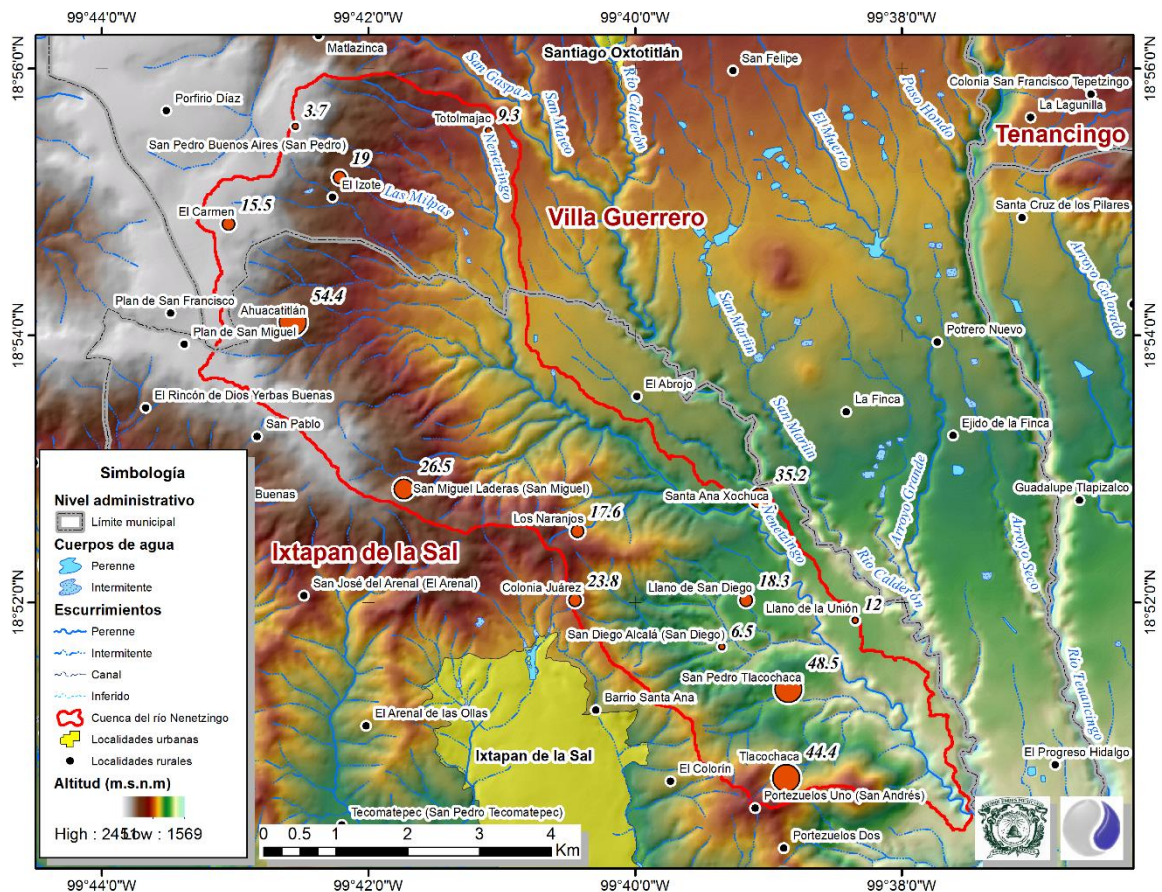
**Figura 4.21.** Porcentaje de viviendas particulares habitadas sin servicio sanitario en las localidades de la cuenca del río Nenetzingo para el 2010.

Fuente: elaboración propia con base en INEGI (1998a, 1998b, 1999, 2009, 2010a, 2010b y 2014b) y USGS (2000).

En el otro extremo, las localidades con menor ausencia del servicio sanitario en las viviendas son San Pedro Buenos Aires (6.5%), Totolmajac (7.6%), El Carmen (10.5%) y El Izote (11.9%) en el municipio de Villa Guerrero, así como Llano de la Unión (14%) y San Diego Alcalá (14.1%) en el municipio de Ixtapan de la Sal (INEGI, 2014a).

Sin embargo, el hecho de que las viviendas cuenten con sanitario no implica que éstos estén conectados a un sistema adecuado de desagüe, por lo también se ha analizado el acceso al servicio de drenaje mediante un indicador de porcentaje de viviendas particulares habitadas que carecen del servicio del drenaje (Figura 4.22). Concretamente, las localidades con un porcentaje mayor de carencia de drenaje son Ahuacatlán (54.4%), San Pedro Tlacoachaca (48.5%) y Tlacoachaca (44.4%), todas ellas en el ámbito territorial de Ixtapan de la Sal; mientras que las localidades que con mayor cobertura son San Pedro Buenos Aires (3.7%) y

Totalmajac (9.3%) en Villa Guerrero, y San Diego Alcalá (6.5%) en Ixtapan de la Sal (INEGI, 2014a).



**Figura 4.22.** Porcentaje de viviendas particulares habitadas sin servicio de drenaje en las localidades de la cuenca del río Nenetzingo para el 2010.

Fuente: elaboración propia con base en INEGI (1998a, 1998b, 1999, 2009, 2010a, 2010b y 2014b) y USGS (2000).

Las condiciones en que se da el drenaje es un aspecto relevante en la cuenca, puesto que en la mayoría de casos se conduce el agua residual a cielo abierto y se vierte directamente en los cauces de escurrimientos naturales. Si bien existe una planta de tratamiento de aguas residuales en Ixtapan de la Sal, ésta no opera debido al alto costo que implica su funcionamiento.

#### 4.1.1.8. Vulnerabilidad y riesgos por cuestiones hídricas

Las condiciones en que se encuentra la prestación de servicios hídricos demandan considerar implicaciones en la salud de la población, sobre todo por el consumo y contacto directo e indirecto con agua de calidad poco adecuada para el consumo humano y actividades



productivas. Es así que, en cuanto a Enfermedades Diarreicas Agudas (EDAS), las cuales se relacionan con el consumo de agua de mala calidad o condiciones inadecuadas de saneamiento, en ninguna localidad de la cuenca del río Nenetzingo se registraron defunciones por EDAS durante el 2010; sin embargo, al considerar la morbilidad a nivel municipal, se tiene que la prevalencia de este tipo de enfermedades expresa 20 casos por cada 100 habitantes en el municipio de Ixtapan de la Sal (con un total de 6, 719 casos) y de 8.7 casos por cada 100 habitantes en el municipio de Villa Guerrero (cuyo total alcanzó los 5, 208 casos).

Una situación que se debe clarificar a fondo es la existencia y operación de un tiradero municipal ubicado dentro de la cuenca del río Nenetzingo y perteneciente a Ixtapan de la Sal, el cual según el mismo municipio, no cumple con las especificaciones mínimas para ser considerado como relleno sanitario eficiente y, al contrario, representa graves riesgos a la salud humana y del ambiente por los escurrimientos y lixiviados que generan y que llegan a cuerpos de agua de la cuenca. La necesidad de aclaración sobre el estatus de este tiradero se debe a que el parque estatal (que se mencionó en el apartado 4.1.1.5.) al parecer incluye los terrenos de este depósito de basura.

Otro riesgo latente en la cuenca del río Nenetzingo son los deslaves, originados principalmente por la combinación del tipo de roca y suelo en la zona, la ausencia de drenaje pluvial y la ocurrencia de lluvias extraordinarias. Estos ya han ocurrido en localidades de alta vulnerabilidad por sus condiciones socioeconómicas: en 2003, 2006, 2009 y 2013 (este último comentado por el OPDAPAS de Ixtapan de la Sal) tuvieron lugar eventos de deslizamiento de suelo en la localidad de San Miguel Laderas; mientras que, en 2006 y 2009 ocurrieron este tipo de eventos en la localidad denominada Los Naranjos; en ambos casos se trata de localidades pertenecientes al municipio de Ixtapan de la Sal.

En el extremo opuesto a la ocurrencia de lluvias extraordinarias, se tiene la presencia de sequía en la cuenca, puesto que el Monitor de Sequías de Norteamérica (NADM) reporta que si bien la condición normal anual (como promedio del periodo 2003-2013) en la cuenca del río Nenetzingo se clasifica como “sin sequía”, en realidad se ha presentado, en algún momento del periodo mencionado, al menos un mes con “sequía severa” como la categoría máxima presente en la zona, mientras que el porcentaje de meses con algún grado de sequía

considerando todos los meses del periodo, está entre 50.4% y 51.2% (pudiendo presentarse como “anormalmente seco”, sequía moderada” o “sequía severa, y sin llegar a las categorías “sequía extrema” o “sequía excepcional”, con las cuales se completan las cinco categorías que emplea el NADM). Estas condiciones alertan sobre la posibilidad de que ocurran este tipo de fenómenos climáticos, porque si bien han ocurrido alguna vez en algún mes, entonces existe la posibilidad de que se repita una condición similar, poniendo en riesgo las actividades que hacen uso del agua, sobre todo las agrícolas y turísticas que se dan en la zona de estudio.

#### 4.1.1.9. Aspectos de gestión del agua identificados en la caracterización de la cuenca del río Nenetzingo

A manera de síntesis y destacando los aspectos de gestión del agua identificados en la caracterización de la cuenca del río Nenetzingo, a continuación se presentan algunos puntos clave sobre los cuales se debe poner atención en esta etapa de Inicio del proceso de planeación para la GIRH, porque da pie a una identificación inicial de usos y usuarios del agua, así como de aquellos grupos de interés que podrían estar participando en un proceso de GIRH.

- El desarrollo de las actividades propuestas en esta investigación sobre la cuenca del río Nenetzingo requerirá la gestión con dos municipios del Estado de México: Ixtapan de la Sal y Villa Guerrero.
- Las entidades encargadas de la prestación de servicios de agua y saneamiento son municipales, comunales y particulares.
- El tema del agua se maneja con tintes políticos, sobre todo para buscar reducir la credibilidad de la autoridad municipal.
- Las localidades en la cuenca se consideran como rurales.
- De acuerdo al criterio del CONAPO (De la Vega, 2012), la marginación de la población de la cuenca es media y alta.
- Hay escasez de servicios de agua y saneamiento.
- El agua empleada para uso doméstico y de riego proviene de otra cuenca y es transporta por un canal con secciones a cielo abierto, aunque en la actualidad se está instalando una tubería para sustituir a dicho canal.
- No es evidente el aprovechamiento de agua subterránea.

- Existen tomas de agua no registradas ni autorizadas, que emplean el agua con fines domésticos y agrícolas.
- La demanda de agua supera la capacidad de abastecimiento.
- Contrastan la alta disponibilidad natural de agua y las condiciones complejas de la cuenca para aprovecharla.
- La disponibilidad y aprovechamiento del agua superficial están fuertemente influenciadas por la temporalidad de la época de lluvias, la cual se centra en el verano.
- La inversión para gastos de operación de servicios de agua y saneamiento es mayor que el recaudado.
- Se identifica la necesidad de contar con alternativas innovadoras para ofrecer los servicios de agua y saneamiento.
- El municipio reparte agua en pipas.
- Es necesario caracterizar las condiciones específicas en que se dan los servicios de agua, drenaje y sanitario de cada localidad.
- No se da tratamiento al agua residual.
- Se deben difundir los avances en materia de prestación de servicios de agua y saneamiento.
- La morbilidad por EDAS demanda atención para contar con agua de buena calidad y servicios de saneamiento adecuados.
- Las sequías no son un tema ajeno a la cuenca.
- Es evidente el riesgo por deslaves en la cuenca.

#### **4.1.2. Listado preliminar de los actores de interés para la GIRH en la cuenca del río Nenetzingo**

Los principales usuarios del agua identificados con la caracterización de la cuenca del río Nenetzingo son:

- La población, que usa el agua con fines domésticos.
- Los trabajadores del campo, para actividades agrícolas y pecuarias.
- La flora y fauna natural, para conservar la funcionalidad ambiental de la cuenca.

Los grupos de interés identificados hasta ahora, y que pueden ser afectados o beneficiados por un proceso de GIRH en la cuenca del río Nenetzingo son:

- Los usuarios del agua en la cuenca.
- El municipio, mediante su organismo operador de agua potable, alcantarillado y saneamiento en Ixtapan de la Sal, o a través de la Sexta Regiduría en Villa Guerrero.
- Comités comunales o particulares de agua.
- Instituciones estatales, a saber, la Comisión del Agua del Estado de México (CAEM), la Secretaría de Desarrollo Agropecuario (SEDAGRO), la Protectora de Bosques del Estado de México (PROBOSQUE), la Comisión Estatal de Parques Naturales y la Fauna (CEPANAF), Secretaría de Salud del Estado de México, Protección Civil, Secretaría de Desarrollo Social, Secretaría de Turismo y Secretaría del Medio Ambiente.
- Instituciones federales, principalmente la CONAGUA y el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA).
- Organismo de Cuenca del Balsas, por ser la cuenca del río Nenetzingo un tributario a esta importante región hidrológica del país.
- La Universidad Autónoma del Estado de México, principalmente el Centro Interamericano de Recursos del Agua (CIRA), la Facultad de Geografía y la Facultad de Ciencias.
- Organizaciones no gubernamentales orientadas a temas de agua, saneamiento, salud, desarrollo social, ambiente y turismo.

En el Anexo 1 se presenta una matriz de análisis de actores de interés para un proceso de GIRH en la cuenca del río Nenetzingo. Si bien en esta sección se presenta la información de dicha matriz de forma sintetizada, es importante su análisis de forma específica en el anexo citado, porque la realización de este análisis es fundamental para prever las posturas y acciones que podrían tomar dichos actores en caso de que sus intereses sean beneficiados o afectados, de forma tal que se pueda aprovechar el apoyo de algunos de estos actores y al mismo tiempo reducir actitudes poco favorables al proyecto que plantea esta tesis.

De entre los tres usos ya definidos del agua, es decir, doméstico, agrícola y ambiental, los usuarios agrícolas al estar organizados, representan un alto interés en la gestión del

agua y al mismo tiempo un alto poder para incidir en dicha gestión. En cambio, los usuarios domésticos tienen un alto interés, pero un poder bajo, debido principalmente a que dependen de la gestión que realiza el municipio o el comité local del agua. El usuario ambiental del agua también expresaría un alto interés, pero un poder bajo, debido básicamente a que tanto los usuarios como las autoridades tienen como principal prioridad el abastecimiento para los usos domésticos y agrícolas, además de que prácticamente no existe una representación del usuario ambiental que pudiera gestionar el recurso para el uso que requiere el entorno natural.

En cuanto a los actores que representan a las autoridades de gestión del agua a nivel municipal o comunal, a pesar de que estos cuentan con un interés y poder alto respecto a la gestión sostenible del agua, su principal interés al parecer es mantener el liderazgo sobre las decisiones necesarias para la gestión del agua.

Otros actores, distintos a los usuarios del agua, son aquellos que tienen interés en la forma que se gestiona el agua en la cuenca del río Nenetzingo porque existe interconexión con las actividades que realizan (ver Anexo 1). En términos generales, estos actores tienen un poder alto, pero hay que fomentar su interés para que se involucren en el proceso.

Las principales estrategias para propiciar el interés e involucramiento de todos estos actores mencionados son: exponer la caracterización de la cuenca para generar sensibilización, destacar los fundamentos legales y normativos de la GIRH, mantenerlos informados sobre el desarrollo del proyecto desarrollado para esta tesis y, en el caso de actores gubernamentales, tratar directamente con los titulares de las dependencias. Por otra parte, las principales recompensas que estos actores podrían llegar a tener tienen que ver con conocer alternativas para contar con servicios de agua y saneamiento sostenibles, conocer la dinámica de gestión del agua en la cuenca, estrechar vínculos con los otros actores de interés, documentar un proceso de GIRH en el Estado de México, tener un foro para presentar sus propuestas de gestión del agua y saneamiento, exponer las estrategias que manejan en su materia y que se relacionan con el agua, actualizarse en los esquemas de gestión del agua que promueve la federación y, finalmente, usar su participación como ejercicio de transparencia y rendición de cuentas.

## 4.2. MISIÓN, VISIÓN, VALORES, COMPROMISO Y ASPECTOS ESTRATÉGICOS DEL PROCESO DE PLANEACIÓN

Los rubros de misión, visión, valores y compromiso que se presentan en las siguientes secciones, fueron elaborados con base en el análisis de la caracterización general de la cuenca, la interacción con algunos actores de la cuenca y los fundamentos de la planeación estratégica y la GIRH.

### 4.2.1. Misión

*Constituir una comunidad colaborativa, en la que todos los actores con algún interés en el agua conozcan el proceso de gestión del agua que existe en la cuenca del río Nenezingo, discutir la forma de que dicha gestión sea sostenible y se organicen para hacer la planeación estratégica de una gestión sostenible del agua, que impulse el desarrollo social, económico y ambiental de la cuenca, optimizando la relación inversión/beneficio de formas creativas e innovadoras. Que al mismo tiempo se encarguen de gestionar ante los distintos tomadores de decisiones, la implementación, seguimiento y evaluación de las propuestas derivadas de la planeación. Con estas acciones, se busca asegurar en la cuenca la disponibilidad sostenible de agua, incrementar la capacidad de manejo de riesgos de origen hídrico, disminuir la vulnerabilidad ante dichos riesgos, la mejora general de las condiciones de vida de todos sus habitantes presentes y futuros (incluidos flora y fauna naturales) y la reducción de afectaciones a cuencas vecinas.*

### 4.2.2. Visión

La visión que se presenta a continuación, se elaboró para el corto, mediano y largo plazo (1, 5 y 20 años, respectivamente):

*En el lapso de un año, la comunidad colaborativa contará con un plan estratégico de gestión integrada de recursos hídricos para iniciar acciones propias de gestión sostenible del agua en el corto plazo, cuya implementación dependa principalmente de sus integrantes, quienes serán los principales beneficiarios. Para llegar a este logro, la comunidad estará capacitada en fundamentos de gestión integrada de recursos hídricos, trabajará de forma colaborativa, divulgará su esquema de trabajo*

*para incrementar la atención de otros actores de interés en la gestión sostenible del agua y existirá interés auténtico de los diversos actores de interés por pertenecer a la comunidad colaborativa.*

*Tras cinco años de trabajo continuo como comunidad colaborativa, cumpliendo ciclos de planeación estratégica para la gestión integrada de recursos hídricos, que han generado mejoras en las condiciones de vida de los habitantes de la cuenca, ahora sus esquemas de organización, consulta y participación se han consolidado, al tiempo que todos sus integrantes comparten una visión sistémica común y actualizada del recurso hídrico y de su proceso de gestión para que éste sea sostenible y beneficie a sus hijos, hijas, nietos, nietas y otras generaciones futuras. En este momento, las propuestas que genera y difunde la comunidad colaborativa son consideradas por los tomadores de decisiones en las instituciones gubernamentales, para participar y ayudar en su implementación.*

*Después de 20 años de labor de la comunidad colaborativa, es palpable la mejora en las condiciones de vida de los habitantes de la cuenca respecto a la gestión sostenible del agua, mismas que se desean mantener y mejorar para las generaciones futuras. Los tomadores de decisiones de las instituciones gubernamentales son un integrante más de la comunidad, la cual ha consolidado sus procesos de planeación estratégica y ofrece esquemas de consulta y participación justos y equitativos. Para este momento, la comunidad es diversa en actores de interés, lidera la gestión del agua en la cuenca e interactúa de forma activa con otras comunidades de gestión sostenible del agua de otras cuencas.*

#### **4.2.3. Valores**

En la tabla 4.7 se indican y definen los valores identificados como necesarios para el cumplimiento de la misión y el logro de la visión, especificando la forma en que apoyan en su consecución.

**Tabla 4.7.** Valores identificados como necesarios para el logro de la misión y visión.

<b>Valores</b>	<b>Definición para una organización</b>	<b>Forma en que ayudan al logro de la misión y visión</b>
Respeto	Tratar como nos gustaría que nos trataran.	Abre puertas y hace duraderas las relaciones.
Tolerancia	Respetar las ideas, creencias o prácticas de los demás, aún cuando son diferentes o contrarías a las nuestras.	Damos y obtenemos confianza para participar y no dejar de lado ideas, opiniones o puntos de vista que pueden ser importantes.
Paciencia	Facultad de saber esperar cuando algo se desea mucho.	Para no buscar soluciones “fáciles”, sino duraderas (sostenibles).
Empatía	Capacidad de identificarse con alguien y compartir sus sentimientos	Si conozco las razones, entonces puedo comprender las acciones y buscar el “punto medio”.
Equidad	Trato igualitario, sin distinciones	Asegura igualdad de condiciones en la participación y en la obtención de resultados. Esto anima a colaborar.
Transparencia	Rendir cuentas claras y no ocultar información relevante para beneficiar intereses particulares.	Incrementa la confianza para colaborar.

A continuación, se presenta a manera de declaración, la forma en que estos valores se interrelacionan:

*Para poder unirnos para colaborar con una visión común, hay que empezar tratando a los demás con respeto, es decir, tratándolos como nos gustaría que nos trataran y ser tolerantes a las ideas, creencias o prácticas de los demás, aún cuando sean diferentes a las propias, así como tener paciencia con la obtención de lo que buscamos, ya que éstas son formas de crear empatía para compartir sentimientos y comprender las motivaciones que guían nuestro actuar. De esta forma, será más sencillo ofrecer equidad en la colaboración, esto es, obtener un trato igualitario y sin distinciones entre todos los actores de interés, y al final poder demostrar transparencia al rendir cuentas claras y no ocultar información relevante para beneficiar sólo intereses particulares que afecten a los intereses de la comunidad.*



*Si se actúa en el marco de los valores anteriores, se asegura el logro de la misión y visión de la comunidad colaborativa, mediante una colaboración duradera, con propuestas diversas, creativas e innovadoras que han sido consensadas para una gestión sostenible del agua, la cual permita beneficiar por igual a todos los habitantes presentes y futuros de la cuenca.*

#### **4.2.4. Compromiso**

*Ante un escenario de gestión no sostenible del agua en la cuenca del río Nenetzingo –caracterizado principalmente por poca disponibilidad natural de agua (sobre todo en la época de estiaje), insuficiencia en los servicios de agua y saneamiento, competencia por el uso del agua entre distintos usuarios y localidades, descarga directa de aguas residuales a escurrimientos naturales, ocurrencia de deslaves y la limitación financiera, material y humana de las autoridades hídricas para actuar en consecuencia–, se hizo evidente generar una visión común, tanto del sistema actual de gestión del agua, como de la necesidad de implementar un esquema de gestión sostenible del vital líquido, esto mediante el establecimiento de una comunidad colaborativa que realice planeación estratégica para buscar la gestión integrada de los recursos hídricos.*

*Esta comunidad se integra por representantes de los diversos usos del agua que se dan en la cuenca, de las autoridades gubernamentales municipales, estatales y federales relacionadas con los recursos hídricos y del sector académico y de investigación, capaz de ofrecer ciencia básica y aplicada. Estos actores clave conocen y aplican la visión de la comunidad, participan en el intercambio abierto de información, colaboran con propuestas y acciones, al mismo tiempo que se capacitan constantemente según progresa la forma en que se realiza la gestión sostenible del agua en México y el mundo.*

*El esquema de acuerdos consensados para la gestión sostenible del agua en la cuenca, es el principal medio para elaborar un plan de gestión integrada de recursos hídricos, el cual se busca que esté alineado con la legislación y planeación hídrica gubernamental vigente, con la finalidad de ofrecer propuestas de gestión sostenible*

*del agua a las autoridades correspondientes, para que dichas autoridades valoren su conversión hacia políticas hídricas.*

#### **4.2.5. Aspectos estratégicos del proceso de planeación**

El examen integrado de la caracterización general de la cuenca, identificación preliminar de actores de interés, misión, visión, valores y compromiso, dio como resultado un conjunto de aspectos de FODA. De dichos aspectos se propuso un conjunto de estrategias que permitieran reducir las debilidades y amenazas y aprovechar las fortalezas y oportunidades. A continuación se presenta cada uno de los aspectos de FODA.

Fortalezas:

- En ambos casos, el municipio ofrece el servicio en la mayoría de las localidades (cobertura).
- En aquellas localidades donde el municipio no ofrece el servicio, existen comités locales.
- El municipio muestra su interés por participar.
- Existe unión entre la población de cada localidad.
- Hasta ahora se han resuelto las necesidades de agua y saneamiento.

Debilidades:

- Los municipios se enfocan más en la gestión de la oferta y menos la gestión de la demanda.
- Los servicios de agua y saneamiento se centran en las soluciones tradicionales. El relieve de la cuenca es un impedimento para la implementación de éstas en varias de sus localidades.
- No es evidente la participación activa de todos los actores de interés. Existe fragmentación en la gestión del agua.
- No existe una comunidad colaborativa que integre a todos los actores de interés.
- No existe un plan de GIRH para la cuenca.
- No está muy difundida la GIRH entre los principales actores de interés.

- No son evidentes los mecanismos consolidados de participación de los usuarios del agua.
- Se carece de una visión sistémica de los usos del agua, incluyendo la fuente del recurso y el destino del agua residual.
- Existe poca infraestructura para los servicios básicos de agua y saneamiento.
- Existe un desorden en las tomas de agua.
- La demanda de agua supera a la capacidad de abastecimiento del municipio.

#### Oportunidades:

- Conocer las condiciones del agua subterránea y sus posibilidades de explotación.
- Aprovechar los recursos hídricos de la cuenca.
- Implementar los marcos legales y de planeación enfocados hacia la GIRH.
- Explorar alternativas de solución a los retos hídricos.
- La tendencia hacia el desarrollo sostenible.
- Promover la cooperación entre dos municipios.
- Ser un caso de éxito en GIRH.

#### Amenazas:

- Fenómenos hidrometeorológicos.
- Distancia entre localidades.
- Relieve de la cuenca (para el desarrollo de infraestructura).
- Tiempo y dinero para asistir a reuniones (poco transporte).
- La necesidad de coordinación entre ambos municipios.
- El manejo político del agua.
- El lento desarrollo económico de la región.
- Se depende de agua importada.
- Enfermedades relacionadas con el acceso a agua.

Los aspectos estratégicos del proceso de planeación que se desprenden del análisis de las condiciones de FODA son:

- Hay que identificar y caracterizar a todos los actores de interés para el caso de estudio.

- Es necesario establecer canales de comunicación entre todos los actores de interés.
- Difundir los resultados de la caracterización general de la cuenca.
- Difundir la propuesta entre todos los actores de interés.
- Promover la colaboración entre municipios.
- Conocer y aprovechar los planes y proyectos gubernamentales que están en ejecución.
- Realizar el desarrollo de capacidades en GIRH (conceptos, normatividad y colaboración).
- Fomentar la conciencia sobre la importancia del desarrollo sostenible.
- Colectar y exponer casos de éxito en el uso de alternativas innovadoras para el agua y saneamiento.
- Analizar los canales e instrumentos participativos idóneos para esta cuenca.
- Impulsar el trabajo colaborativo.
- Buscar formas de que el dinero y la distancia entre comunidades no sea una barrera para la colaboración.
- Mantener en todo momento el espíritu académico del proyecto.

#### 4.3. ANÁLISIS DE LA SITUACIÓN

##### **4.3.1. Análisis estructural del sistema de gestión del agua de la cuenca del río Nenetzingo**

###### 4.3.1.1. Inventariado de variables del sistema

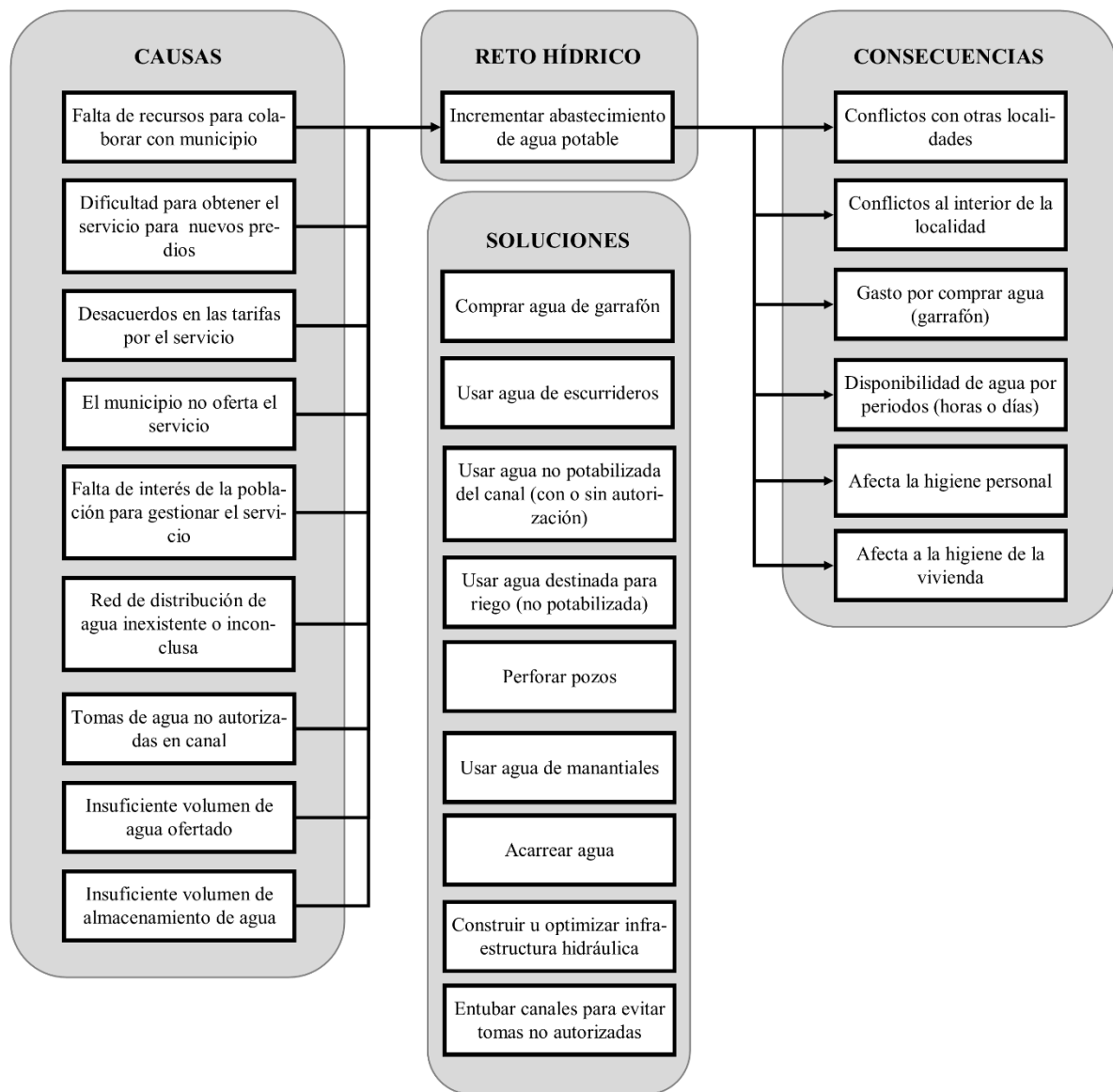
Las entrevistas semiestructuradas se aplicaron a 12 de 14 delegados de las localidades dentro de la cuenca del río Nenetzingo. Los delegados faltantes de entrevistar no fueron localizados, y por cuestiones de logística ya no se les pudo consultar. Desafortunadamente, una vez que se dieron los cambios de administración 2016-2018 los responsables municipales de la administración del agua en la cuenca ya no estuvieron en condiciones de apoyar con el acercamiento a los nuevos delegados. En el Anexo 2 se expone la estructura de este instrumento de investigación.

Para cada uno de los tres usos del agua en la cuenca del río Nenetzingo (doméstico, agrícola y ambiental) se identificaron los principales retos en materia hídrica para la cuenca del río Nenetzingo, resultando en siete para el uso doméstico, seis para el uso agrícola y nueve para el uso ambiental. Esto da un total de 22 retos hídricos, para los cuales se generó su modelo

de la dinámica del sistema; pero por cuestión de espacio y claridad, sólo se presentará un modelo de dinámica en esta parte del documento y el resto de modelos se presenta en el Anexo 3.

El ejemplo se refiere al reto hídrico de incrementar el abastecimiento de agua potable para el uso doméstico (Figura 4.23). En la columna central de la figura 4.23, rectángulo superior, se expone el reto hídrico, mientras que la columna de la izquierda se enlistan las causas expresadas en las entrevistas de que exista dicho reto, al tiempo que en la columna de la derecha se manifiestan las consecuencias derivadas de ese mismo reto. En términos generales, y considerando el análisis de cadena causal, la columna de consecuencias representaría el problema hacia la población, la columna de reto hídrico sería la causa directa o inmediata y la columna de causas expresarían las causas del sistema o latente. Finalmente, y derivado también de las entrevistas, se identificaron un conjunto de soluciones con las que se ha pretendido remediar o minimizar el reto hídrico.

Respecto a la estructura y contenido del modelo representado en la figura 4.23 (y el resto de modelos contenidos en el Anexo 3), es importante indicar que el conjunto de causas, consecuencias y soluciones, son derivados de su mención por al menos uno de los entrevistados en una de las localidades. A continuación se explica el porqué de esta situación: si bien es cierto que una causa, consecuencia o solución puede estar presente en una localidad, pero en otra no, lo que se pretendió fue considerar todos los casos, para posteriormente llegar a una plantilla común de indicadores sistémicos que se apliquen a toda la cuenca, de forma tal que se ratifique si sólo son condiciones de una parte de la cuenca o si en otras zonas donde no se habían considerado tales aspectos también existen, pero no son tan evidentes.



**Figura 4.23.** Modelo de la dinámica del sistema hídrico para el uso doméstico del agua, reto de incrementar el abastecimiento de agua potable.

A partir de las entrevistas semiestructuradas y los modelos de la dinámica del sistema generados, se obtuvieron las variables para realizar el análisis estructural. En la tabla 4.8 se presenta el listado de las 49 variables del sistema de gestión del agua de la cuenca del río Nenetzingo. Cada una de estas variables fue denominada con un nombre representativo de la condición que se deseaba expresar.

En el Anexo 4 se presenta la definición de cada una de estas variables, misma que fue utilizada durante la evaluación de la relación entre variables (apartado siguiente).

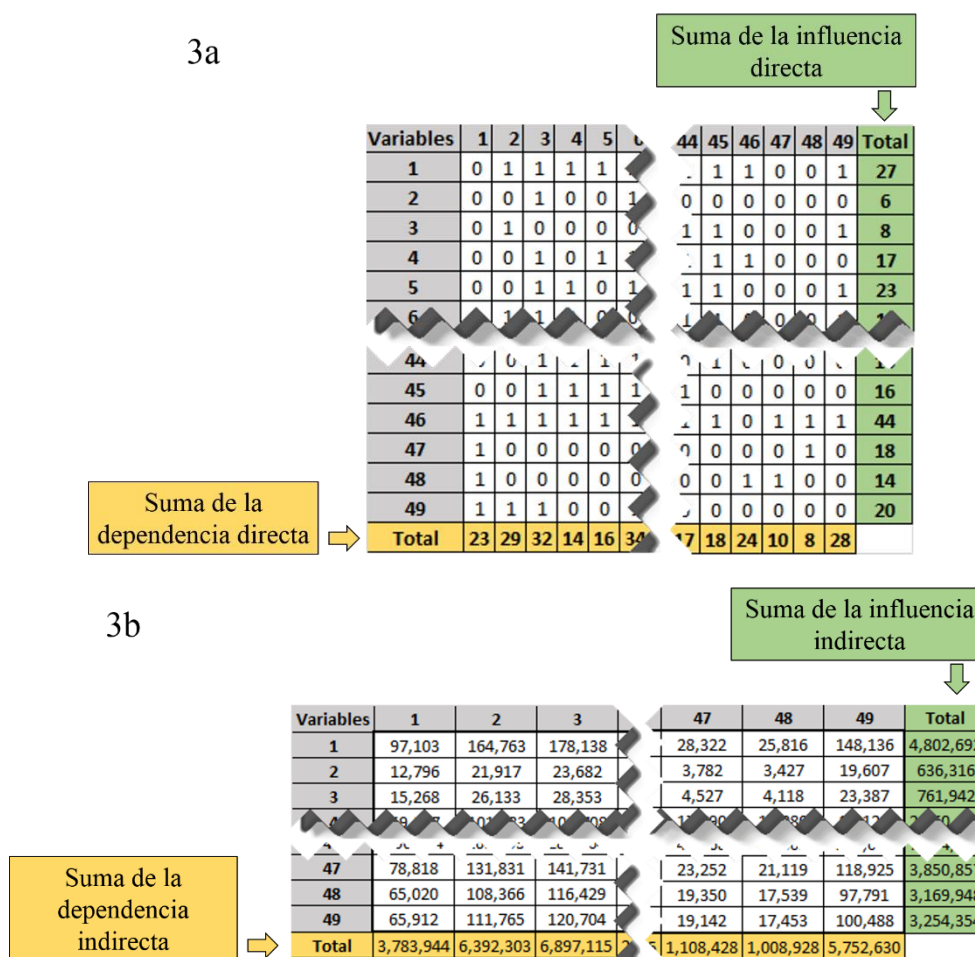
**Tabla 4.8.** Variables del sistema de gestión del agua en la cuenca del río Nenetzingo.

Nombres de variables	
1. Acceso a servicio de agua en la vivienda	26. Volumen de residuos de fosas sépticas
2. Comprar agua de garrafón	27. Residuos sólidos por recipientes de agroquímicos
3. Condiciones de higiene personal	28. Disponibilidad de recursos para colaborar con el municipio
4. Acceso a servicio de drenaje	29. Tarifas por el servicio de agua y saneamiento
5. Acceso a servicio de sanitario	30. Derrumbes sobre canales de conducción de agua
6. Condiciones de higiene en vivienda	31. Buscar empleo por falta de productividad agrícola propia
7. Enfermedades de origen hídrico	32. Proteger áreas naturales
8. Vulnerabilidad ante riesgos sanitarios	33. Defecar al aire libre
9. Riesgos sanitarios	34. Desacuerdo con las tarifas por el servicio
10. Ingreso familiar por actividades productivas propias (agrícolas y/o comerciales) en la cuenca	35. Usar en viviendas agua no potabilizada del canal que importa agua de otra cuenca
11. Productividad agrícola	36. Usar agua de escurrideros en viviendas y/o cultivos
12. Acceso a agua para riego	37. Usar agua de manantiales en viviendas
13. Cantidad y condición de la vegetación silvestre (bosque y selva natural)	38. Acarrear agua para uso en viviendas
14. Precipitación	39. Perforar pozos
15. Disponibilidad natural de agua	40. Conflictos entre usuarios de agua
16. Calidad del agua	41. Tandeo de agua para viviendas y/o riego
17. Fauna nociva	42. Gestionar el servicio de agua y/o drenaje
18. Cantidad y condición de la fauna silvestre	43. Construir u optimizar infraestructura hidráulica funcional para ofertar los servicios de agua, drenaje y tratamiento de agua residual
19. Deforestación	44. Usar fosas sépticas en viviendas
20. Tomas de agua no autorizadas en el canal que importa agua de otra cuenca	45. Usar letrinas en viviendas
21. Usos no autorizados del agua del canal que importa el líquido de otra cuenca	46. Fomentar cultura de gestión sostenible del agua
22. Volumen de consumo de agua	47. Reforestar
23. Arrojar agua residual de viviendas a cuerpos de agua sin antes darle el tratamiento adecuado	48. Brigadas comunitarias para conservación de bosque y selva
24. Viviendas dispersas	49. Reutilización de agua
25. Uso de agroquímicos	

#### 4.3.1.2. Descripción de la relación entre variables

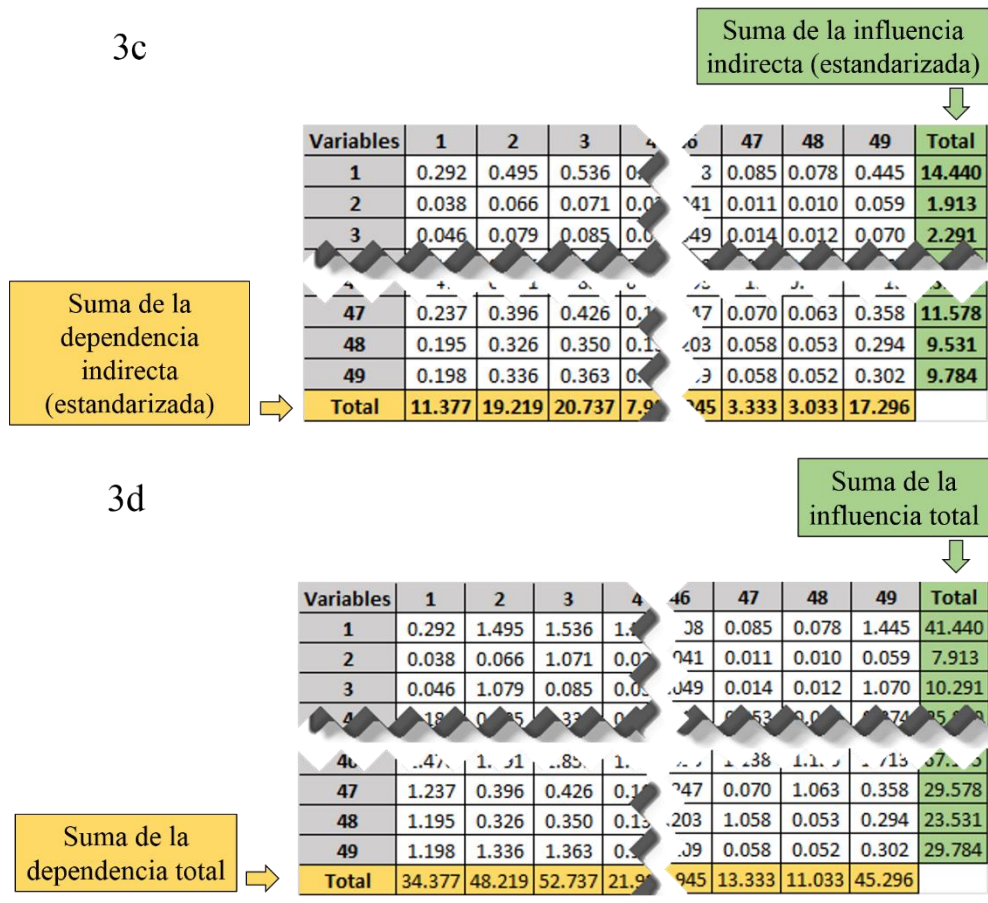
La figura 4.24 muestra ejemplos de las matrices resultantes para analizar la estructura del sistema. En los cuatro casos que expone la figura 4.24, los números en la primera fila y primera columna representan el número de la variable del sistema bajo análisis. En la figura 4.24a se representa la matriz de influencia directa o MID, cuyos valores indican si existe o

no relación entre un par de variables (número uno o cero, respectivamente). La figura 4.24b expone el resultado de elevar la MID a la quinta potencia para generar la matriz de influencia indirecta o MII. La figura 4.24c expone el resultado de estandarizar la MII, es decir, de dividir cada celda entre el valor más alto de toda la matriz. Finalmente, en la matriz de influencia total o MIT (Figura 4.24d) se puede analizar si una relación entre variables es directa (valores cero o uno), indirecta (valores entre cero y uno) o ambas (valores mayores que uno), por su parte el valor de la celda indica la magnitud de dicha relación. Las matrices completas se han incluido en el Anexo 5.



**Figura 4.24.** Ejemplo de valores contenidos en las matrices de influencia (3a) directa (MID), (3b) indirecta (MII), (3c) indirecta estandarizada (MIIE) y (3d) total (MIT) del sistema de gestión del agua de la cuenca del río Nenetzingo.





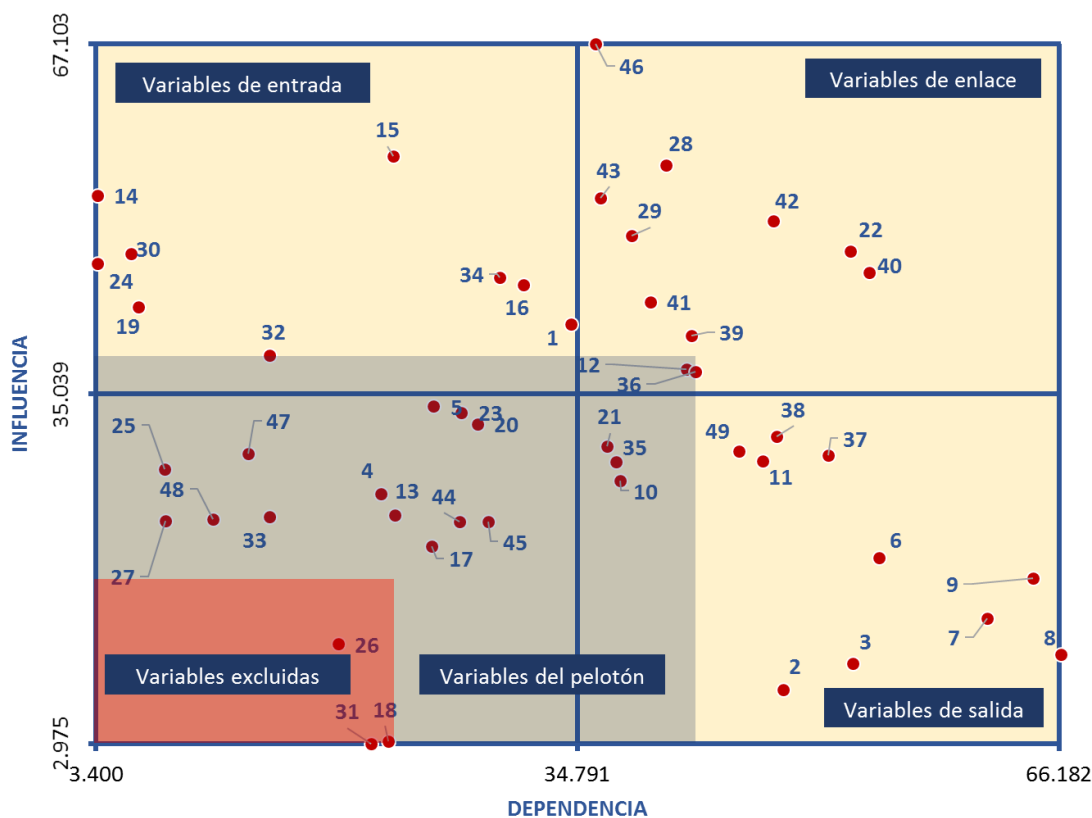
**Figura 4.24.** Ejemplo de valores contenidos en las matrices de influencia (3a) directa (MID), (3b) indirecta (MII), (3c) indirecta estandarizada (MIIE) y (3d) total (MIT) del sistema de gestión del agua de la cuenca del río Nenetzingo (continuación).

4.3.1.3. Identificación de las variables clave

En cuanto a la clasificación de las variables para delinear la estructura del sistema, en la figura 4.25 se muestra la distribución para la MIT usando las categorías de Godet (1994, 2000 y 2009) y Godet y Durance (2011). Las variables ubicadas en el cuadrante superior izquierdo se denominaron variables de entrada (alta influencia y baja dependencia). Las variables del cuadrante superior derecho se consideraron variables de enlace (alta influencia y dependencia). Aquellas variables ubicadas en el cuadrante inferior derecho se denominaron variables de salida (poca o nula influencia y alta dependencia). Las variables del cuadrante inferior izquierdo (zona sombreada en rojo) se nombraron como variables excluidas (influencia y dependencia mínimas o nulas). Por último, se tiene a aquellas variables que expresan una influencia o dependencia medios, por lo que es complicado catalogarlos

claramente como componentes de alguna de las categorías anteriores y se les denominó como del pelotón (zona sombreada en azul en la figura 4.25).

Como resultado de aplicar el GVF, y considerando la suma de influencia total, la clase que representó el rango para la influencia baja agrupó a valores entre 2.975 y 18.098; la clase para las variables del pelotón incluyó a datos con valores mayores a 18.098 y hasta 38.537; mientras que la clase para mayor influencia se agrupó en valores mayores a 38.537 y hasta 67.103. En cuanto a la suma de la dependencia total, la clase de baja dependencia quedó delimitada entre 3.4 y 22.881; la clase para las variables pelotón incluyó valores por arriba de 22.881 y hasta 42.502; y, finalmente, la clase de las variables más dependientes correspondió a valores mayores que 42.502 y hasta 66.182.



**Figura 4.25.** Clasificación de la relación influencia-dependencia de las variables del sistema de gestión del agua de la cuenca del río Nenetzingo, a partir de la MIT.

La estructura del sistema expresa el tipo de relaciones que tiene una variable respecto al resto. En la tabla 4.9 se presenta el listado de las variables categorizadas como de entrada, enlace, salida, pelotón y excluidas en la figura 4.25.

**Tabla 4.9.** Clasificación de las variables de la MIT para conocer la estructura del sistema de gestión del agua de la cuenca del río Nenetzingo.

Clave	Nombre	MICMAC
1	Acceso a servicio de agua en la vivienda	Entrada
2	Comprar agua de garrafón	Salida
3	Condiciones de higiene personal	Salida
4	Acceso a servicio de drenaje	Pelotón
5	Acceso a servicio de sanitario	Pelotón
6	Condiciones de higiene en vivienda	Salida
7	Enfermedades de origen hídrico	Salida
8	Vulnerabilidad ante riesgos sanitarios	Salida
9	Riesgos sanitarios	Salida
10	Ingreso familiar por actividades productivas propias (agrícolas y/o comerciales) en la cuenca	Pelotón
11	Productividad agrícola	Salida
12	Acceso a agua para riego	Pelotón
13	Cantidad y condición de la vegetación silvestre (bosque y selva natural)	Pelotón
14	Precipitación	Entrada
15	Disponibilidad natural de agua	Entrada
16	Calidad del agua	Entrada
17	Fauna nociva	Pelotón
18	Cantidad y condición de la fauna silvestre	Excluida
19	Deforestación	Entrada
20	Tomas de agua no autorizadas en el canal que importa agua de otra cuenca	Pelotón
21	Usos no autorizados del agua del canal que importa el líquido de otra cuenca	Pelotón
22	Volumen de consumo de agua	Enlace
23	Arrojar agua residual de viviendas a cuerpos de agua sin antes darle el tratamiento adecuado	Pelotón
24	Viviendas dispersas	Entrada
25	Uso de agroquímicos	Pelotón
26	Volumen de residuos de fosas sépticas	Excluida
27	Residuos sólidos por recipientes de agroquímicos	Pelotón
28	Disponibilidad de recursos para colaborar con el municipio	Enlace
29	Tarifas por el servicio de agua y saneamiento	Enlace
30	Derrumbes sobre canales de conducción de agua	Entrada
31	Buscar empleo por falta de productividad agrícola propia	Excluida
32	Proteger áreas naturales	Pelotón
33	Defecar al aire libre	Pelotón
34	Desacuerdo con las tarifas por el servicio	Entrada

**Tabla 4.9.** Clasificación de las variables de la MIT para conocer la estructura del sistema de gestión del agua de la cuenca del río Nenetzingo (continuación).

Clave	Nombre	MICMAC
35	Usar en viviendas agua no potabilizada del canal que importa agua de otra cuenca	Pelotón
36	Usar agua de escurrideros en viviendas y/o cultivos	Pelotón
37	Usar agua de manantiales en viviendas	Salida
38	Acarrear agua para uso en viviendas	Salida
39	Perforar pozos	Enlace
40	Conflictos entre usuarios de agua	Enlace
41	Tandeo de agua para viviendas y/o riego	Enlace
42	Gestionar el servicio de agua y/o drenaje	Enlace
43	Construir u optimizar infraestructura hidráulica funcional para ofertar los servicios de agua, drenaje y tratamiento de agua residual	Enlace
44	Usar fosas sépticas en viviendas	Pelotón
45	Usar letrinas en viviendas	Pelotón
46	Fomentar cultura de gestión sostenible del agua	Enlace
47	Reforestar	Pelotón
48	Brigadas comunitarias para conservación de bosque	Pelotón
49	Re-uso de agua	Salida

Para el caso del sistema de gestión del agua de la cuenca del río Nenetzingo, las variables de entrada influyen sobre otras variables del resto del sistema, al mismo tiempo que pocas o ninguna variable influye sobre ellas. Por lo tanto, se trata de variables impulsoras de la dinámica del sistema y su comportamiento influye en los demás componentes del sistema y en el sistema como un todo. Al mismo tiempo, se trata de variables no modificables por factores internos del sistema. Adicionalmente, pareciera que la condición que presenta cada una de estas variables de entrada se relaciona más con factores externos al sistema bajo análisis.

Las variables de enlace influyen en el comportamiento de otras variables, pero también reciben una considerable influencia de otras variables del propio sistema (sobre todo de las de entrada). Esta condición las posiciona como inestables, ya que su comportamiento puede ser influenciado por distintas variables de forma directa, indirecta o mediante ciclos de retroalimentación, dicho comportamiento se traslada en forma de cascada hacia las variables a las que influye, directa e indirectamente.

Evidentemente, las variables de enlace influyen sobre otras variables, principalmente sobre las variables de salida. Estas últimas son dependientes del comportamiento de las otras variables (de entrada y de enlace) y poco influyentes en el comportamiento de alguna otra variable, por lo que la condición que presenta cada una de estas variables de salida se relaciona más con factores internos al sistema bajo análisis.

Considerando la numeración de la tabla 4.9 y la figura 4.25, las variables del pelotón son 4, 5, 10, 12, 13, 17, 20, 21, 23, 25, 27, 32, 33, 35, 36, 44, 45, 47 y 48. Estas variables no pudieron definirse claramente como influyentes o dependientes, y por lo tanto no se incluyeron en ninguno de los grupos anteriores.

Finalmente, las variables excluidas son 18, 26 y 31 (Tabla 4.9 y Figura 4.25). Por su orientación, es notorio que estas variables no ejercen influencia considerable sobre el resto de componentes del sistema y a la vez no expresan gran dependencia de lo que ocurre con el resto de variables, por lo que cualquier acción sobre ellas no repercutirá significativamente en la totalidad del sistema, ni viceversa.

En la tabla 4.10 se presentan las variables clave obtenidas a partir de la MIT. En la figura 4.25 son las variables que se ubican fuera de las zonas sombreadas en azul. De esta forma, se puede apreciar que, para el caso de la cuenca del río Nenetzingo, se obtuvieron variables clave de entrada, enlace y salida. Adicionalmente, en la tabla 4.10 se presenta la categorización de cada variable en el marco de trabajo FiPEIR y las AEPAS.

**Tabla 4.10.** Variables clave del sistema de gestión del agua en la cuenca del río Nenetzingo.

Clave	Nombre	MICMAC	FIPEIR	AEPA
1	Acceso a servicio de agua en la vivienda	Entrada	Impacto	Social
2	Comprar agua de garrafón	Salida	Respuesta	Económica
3	Condiciones de higiene personal	Salida	Respuesta	Social
6	Condiciones de higiene en vivienda	Salida	Respuesta	Social
7	Enfermedades de origen hídrico	Salida	Impacto	Social
8	Vulnerabilidad ante riesgos sanitarios	Salida	Impacto	Social
9	Riesgos sanitarios	Salida	Estado	Ambiental
11	Productividad agrícola	Salida	Presión	Económica
14	Precipitación	Entrada	Estado	Ambiental

**Tabla 4.10.** Variables clave del sistema de gestión del agua en la cuenca del río Nenetzingo (continuación).

Clave	Nombre	MICMAC	FIPEIR	AEPA
15	Disponibilidad natural de agua	Entrada	Estado	Ambiental
16	Calidad del agua	Entrada	Estado	Ambiental
19	Deforestación	Entrada	Presión	Ambiental
22	Volumen de consumo de agua	Enlace	Presión	Social
24	Viviendas dispersas	Entrada	Fuerza impulsora	Social
28	Disponibilidad de recursos para colaborar con el municipio	Enlace	Impacto	Económica
29	Tarifas por el servicio de agua y saneamiento	Enlace	Respuesta	Económica
30	Derrumbes sobre canales de conducción de agua	Entrada	Estado	Institucional, información, ciencias y tecnología
34	Desacuerdo con las tarifas por el servicio	Entrada	Respuesta	Institucional, información, ciencias y tecnología
37	Usar agua de manantiales en viviendas	Salida	Respuesta	Social
38	Acarrear agua para uso en viviendas	Salida	Respuesta	Social
39	Perforar pozos	Enlace	Respuesta	Social
40	Conflictos entre usuarios de agua	Enlace	Respuesta	Institucional, información, ciencias y tecnología
41	Tandeo de agua para viviendas y/o riego	Enlace	Respuesta	Social
42	Gestionar el servicio de agua y/o drenaje	Enlace	Respuesta	Institucional, información, ciencias y tecnología
43	Construir u optimizar infraestructura hidráulica funcional para ofertar los servicios de agua, drenaje y tratamiento de agua residual	Enlace	Respuesta	Institucional, información, ciencias y tecnología
46	Fomentar cultura de gestión sostenible del agua	Enlace	Respuesta	Institucional, información, ciencias y tecnología
49	Re uso de agua	Salida	Respuesta	Ambiental

Es importante recordar que las variables clave son aquellas que expresan mayor grado de influencia y/o dependencia y que, por consecuencia, son esenciales para la dinámica del sistema. Se obtuvo un listado final de 27 variables clave con las cuales se logró simplificar la representación del sistema de gestión del agua de la cuenca del río Nenetzingo.

De estas variables clave, ocho son de entrada, nueve de enlace y diez de salida. Al contrario de otras propuestas (Aledo, et al., 2008; Ambrosio-Albalá et al., 2011; Arya y Abbasi, 2001; Delgado-Martínez y Pantoja-Timarán, 2015; Delgado-Serrano et al., 2015; Estuardo-Cevallos et al., 2015), la presente investigación no se centró en elegir a las variables clave ubicadas en un solo cuadrante específico del gráfico de influencia-dependencia (Figura 4.25). El principal sustento de esta postura, es que bajo ese razonamiento se vuelve a una perspectiva fragmentada del sistema, donde la planeación se da sin considerar la dinámica de otras variables que pueden ser altamente influyentes como para modificar los resultados planeados. Si se dejan de considerar variables importantes de otros sectores del gráfico de clasificación de la relación influencia-dependencia (Figura 4.25), no será evidente su participación en el posible fracaso de la planeación y, por tanto, en el diseño de medidas correctivas al plan.

Con estas variables clave se logró reducir la complejidad del sistema de gestión del agua de la cuenca bajo estudio, al tiempo que se conservó su estructura para analizar su dinámica desde una perspectiva de planeación estratégica y táctica. Además, el conocer su categoría FiPEIR y AEPA permitirá relacionarlas con las áreas y actores de interés específicos (disciplinarios e institucionales) durante la identificación de responsabilidades como parte del contenido del Plan de GIRH.

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

En la tabla 4.11 se exponen los indicadores que se identificaron para evaluar las variables clave del sistema de gestión del agua de la cuenca del río Nenetzingo. Así mismo, se señalan aquellos indicadores para los cuales no se dispusieron datos para su cálculo al momento del desarrollo de la investigación.

**Tabla 4.11.** Indicadores identificados para evaluar las variables clave del sistema de gestión del agua en la cuenca del río Nenetzingo.

Clave	Variable	Indicador	Disponibilidad de datos
1	Acceso a servicio de agua en la vivienda	Indicador de no acceso a agua (INAA)	Si
2	Comprar agua de garrafón	Indicador de población que compra agua de garrafón (IPCAG)	No
3	Condiciones de higiene personal	Indicador de agua que se emplea en higiene personal (IAEHP)	No
6	Condiciones de higiene en vivienda	Indicador de agua que se emplea en higiene de vivienda (IAEHP)	No
7	Enfermedades de origen hídrico	Tasa de mortalidad por enfermedades diarreicas agudas (TMEDAS)	Si
8	Vulnerabilidad ante riesgos sanitarios	Índice de marginación (IM)	Si
9	Riesgos sanitarios	Indicador de riesgos sanitarios registrados (IRSR)	No
11	Productividad agrícola	Indicador de cambio en la superficie agrícola (ICSA)	Si
14	Precipitación	Indicador de ocurrencia de sequía (IOS)	Si
15	Disponibilidad natural de agua	Indicador de disponibilidad natural de agua (IDNA)	Si
16	Calidad del agua	Indicador de descargas en cuerpos de agua o barrancas (IDCAB)	Si
19	Deforestación	Indicador de cambio en la superficie de bosque (ICSB)	Si
22	Volumen de consumo de agua	Índice de consumo doméstico y agrícola de agua (ICDAA)	No
24	Viviendas dispersas	Indicador de densidad de viviendas (IDV)	Si
28	Disponibilidad de recursos para colaborar con el municipio	Indicador de no acceso a refrigerador (INAR)	Si
29	Tarifas por el servicio de agua y saneamiento	Indicador de no cobro por agua potable (INCAP)	Si
30	Derrumbes sobre canales de conducción de agua	Indicador de distribución de la ocurrencia de deslizamientos de tierra (IDODT)	Si
34	Desacuerdo con las tarifas por el servicio	Indicador de desacuerdos por tarifas (IDT)	No
37	Usar agua de manantiales en viviendas	Indicador de viviendas que usan agua de manantial (IVUAM)	No
38	Acarrear agua para uso en viviendas	Indicador de viviendas con fuente de agua externa (IVFAE)	Si
39	Perforar pozos	Indicador de disponibilidad de pozo comunitario (IDPC)	Si
40	Conflictos entre usuarios de agua	Número de conflictos documentados	No
41	Tandeo de agua para viviendas y/o riego	Indicador de disponibilidad de agua por unidad de tiempo (IDAUT)	No



**Tabla 4.11.** Indicadores identificados para evaluar las variables clave del sistema de gestión del agua en la cuenca del río Nenetzingo (continuación).

Clave	Variable	Indicador	Disponibilidad de datos
42	Gestionar el servicio de agua y/o drenaje	Indicador de crecimiento del acceso a servicio sanitario (ICASS)	Si
43	Construir u optimizar infraestructura hidráulica funcional para ofertar los servicios de agua, drenaje y tratamiento de agua residual	Indicador de crecimiento del acceso a servicios de agua y drenaje (ICASAD)	Si
46	Fomentar cultura de gestión sostenible del agua	Indicador de población en desarrollo de capacidades de GIRH (IPDCGIRH)	No
49	Re-uso de agua	Indicador de viviendas que re-usan agua (IVRA)	No

Para esta tesis se contó con datos para elaborar indicadores que permitieron evaluar 16 de 27 variables clave (lo que equivalió a un 59.2%). De las ocho variables de entrada, se dispuso de datos para desarrollar siete indicadores, uno por cada variable (87.5%); mientras que para las nueve variables clave de enlace se identificaron cinco indicadores (55.6%), también uno por variable; al tiempo que para las 10 variables de salida se pudieron identificar cuatro indicadores por cada una de ellas (40%).

La siguiente sección trata precisamente sobre el desarrollo seguido para el cálculo de los indicadores disponibles para el sistema de gestión del agua de la cuenca del río Nenetzingo.

### 4.3.3. Método hidrogeomático

#### 4.3.3.1. Análisis de requerimientos

El producto resultante requerido para el proceso hidrogeomático fue un conjunto de indicadores del sistema de gestión del agua de la cuenca del río Nenetzingo, expresados todos ellos en un contexto espacial. Se tenía claro que los indicadores sistémicos deberían facilitar la identificación de estrategias de GIRH para la cuenca. Adicionalmente, se identificó que los usuarios de la información que se generaría con los indicadores serían los actores de interés en un proceso de GIRH para la cuenca bajo estudio. Se consideró que estos actores eran los usuarios del agua, las autoridades gubernamentales y el sector académico y de

investigación. Por tal motivo, se determinó que la mejor forma de expresar los indicadores sistémicos era a través de mapas de la cuenca.

Es importante recalcar que el método hidrogeomático sólo se podría aplicar a los indicadores para los cuales se contó con datos para su cálculo. A este momento de la investigación ya se tenían identificados los formatos de los datos oficiales disponibles para el cálculo de los indicadores, su nivel espacial de representación y la temporalidad de los mismos. En cuanto a los formatos, básicamente se trató de tablas en archivos de texto, hojas de cálculo (Excel) y en bases de datos (Access), así como de capas vectoriales en archivos para SIG (ArcGIS). Estas condiciones demandarían la estandarización de los datos de entrada para estructurar una base de datos geoespacial (BDG) del proyecto

El nivel de desagregación espacial mínimo fue la localidad para los datos socioeconómicos, mientras que para los datos ambientales podría ser la cuenca o subdivisiones de la misma. Debido a lo anterior es que se reconoció que era posible elaborar los indicadores a nivel de localidad, subcuenca y cuenca. En lo que a temporalidad se refiere, las diversas fuentes recolectan los datos en distintas fechas y continuidad. Por tal motivo se decidió usar la información más reciente disponible en cada caso y, en la medida de lo posible, ajustarse a los esquemas temporales del INEGI, ya que otras de las fuentes de información a usar toman como referencia los datos de esta institución.

En lo que a disponibilidad de recursos para el desarrollo y futura aplicación del modelo hidrogeomático a generar, se consideró que al tratarse de un ejercicio académico y, con la finalidad de ponerlo a disposición de los actores de interés, los costos para su operación tendrían que ser los más bajos posibles. Debido a lo anterior, se tuvo en mente considerar el trabajo con software libre.

#### 4.3.3.2. Diseño conceptual

A continuación se presentan los modelos conceptuales de los indicadores sistémicos para evaluar las variables del sistema de gestión del agua del río Nenetzingo. Por cuestiones de análisis del sistema, los indicadores se han organizado según la categoría de las variables. Esto implica que se presentan en primer lugar los relacionados con las variables de entrada, después aquellos de las variables de enlace y finalmente, los que ayudan a evaluar a las

variables de salida. Los apartados 4.3.3.2.1 a 4.3.3.2.7 corresponden a los indicadores relacionados con las variables de entrada. Los apartados que van del 4.3.3.2.8 al 4.3.3.2.13 son para los indicadores de enlace. Por último, los apartados del 4.3.3.2.14 al 4.3.3.2.17 se relacionan con las variables de salida.

#### 4.3.3.2.1. *Indicador de no acceso a agua (INAA)*

Para evaluar la variable de entrada *acceso a servicio de agua en las viviendas*, se usó el indicador de no acceso a agua o INAA. Éste expresa el porcentaje de viviendas particulares habitadas de una localidad, subcuenca o cuenca, que no cuentan con servicio de agua dentro de la vivienda. Para calcularlo se usa la ecuación 4.1.

$$INAA = 100 \left[ \frac{TVPH - VPHADV}{TVPH} \right] \text{ ..... (Ecuación 4.1)}$$

Donde:

*INAA* = Indicador de no acceso a agua;

*TVPH* = Total de viviendas particulares habitadas;

*VPHADV* = Viviendas particulares habitadas con servicio de agua dentro de la vivienda.

El cálculo del INAA puede realizarse por localidad, subcuenca o cuenca. En el caso del realizarlo por cuenca o subcuenca, bastó con conjuntar los valores de las variables de cálculo de las localidades que queden dentro del límite hidrológico correspondiente.

#### 4.3.3.2.2. *Indicador de ocurrencia de sequía (IOS)*

Una variable clave de entrada al sistema de gestión del agua de la cuenca del río Nenetzingo es la Precipitación, ya que es una de las principales fuentes de entrada de agua a la cuenca. El agua de lluvia es principalmente aprovechada por la vegetación silvestre y la actividad agrícola de temporal en la cuenca. Por otro lado, en esta cuenca no se expresó la problemática de inundaciones ocasionadas por la lluvia. Por lo tanto, se decidió usar el indicador de ocurrencia de sequía (IOS), para destacar la ausencia de agua de lluvia en la cuenca, lo que

permite tener un panorama de las implicaciones que esto podría tener, sobre todo para las actividades productivas que dependen de esta fuente natural de agua.

El cálculo del IOS se realiza mediante la aplicación de la ecuación 4.2. Este indicador se calcula a nivel de cuenca o subcuenca para cada uno de los 12 meses del año, con la finalidad de detectar patrones temporales en el comportamiento de la sequía. El indicador se puede definir como el porcentaje de eventos de sequía ocurridos en un mes específico de un periodo de años.

$$IOS_i = 100 \left[ \frac{NESOM_i}{NAAM_i} \right] \dots\dots\dots \text{(Ecuación 4.2)}$$

Donde:

$IOS_i$  = Indicador de ocurrencia de sequía para el mes del periodo de años;

$NESOM_i$  = Número de eventos de sequía ocurridos en el mes  $i$  del periodo de años;

$NAAM_i$  = Número de años analizados para el mes  $i$ ;

$i = 1, 2, 3, \dots, 12$ .

#### 4.3.3.2.3. *Indicador de disponibilidad natural de agua (IDNA)*

La variable clave de entrada *Disponibilidad natural de agua* se evalúa mediante el indicador de disponibilidad natural de agua (IDNA). Este indicador señala el valor de la disponibilidad natural media anual de agua en una cuenca o subcuenca. Siguiendo la propuesta de Gómez-Albores (2012), el agua natural disponible en una cuenca se compone de la porción del agua de lluvia que escurre o se infiltra en una cuenca, y no considera la fracción del volumen de agua de lluvia que vuelve a la atmósfera en forma de evapotranspiración. Para este indicador que se propone en esta tesis, no es necesario realizar ninguna operación especial y, más bien, se representa y evalúa de forma directa. Es importante indicar que los datos se toman de mediciones directas en campo o de instituciones que los generan a través de métodos indirectos.

#### 4.3.3.2.4. *Indicador de descargas en cuerpos de agua o barrancas (IDCAB)*

Para evaluar la variable de entrada *calidad del agua*, se utiliza el indicador de descargas en cuerpos de agua o barrancas, IDCAB. La cuenca del río Nenetzingo carece de datos sobre parámetros físicos-químicos de calidad del agua, por lo que decidió emplear datos que al menos dieran indicios de la recepción de contaminantes del agua. De esta forma, los datos disponibles permiten conocer el IDCAB (Ecuación 4.3). Específicamente, este indicador señala las localidades que descargan sus aguas residuales directamente en cuerpos de agua.

A nivel de localidad, el indicador señala con el valor 1 si ésta realiza la descarga en un cuerpo de agua, barranca o si no cuentan con servicio de desalojo de aguas residuales (lo que supone que se descargan en sitios que por fuerza de gravedad llegarán a los mismos destinos, incluyendo la infiltración). En caso de que no se indique el destino de las descargas, entonces se coloca un valor 0, lo que se supone que no se especificó el destino de las descargas o que la localidad tiene menos de 50 viviendas (apegándose al criterio del INEGI).

A nivel de cuenca, el indicador se define como el porcentaje de localidades en la cuenca que descargan en cuerpos de agua o barrancas. Su cálculo se realiza mediante la ecuación 4.3.

$$IDCAB = 100 \left[ \frac{LDCAB}{TL} \right] \dots\dots\dots (Ecuación 4.3)$$

Donde:

*IDCAB* = Indicador de descargas en cuerpos de agua o barrancas;

*LDCAB* = Localidades de la cuenca que descargan en cuerpos de agua o barrancas;

*TL* = Total de localidades en la cuenca.

#### 4.3.3.2.5. *Indicador de cambio de superficie de bosque (ICSB)*

Para tener una idea de cómo se comportó la variable clave de entrada *Deforestación*, se optó por utilizar el Indicador de cambio en la superficie de bosque (ICSB). De esta forma, el indicador pone de relieve el cambio porcentual en la superficie de bosque entre un año y otro (denominados registro anterior y registro reciente), expresando si la superficie ha

incrementado, disminuido o se ha mantenido a través del tiempo. Este indicador da resultados que van entre -100 y 100, expresando la dimensión de pérdida (valores negativos) o ganancia (valores positivos). Igualmente puede expresar conservación de la superficie al resultar cero. La forma en que se calculó el indicador se expresa en la ecuación 4.4.

$$ICSB = 100 \left[ \frac{SB\_R - SB\_A}{SB\_A} \right] \dots\dots\dots \text{(Ecuación 4.4)}$$

Donde:

ICSB = Indicador de cambio en la superficie de bosque;

SB\_R = Superficie de bosque, registro reciente;

SB\_A = Superficie de bosque, registro anterior.

Al trabajar con valores de superficie, el indicador se puede utilizar a nivel de cuenca y subcuenca. Desde el punto de vista cartográfico, este indicador es complicado de usar a nivel de localidad, puesto que no siempre son claros los límites entre una localidad y otra, elemento fundamental para inferir la superficie de bosque que correspondería a cada localidad.

#### 4.3.3.2.6. *Indicador de densidad de viviendas (IDV)*

El indicador de densidad de viviendas (IDV) se utilizó para evaluar la variable de entrada *viviendas dispersas*. El indicador se define como la cantidad de viviendas particulares habitadas que existen por cada kilómetro cuadrado de la cuenca. Este indicador está disponible sólo a nivel de cuenca o subcuenca, puesto que demanda contar con el dato de la superficie de este límite hidrológico. Su cálculo se realiza mediante la ecuación 4.5.

$$IDV = \frac{TVPH}{AC} \dots\dots\dots \text{(Ecuación 4.5)}$$

Donde:

IDV = Indicador de densidad de viviendas;

TVPH = Total de viviendas particulares habitadas;

$AC$  = Área de la cuenca.

#### 4.3.3.2.7. Indicador de distribución de la ocurrencia de deslizamientos de tierra (*IDODT*)

La variable clave relacionada con *derrumbes sobre canales de conducción de agua* se evaluará con el indicador de distribución de la ocurrencia de deslizamientos de tierra (*IDODT*). Este indicador se define como el porcentaje de eventos ocurridos en una localidad o subcuenca respecto al total de eventos de toda la cuenca durante un periodo de tiempo determinado. Para este trabajo se usan datos de varios años, ya que es un fenómeno que puede ser recurrente en la zona de estudio y no se delimita a un año en particular. Este indicador se puede calcular por localidad o por subcuenca. Para el cálculo por localidades se usó la ecuación 4.6.

$$IDODT = 100 \left[ \frac{TDTL}{TDTC} \right] \dots\dots\dots \text{(Ecuación 4.6)}$$

Donde:

*IDODT* = Indicador de distribución de la ocurrencia de deslizamientos de tierra;

*TDTL* = Total de deslizamientos de tierra registrados en la localidad, para un periodo de tiempo;

*TDTC* = Total de deslizamientos de tierra en la cuenca, para el mismo periodo de tiempo.

*TDTL* se calcula como (Ecuación 4.7):

$$TDTL = \sum_{i=1}^n DTL_i \dots\dots\dots \text{(Ecuación 4.7)}$$

Donde:

$DTL_i$  = Deslizamientos de tierra en la localidad para el año  $i$ ;

$i = 1, 2, 3, \dots, n$ ;

$n$  = Número de años del periodo.

Si se trabaja por subcuencas, su cálculo del IDODT se realiza usando la ecuación 4.8.

$$IDODT = 100 \left[ \frac{T D T S}{T D T C} \right] \dots\dots\dots \text{(Ecuación 4.8)}$$

Donde:

*IDODT* = Indicador de distribución de la ocurrencia de deslizamientos de tierra;

*TDTS* = Total de deslizamientos de tierra registrados en la subcuenca, para un periodo de tiempo;

*TDTC* = Total de deslizamientos de tierra en la cuenca, para el mismo periodo de tiempo.

*TDTS* se calcula como (Ecuación 4.9):

$$T D T S = \sum_{i=1}^n T D T L_i \dots\dots\dots \text{(Ecuación 4.9)}$$

Donde:

*TDTL<sub>i</sub>* = Total de deslizamientos de tierra registrados en la localidad *i*, para un periodo de tiempo;

*i* = 1, 2, 3, ..., *n*;

*n* = Número localidades en la subcuenca.

#### 4.3.3.2.8. *Indicador de no acceso a refrigerador (INAR)*

Ante la falta de datos específicos y con la representatividad espacial por localidad para conocer el comportamiento de la variable de enlace *disponibilidad de recursos para colaborar con el municipio*, se optó por emplear el criterio de CONAPO (2012) para conocer el nivel de ingreso económico de la población en las localidades. CONAPO (2012) usa el número de salarios mínimos de los censos de INEGI para el cálculo del índice de marginación a nivel municipal y estatal; sin embargo, este dato no está disponible para el cálculo de su índice a nivel de localidad, por lo que emplean el acceso a refrigerador como un indicador



del ingreso económico. A continuación se expone el argumento de CONAPO (2012: 332) para justificar el uso de este indicador:

*Los índices de marginación por entidad federativa y municipio consideran el porcentaje de población ocupada con ingresos de hasta dos salarios mínimos, como un indicador que permite dar cuenta del nivel de vida y de oportunidades al cual tiene acceso la población; sin embargo, a nivel localidad no se dispone de información sobre los ingresos de la población ocupada. Debido a ello, a partir de 2005, se observó la pertinencia de emplear el indicador que destaca la posesión de activos, tales como el refrigerador. Este indicador capta la incapacidad de los hogares para adquirir bienes de consumo duradero de primera necesidad y da cuenta de las repercusiones que afectan la higiene, la salud y la economía de la población que vive en ellos.*

Ahora bien, vale la pena aclarar que en esta investigación se realizó un ajuste para el cálculo del INAR, por lo que no se calcula siguiendo la propuesta del CONAPO (2012). El consejo nacional de población calcula el indicador usando sólo los datos de viviendas particulares habitadas de una localidad que no cuentan con refrigerador y el total de viviendas particulares habitadas de una localidad; sin embargo, por la experiencia del trabajo de campo, se pudo constatar que la falta de refrigerador, además de la falta de recursos económicos, puede deberse a la falta del servicio de electricidad en la vivienda. Por lo tanto, en el cálculo del INAR se incluyó la variable de disponibilidad de electricidad.

La definición final del INAR, es que se trata de un indicador que expresa la proporción de viviendas particulares habitadas que no cuentan con refrigerador (resta del total de viviendas particulares habitadas menos las viviendas particulares habitadas con refrigerador) respecto a las que sí cuentan con electricidad. El cálculo del indicador se expresa en la ecuación 4.10.

$$INAR = 100 \left[ \frac{TVPH - VPHR}{VPHE} \right] \dots\dots\dots (Ecuación 4.10)$$

Donde:

INAR = Indicador de no acceso a refrigerador;

TVPH = Total de viviendas particulares habitadas;

VPHR = Viviendas particulares habitadas que disponen de refrigerador;

VPHE = Viviendas particulares habitadas que disponen de electricidad.

Para calcular el INAR por subcuenca o cuenca, sólo se conjuntaron los valores de las variables de cálculo de las localidades que quedaron dentro del límite hidrológico correspondiente.

#### 4.3.3.2.9. *Indicador de no cobro por agua potable (INCAP)*

El indicador de no cobro por agua potable (INCAP) es el que se utilizó para evaluar la variable de enlace *tarifas por el servicio de agua y saneamiento*. Se trata de indicador que señala si en la localidad se cobra o no el servicio de agua potable (valor 0 ó 1, respectivamente), en caso de que se cuente con éste. La idea es destacar aquellas localidades donde no se cobra el servicio de agua potable.

A nivel de cuenca o subcuenca, el indicador se define como el porcentaje de localidades en la cuenca o subcuenca que no cobran el servicio de agua potable. Su cálculo se realiza mediante la ecuación 4.11.

$$INCAP = 100 \left[ \frac{LNCAP}{TL} \right] \dots\dots\dots (Ecuación 4.11)$$

Donde:

*INCAP* = Indicador de no cobro por agua potable;

*LNCAP* = Localidades de la cuenca que no cobran el servicio de agua potable;

*TL* = Total de localidades en la cuenca.

#### 4.3.3.2.10. *Indicador de disponibilidad de pozo comunitario (IDPC)*

El sistema de gestión del agua de la cuenca del río Nenetzingo incluye a la variable *Perforar pozos* como de enlace, razón por la cual se decidió emplear el indicador de disponibilidad de pozo comunitario (IDPC) para valorar su comportamiento en la cuenca.

Este indicador expone la disponibilidad o ausencia de pozo comunitario en una localidad, usando los valores uno en caso de disponibilidad y cero en caso de ausencia, no especificado o no valorarse este rubro por tratarse de una localidad con menos de 50 viviendas (de acuerdo con el criterio de INEGI). A nivel de cuenca o subcuenca, se define como el porcentaje de localidades que cuentan con pozo comunitario respecto al total de localidades de la cuenca. La ecuación 4.12 expone cómo se calcula a nivel de cuenca o subcuenca.

$$IDPC = 100 \left[ \frac{LDPC}{TL} \right] \dots\dots\dots \text{(Ecuación 4.12)}$$

Donde:

*IDPC* = Indicador de disponibilidad de pozo comunitario;

*LDPC* = Localidades que disponen de pozo comunitario;

*TL* = Total de localidades en la cuenca o subcuenca.

*4.3.3.2.11. Indicador de crecimiento del acceso a servicio sanitario (ICASS)*

Bajo la premisa de que un sanitario de uso común en México requiere de agua para remover desechos y drenaje para alejarlos del ámbito de la casa, es que se decidió usar el indicador de crecimiento del acceso a servicio sanitario (ICASS) para conocer la variable clave de enlace *gestionar el servicio de agua o drenaje*. Este indicador señala el crecimiento en la proporción de la cobertura del servicio sanitario, considerando el aumento (o disminución) tanto de viviendas como del servicio mismo a través del tiempo y mostrado como porcentaje de la época base. Para su cálculo se requieren datos de distintas épocas (censos o conteos de población o vivienda). La ecuación 4.13 se utiliza para conocer el indicador por localidad, cuenca y subcuenca.

$$ICASS = 100 \left[ \frac{\left( \frac{VPHS\_R}{TVPH\_R} \right) - \left( \frac{VPHS\_A}{TVPH\_A} \right)}{\left( \frac{VPHS\_A}{TVPH\_A} \right)} \right] \dots\dots\dots \text{(Ecuación 4.13)}$$

Donde:

ICASS = Indicador de crecimiento del acceso a servicio sanitario;

VPHS\_R = Viviendas particulares habitadas con sanitario, época reciente;

TVPH\_R = Total de viviendas particulares habitadas, época reciente;

VPHS\_A = Viviendas particulares habitadas con sanitario, época anterior;

TVPH\_A = Total de viviendas particulares habitadas, época anterior.

Para su cálculo por cuenca o subcuenca, basta con integrar los datos de las localidades que quedan dentro de cada uno de las unidades hidrológicas.

#### 4.3.3.2.12. Indicador de crecimiento del acceso a servicio de agua y drenaje (ICASAD)

La variable clave de enlace *construir u optimizar infraestructura hidráulica funcional para ofertar los servicios de agua, drenaje y tratamiento de agua residual*, fue evaluada con el indicador de crecimiento del acceso a servicio de agua y drenaje o ICASAD. Este indicador expone el crecimiento conjunto de las coberturas de agua y drenaje entre dos épocas de tiempo, expresado como porcentaje respecto a la época base. Por lo tanto, el indicador requiere de datos para dos épocas distintas de las localidades y puede ser integrado a nivel de cuenca o subcuenca. Su cálculo se realiza usando la ecuación 4.14.

$$ICASAD = 100 \left[ \frac{\left( \frac{VPHA\_R + VPHD\_R}{TVPH\_R} \right) - \left( \frac{VPHA\_A + VPHD\_A}{TVPH\_A} \right)}{\left( \frac{VPHA\_A + VPHD\_A}{TVPH\_A} \right)} \right] \quad \text{-----} \quad \text{(Ecuación 4.14)}$$

Donde:

ICASAD = Indicador de crecimiento del acceso a servicio de agua y drenaje;

VPHA\_R = Viviendas particulares habitadas con agua, época reciente;

VPHD\_R = Viviendas particulares habitadas con drenaje, época reciente;

TVPH\_R = Total de viviendas particulares habitadas, época reciente;

VPHA\_A = Viviendas particulares habitadas con agua, época anterior;

VPHD\_A = Viviendas particulares habitadas con drenaje, época anterior;

TVPH\_A = Total de viviendas particulares habitadas, época anterior.

#### 4.3.3.2.13. Tasa de mortalidad por enfermedades diarreicas agudas (TMEDAS)

Las *Enfermedades de origen hídrico* constituyen una variable clave de salida que expone cómo afecta el funcionamiento del sistema de gestión del agua en el bienestar de la población. En este caso se decidió evaluar esta variable mediante la tasa de mortalidad por enfermedades diarreicas aguas (TMEDAS). Este indicador se puede calcular por localidad o por cuenca o subcuenca, al integrar los datos de las localidades que están dentro de cada límite hidrológico. La ecuación 3.1 que se presentó en la sección de material y método es la que se emplea para este indicador.

#### 4.3.3.2.14. Índice de marginación (IM)

La *Vulnerabilidad ante riesgos sanitarios*, que es una variable clave de salida, se evaluó mediante el Índice de marginación de la CONAPO (De la Vega, 2012). El índice de marginación se compone de ocho indicadores que miden las dimensiones de educación, características de las viviendas, disponibilidad de servicios en ellas e ingreso económico. En esta investigación se considera que la marginación generada por condiciones no propicias en las viviendas (promedio de ocupantes por vivienda y tipo de piso), la falta de servicios en ellas (condición del acceso a servicios de agua y sanitario) y un contexto poco favorable para la toma de decisiones (analfabetismo y condición de la educación), expresan en su conjunto la condición de vulnerabilidad en que se encuentran ante la posible presencia de riesgos sanitarios.

Este índice se calcula por localidad, sin embargo, en esta investigación se consideró que al agregar la información de las localidades que están dentro de una cuenca o subcuenca, es posible aplicar el mismo procedimiento para calcular el IM por cuenca o subcuenca. A continuación se presenta la forma de calcular el IM a nivel de localidad (aunque también aplica a nivel de cuenca o subcuenca). Es importante mencionar que todas las ecuaciones que se presentan para el cálculo del IM fueron tomadas y adaptadas de De la Vega (2012)

El IM es el resultado de integrar ocho indicadores (Tabla 4.12). Estos indicadores se deben estandarizar y después multiplicar por un coeficiente. Finalmente se suman y el resultado es

el IM, el cual se puede clasificar según cinco categorías: (1) Muy baja, (2) baja, (3) media, (4) alta y (5) muy alta.

**Tabla 4.12.** Indicadores componentes del índice de marginación.

<b>Número</b>	<b>Indicador</b>
1	Porcentaje de población de 15 años o más analfabeta
2	Porcentaje de población de 15 años o más sin primaria completa
3	Porcentaje de viviendas particulares habitadas sin excusado
4	Porcentaje de viviendas particulares habitadas sin energía eléctrica
5	Porcentaje de viviendas particulares habitadas sin disponibilidad de agua entubada
6	Promedio de ocupantes por cuarto en viviendas particulares habitadas
7	Porcentaje de viviendas particulares habitadas con piso de tierra
8	Porcentaje de viviendas particulares habitadas que no disponen de refrigerador

El porcentaje de población de 15 años o más analfabeta ( $I_1$ ) se calcula de acuerdo a la ecuación 4.15.

$$I_1 = 100 \left[ \frac{P15YM\_AN}{P\_15YMAS} \right] \dots\dots\dots \text{(Ecuación 4.15)}$$

Donde:

$I_1$  = Porcentaje de población de 15 años o más analfabeta;

$P15YM\_AN$  = Población analfabeta de 15 años o más;

$P\_15YMAS$  = Población de 15 años o más.

La ecuación 4.16 expone la forma de calcular el porcentaje de población de 15 años o más sin primaria completa ( $I_2$ ).

$$I_2 = 100 \left[ \frac{P15YM\_SE + P15PRI\_IN}{P15PRI\_CO + P15SEC\_IN + P15SEC\_CO + P18YM\_PB} \right] \dots\dots\dots \text{(Ecuación 4.16)}$$

Donde:

$I_2$  = Porcentaje de población de 15 años o más sin primaria completa;

$P15YM\_SE$  = Población de 15 años o más sin escolaridad;

$P15PRI\_IN$  = Población de 15 años o más con primaria incompleta;

$P15PRI\_CO$  = Población de 15 años o más con primaria completa;

$P15SEC\_IN$  = Población de 15 años o más con secundaria incompleta;

$P15SEC\_CO$  = Población de 15 años o más con secundaria completa;

$P18YM\_PB$  = Población de 18 años o más con educación pos-básica.

El porcentaje de viviendas particulares habitadas sin excusado se calcula usando la ecuación 4.17.

$$I_3 = 100 \left[ \frac{TVIVPARHAB - VPH\_EXCSA}{TVIVPARHAB} \right] \text{ ..... (Ecuación 4.17)}$$

Donde:

$I_3$  = Porcentaje de viviendas particulares habitadas sin excusado;

$TVIVPARHAB$  = Viviendas particulares habitadas totales;

$VPH\_EXCSA$  = Viviendas particulares totales que disponen de excusado.

La ecuación 4.18 muestra la ecuación para calcular el porcentaje de viviendas habitadas sin energía eléctrica.

$$I_4 = 100 \left[ \frac{VPH\_S\_ELEC}{VPH\_S\_ELEC + VPH\_C\_ELEC} \right] \text{ ..... (Ecuación 4.18)}$$

Donde:

$I_4$  = Porcentaje de viviendas articulares habitadas sin energía eléctrica;

$VPH\_S\_ELEC$  = Viviendas particulares habitadas que no disponen de energía eléctrica;

$VPH\_C\_ELEC$  = Viviendas particulares habitadas que disponen de luz eléctrica.

El porcentaje de viviendas habitadas sin disponibilidad de agua entubada se calcula usando la ecuación 4.19.

$$I_5 = 100 \left[ \frac{VPH\_AGUAFV}{VPH\_AGUAFV + VPH\_AGUADV} \right] \dots\dots\dots \text{(Ecuación 4.19)}$$

Donde:

$I_5$  = Porcentaje de viviendas particulares habitadas sin disponibilidad de agua entubada;

$VPH\_AGUAFV$  = Viviendas particulares habitadas que no disponen de agua entubada en el ámbito de la vivienda;

$VPH\_AGUADV$  = Viviendas particulares habitadas que disponen de agua entubada en el ámbito de la vivienda.

Un caso especial es el promedio de ocupantes por cuarto en viviendas particulares habitadas, el cual es un dato que se toma de la fuente original, en el caso de esta investigación, del INEGI (Ecuación 4.20).

$$I_6 = PRO\_OCUP\_C \dots\dots\dots \text{(Ecuación 4.20)}$$

Donde:

$I_6 = PRO\_OCUP\_C$  = Promedio de ocupantes por cuarto en viviendas particulares habitadas.

El porcentaje de viviendas particulares habitadas con piso de tierra se calcula usando la ecuación 4.21.



$$I_7 = 100 \left[ \frac{VPH\_PISOTI}{VPH\_PISOTI + VPH\_PISODT} \right] \text{ ..... (Ecuación 4.21)}$$

Donde:

$I_7$  = Porcentaje de viviendas particulares habitadas con piso de tierra;

$VPH\_PISOTI$  = Viviendas particulares habitadas con piso de tierra;

$VPH\_PISODT$  = Viviendas particulares habitadas con piso diferente a tierra.

Finalmente, el porcentaje de viviendas particulares habitadas que no disponen de refrigerador es posible calcularlo usando la ecuación 4.22.

$$I_8 = 100 \left[ \frac{TVIVPARHAB - VPH\_REFRI}{TVIVPARHAB} \right] \text{ ..... (Ecuación 4.22)}$$

Donde:

$I_8$  = Porcentaje de viviendas particulares habitadas que no dispone de refrigerador;

$TVIVPARHAB$  = Viviendas particulares habitadas totales;

$VPH\_REFRI$  = Viviendas particulares habitadas que disponen de refrigerador.

Una vez que se han calculado los ocho indicadores que conforman el IM, es necesario estandarizarlos de manera individual, de forma tal que se pueden integrar entre sí. Para dicha estandarización se ocupa la ecuación 4.23 y la tabla 4.13.

$$Z_i = \frac{I_i - \bar{I}_i}{ds_i} \text{ ..... (Ecuación 4.23)}$$

Donde:

$Z_i$  = Indicador i estandarizado;

$I_i$  = Indicador i;

$\bar{I}_i$  = Media del indicador  $i$  para el conjunto de localidades;

$ds_i$  = Desviación estándar del indicador  $i$  para el conjunto de localidades.

$i = 1, 2, 3, \dots, 8$ .

**Tabla 4.13.** Valor medio y desviación estándar para cada uno de los indicadores ocupados en la ecuación 4.23.

$i$	$I$	$\bar{I}$	$ds$
1	Porcentaje de población de 15 años o más analfabeta	18.45	15.55
2	Porcentaje de población de 15 años o más sin primaria completa	43.92	19.10
3	Porcentaje de viviendas particulares habitadas sin excusado	21.75	28.37
4	Porcentaje de viviendas particulares habitadas sin energía eléctrica	16.45	30.25
5	Porcentaje de viviendas particulares habitadas sin disponibilidad de agua entubada	46.04	42.21
6	Promedio de ocupantes por cuarto en viviendas particulares habitadas	1.51	0.61
7	Porcentaje de viviendas particulares habitadas con piso de tierra	22.2	27.04
8	Porcentaje de viviendas particulares habitadas que no disponen de refrigerador	46.81	34.92

Fuente: elaboración propia con base en De la Vega (2012).

Una vez estandarizados todos los indicadores se procede a calculo final del índice de marginación (IM). Para ello se usa la ecuación 4.24 y la tabla 4.14.

$$IM = \sum_{i=1}^8 \omega_i Z_i \quad (\text{Ecuación 4.24})$$

Donde:

$IM$  = Índice de marginación;

$\omega_i$  = Coeficiente para indicador  $i$  para calcular la primera componente principal;

$Z_i$  = Indicador  $i$  estandarizado.

**Tabla 4.14.** Valor del coeficiente para calcular la primera componente principal para cada uno de los indicadores ocupados en la ecuación 4.24.

<i>i</i>	<i>Z</i>	$\omega$
1	Valor estandarizado del porcentaje de población de 15 años o más analfabeta	0.194
2	Valor estandarizado del porcentaje de población de 15 años o más sin primaria completa	0.189
3	Valor estandarizado del porcentaje de viviendas particulares habitadas sin excusado	0.165
4	Valor estandarizado del porcentaje de viviendas particulares habitadas sin energía eléctrica	0.187
5	Valor estandarizado del porcentaje de viviendas particulares habitadas sin disponibilidad de agua entubada	0.136
6	Valor estandarizado del promedio de ocupantes por cuarto en viviendas particulares habitadas	0.167
7	Valor estandarizado del porcentaje de viviendas particulares habitadas con piso de tierra	0.187
8	Valor estandarizado del porcentaje de viviendas particulares habitadas que no disponen de refrigerador	0.211

Fuente: elaboración propia con base en De la Vega (2012).

Es importante aclarar que los valores de  $\bar{I}$ ,  $ds$  y  $\omega$  mostrados en las tablas 4.13y 4.14 para el cálculo del IM, son aquellos obtenidos por De la Vega (2012) para el caso de la totalidad de localidades y sus datos al momento del censo de población y vivienda realizado por el INEGI.

Finalmente, el IM se puede catalogar según su valor se encuentre en alguno de los rangos expuestos en la tabla 4.15.

**Tabla 4.15.** Categorización del índice de marginación.

<b>Intervalo</b>	<b>Grado de marginación</b>
-1.83197 a -1.32309	Muy bajo
-1.32309 a -1.06870	Bajo
-1.06870 a -0.81425	Medio
-0.81425 a 0.71231	Alto
0.71231 a 8.34515	Muy alto

Fuente: elaboración propia con base en De la Vega (2012).

#### 4.3.3.2.15. Indicador de cambio en la superficie agrícola (ICSA)

Al carecer de datos que dieran una idea del comportamiento de la variable clave de salida *Productividad agrícola*, se decidió usar el Indicador de cambio en la superficie agrícola (ICSA), para al menos tener una idea si esta actividad se ha extendido o ha disminuido en la cuenca. Este indicador se define como el cambio proporcional entre la superficie de un año inicial y un año final (denominados registro anterior y registro reciente, respectivamente), expresado como porcentaje de incremento o disminución respecto al año inicial. Los valores del indicador van de -100 a 100. Los valores negativos indicarían pérdida de superficie, mientras que los positivos ganancia de la misma. El valor cero indica que no hubo cambio entre un registro y otro. La ecuación 4.25 expone la ecuación para calcular el ICSA.

$$ICSA = 100 \left[ \frac{SA_R - SA_A}{SA_A} \right] \dots\dots\dots \text{(Ecuación 4.25)}$$

Donde:

ICSA = Indicador de cambio en la superficie agrícola;

SA\_R = Superficie agrícola, registro reciente;

SA\_A = Superficie agrícola, registro anterior.

Vale la pena destacar que, por su naturaleza de trabajar con superficies, el ICSA generalmente se usa a nivel de cuenca y subcuenca. Normalmente a nivel de localidad no se

disponen de las superficies agrícolas y cartográficamente éstas son complicadas de definir al no contarse con los límites claros de cada localidad.

#### 4.3.3.2.16. *Indicador de viviendas con fuente de agua externa (IVFAE)*

Al no contar con un dato específico respecto a la variable clave de salida *Acarrear agua para uso en viviendas*, se optó por usar el indicador de viviendas con fuente de agua externa o IVFAE. Se trata del porcentaje de viviendas particulares habitadas en una localidad, cuenca o subcuenca cuya fuente de agua es externa al ámbito de la vivienda y, por lo tanto, tienen que trasladarla desde dicha fuente externa. En este sentido, las fuentes externas de agua consideradas son llave pública o hidrante, otra vivienda, pipa, pozo, río, arroyo, lago u otro (INEGI, 2010). El indicador se puede calcular a nivel de localidad, y al integrar estas por cuenca o subcuenca, también es posible calcularlo para estas unidades de análisis hidrológico. La ecuación 4.26 expone su forma de cálculo.

$$IVFAE = 100 \left[ \frac{VPHFAE}{TVPH} \right] \dots\dots\dots \text{(Ecuación 4.26)}$$

Donde:

*IVFAE* = Indicador de viviendas con fuente de agua externa;

*VPHFAE* = Viviendas particulares habitadas con fuente externa de agua;

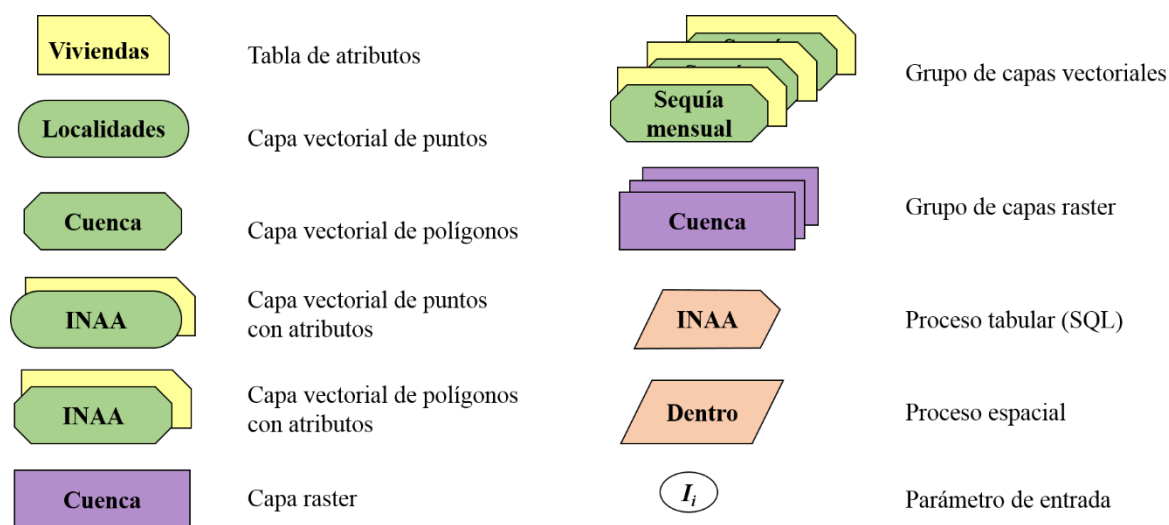
*TVPH* = Total de viviendas particulares habitadas.

#### 4.3.3.3. Diseño lógico

##### 4.3.3.3.1. *Simbología hidrogeomática usada*

Con la finalidad de aplicar en un entorno de SIG cada uno de los indicadores sistémicos expuestos en el diseño conceptual, se recurrió a la simbología geomática manejada por Gómez-Albores (2012) para hacer explícito el proceso que se tendría que seguir en cada indicador. Es así que se generaron una serie de modelos hidrogeomáticos de los indicadores sistémicos de la gestión del agua en la cuenca del río Nenetzingo. En la figura 4.26 se presenta

la simbología geomática básica que se usó en dichos modelos, mismos que se presentan a continuación.

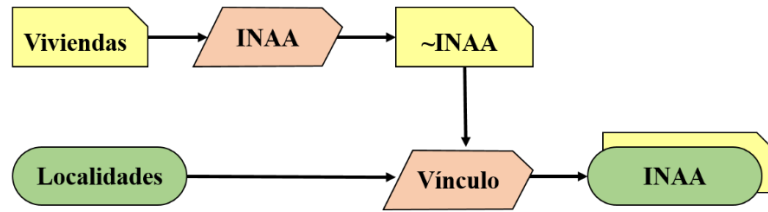


**Figura 4.26.** Simbología geomática básica usada para modelar los indicadores sistémicos de la gestión del agua en la cuenca del río Nenetzingo.

Respecto a la vinculación de las tablas de atributos con las capas vectoriales, vale la pena resaltar que es necesario que en ambos elementos contengan un conjunto de identificadores únicos y comunes entre ellos, mismo que se utilizan para vincular cada una de las filas de una tabla de atributos con una entidad espacial simple o compuesta representada en la capa vectorial.

#### 4.3.3.3.2. Modelos hidroeomáticos

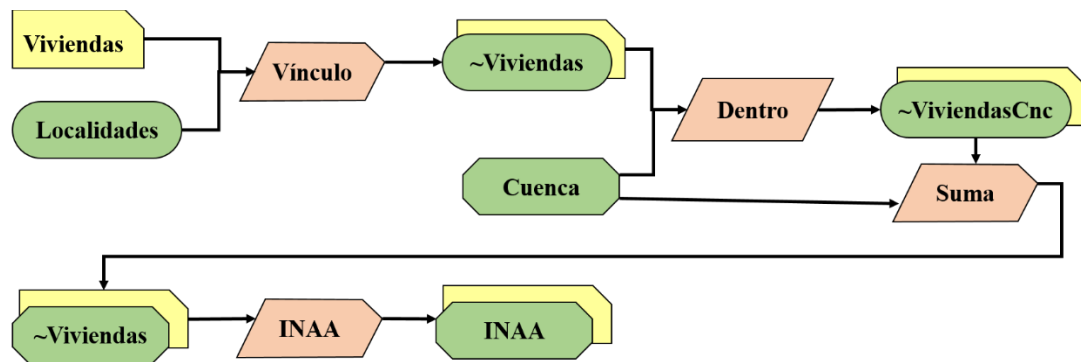
En primer lugar, se tienen los modelos de los indicadores para evaluar las variables clave de entrada del sistema de gestión del agua de la cuenca del río Nenetzingo. El modelo hidroeomático de indicador de no acceso a agua (INAA) a nivel de localidad se muestra en la figura 4.27. En este modelo se aprecia que los datos de entrada se componen por una tabla de las viviendas y una capa vectorial que expresa la ubicación puntual de las localidades. Los atributos necesarios de la tabla de viviendas para el cálculo del INAA son el total de viviendas particulares habitadas y las viviendas particulares habitadas que disponen de agua dentro de la vivienda. Estos atributos se pueden obtener de la integración territorial que se deriva del censo de población y vivienda 2010 del INEGI.



**Figura 4.27.** Modelo hidrogeomático del indicador de no acceso a agua (INAA) a nivel localidad.

De acuerdo con la figura 4.27, se toman de la tabla de viviendas los atributos necesarios para el cálculo del INAA cuyo resultado parcial (señalado por el símbolo “~”, que expresa archivos temporales) es posteriormente vinculado con la capa vectorial de las localidades para expresar así la configuración espacial del indicador en el contexto de la distribución de las localidades.

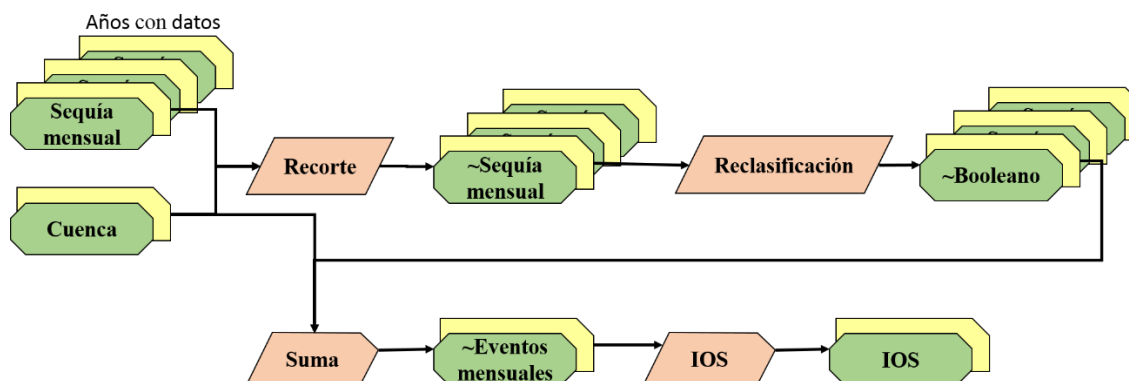
La figura 4.28 muestra el modelo hidrogeomático para el cálculo del INAA a nivel de cuenca o subcuenca. En este caso los datos de entrada son la tabla de viviendas (con los mismos atributos señalados para el cálculo por localidad), la capa vectorial de las localidades y la capa vectorial de los polígonos que representan a cuencas o subcuencas. En el caso específico de este indicador, ninguna de las capas vectoriales cuenta con atributos adicionales.



**Figura 4.28.** Modelo hidrogeomático del indicador de no acceso a agua (INAA) a nivel de cuenca o subcuenca.

En términos generales, se usan las localidades para espacializar la tabla de viviendas y de esta forma poder agrupar a las localidades que se encuentran dentro de una cuenca. Posteriormente, se suman los datos de las localidades dentro de la cuenca para asignarlos a la cuenca y así poder realizar el cálculo en ese nivel hidrológico.

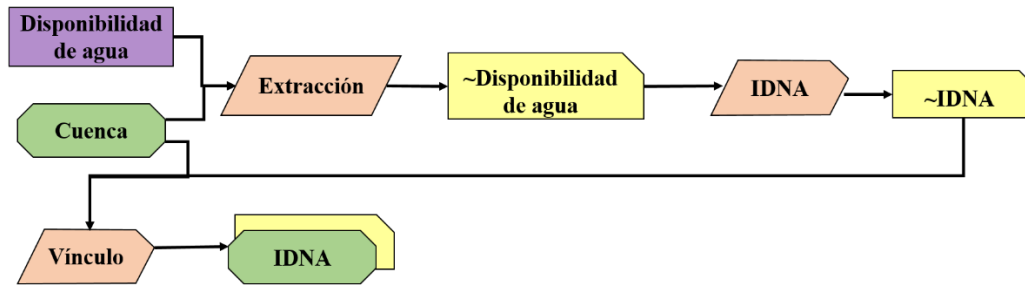
El siguiente indicador es el de ocurrencia de sequías o IOS (Figura 4.29), el cual se calcula sólo a nivel de cuenca o subcuenca. Para su trabajo en un entorno hidroegeomático, este indicador requiere como datos de entrada un grupo de capas vectoriales con polígonos que representa la distribución mensual de la sequía (según el NADM) para una serie de años, así como una capa vectorial de la cuenca o subcuencas. En el primer caso, cada capa vectorial de sequía está vinculada a una tabla de atributos, que básicamente muestra el grado de sequía para cada uno los 12 meses del año (12 campos). Este conjunto de capas se recorta a los límites de la cuenca. Posteriormente, se reclasifican las categorías de sequía para generar capas booleanas que indique los sitios donde ocurre la sequía y aquellos donde este fenómeno hidrológico no está presente. Finalmente, se suman por mes los eventos del periodo. Este último dato es el que se requiere para calcular el IOS.



**Figura 4.29.** Modelo hidroegeomático del indicador de ocurrencia de sequías (IOS) a nivel de cuenca o subcuenca.

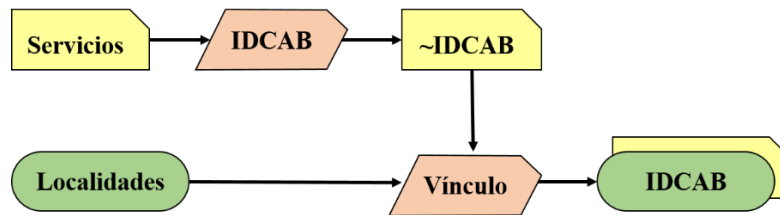
El indicador de disponibilidad natural de agua (IDNA, figura 4.30) es otro de los indicadores relacionados con las variables clave de entrada. Por su naturaleza, este indicador se calcula a nivel de cuenca o subcuenca. Los datos de entrada para calcular el indicador son una capa raster de disponibilidad natural de agua generada por Gómez-Albores (2012) y una capa vectorial con la cuenca. En síntesis, en el modelo hidroegeomático de la figura 4.30 propone realizar una extracción de la disponibilidad natural de agua como promedio de toda una cuenca o por cada subcuenca y almacenarlo en una tabla de atributos temporal (con el símbolo “~”). El indicador final se muestra de forma espacial al vincular la tabla del resultado parcial con la capa vectorial de la cuenca.





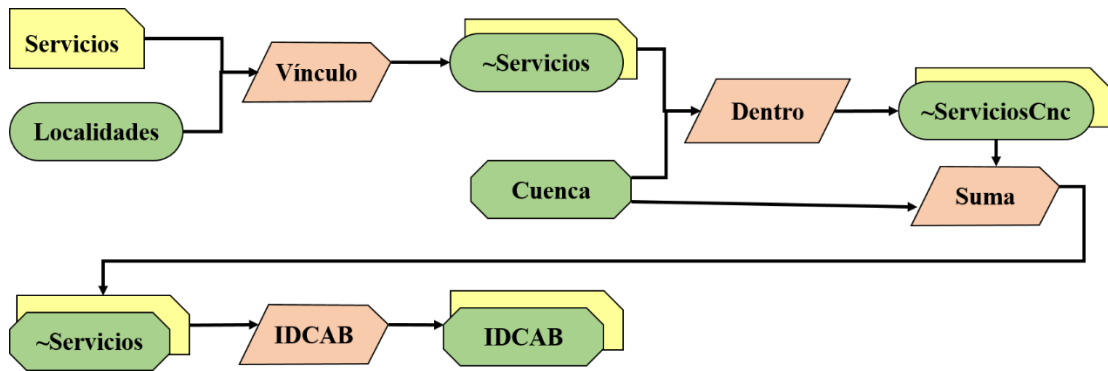
**Figura 4.30.** Modelo hidroeométrico del indicador de disponibilidad natural de agua (IDNA) a nivel de cuenca o subcuenca.

Ahora se presenta el modelo hidroeométrico del IDCAB o indicador de descargas en cuerpos de agua o barrancas. Para el desarrollo hidroeométrico a nivel de localidad (Figura 4.31), este indicador requiere como datos de entrada los atributos de la tabla de servicios relacionados con las localidades que descargan sus aguas residuales en cuerpos de agua o barrancas. Otro dato de entrada es la capa vectorial de puntos que representan a las localidades de la zona de estudio. Ambos datos de entrada se vinculan para expresar espacialmente el indicador.



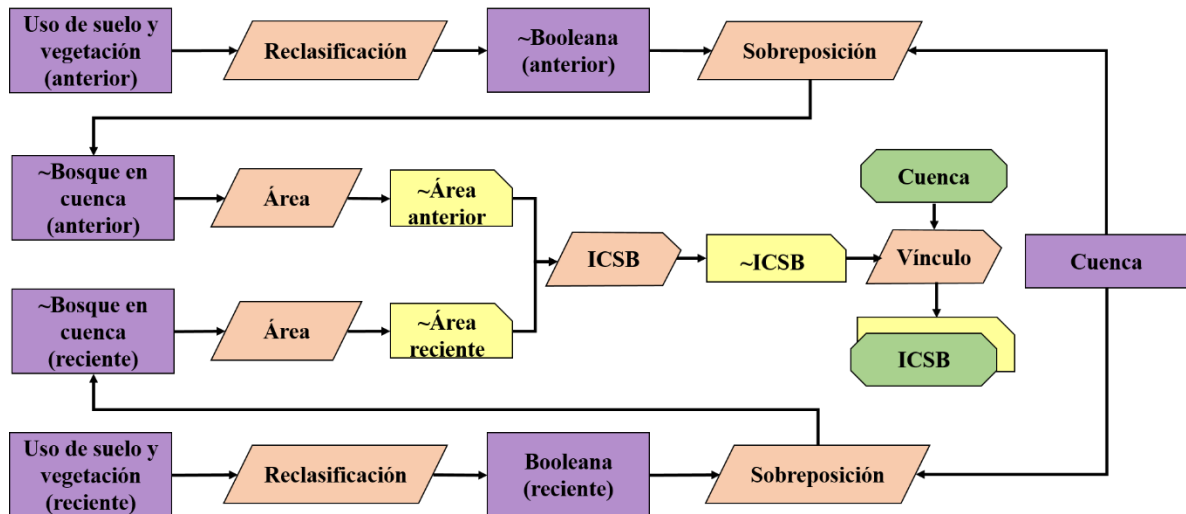
**Figura 4.31.** Modelo hidroeométrico del indicador de descargas en cuerpos de agua o barrancas (IDCAB) a nivel de localidad.

A nivel de cuenca o subcuenca (Figura 4.32), el IDCAB además de los datos de entrada referidos para las localidades, requiere del límite de cuenca. Específicamente, tras espacializar los datos por localidad, elige aquellas que están dentro de la cuenca o subcuencas para agrupar sus datos y realizar así el cálculo del indicador para esa cuenca o subcuenca.



**Figura 4.32.** Modelo hidrogeomático del indicador de descargas en cuerpos de agua o barrancas (IDCAB) a nivel de cuenca o subcuenca.

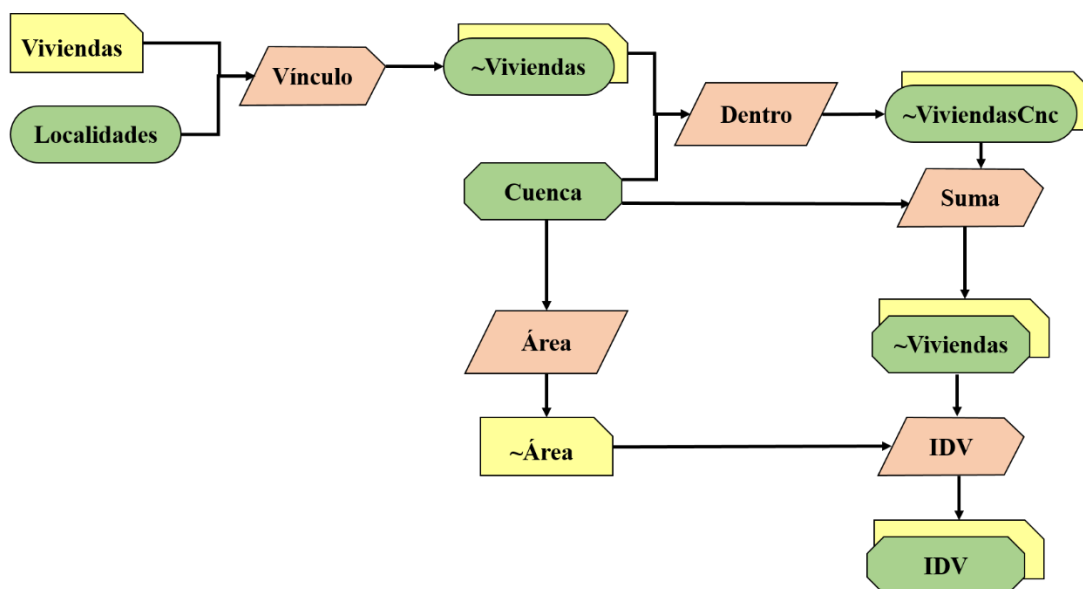
El indicador de cambio de superficie de bosque (ICSB) se desarrolla a nivel de cuenca o subcuenca siguiendo el modelo hidrogeomático de la figura 4.33. Las entradas básicas para este indicador son las imágenes de uso de suelo y vegetación de dos épocas distintas. Estas imágenes son reclasificadas para extraer sólo la cobertura de bosque que se ubica dentro de la cuenca. Se obtiene el área de esta cobertura y se calcula el ICSB, mismo que se vincula con una capa vectorial de entrada con el límite de la cuenca, con la finalidad de representar espacialmente el indicador.



**Figura 4.33.** Modelo hidrogeomático del indicador de cambio de superficie de bosque (ICSB) a nivel de cuenca o subcuenca.

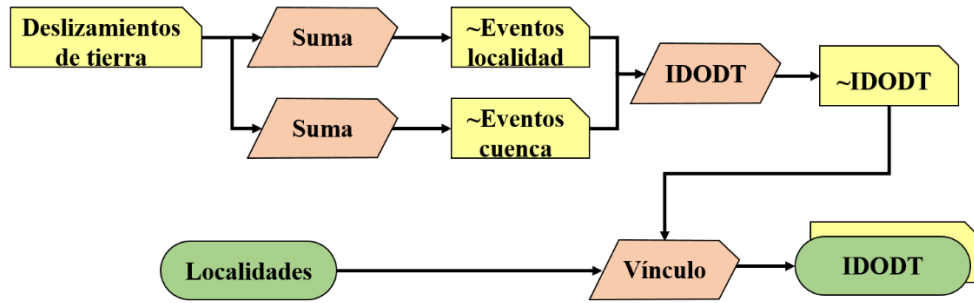
Otro indicador que también sólo se calcula a nivel de cuenca o subcuenca, es el indicador de densidad de viviendas. La figura 4.34 expone el modelo hidrogeomático de este indicador.

Este indicador usa como entradas el atributo de total de viviendas particulares habitadas de la tabla de viviendas, la capa vectorial de localidades y la de cuenca o subcuenca. Por un lado, el proceso de identifica el total de viviendas que hay dentro de una cuenca o subcuenca y, por otro lado, determina el área de la cuenca o subcuenca. Estos dos valores son los que usa para calcular el IDV y expresarlo como una capa vectorial para exponer el resultado por cada cuenca o subcuenca.



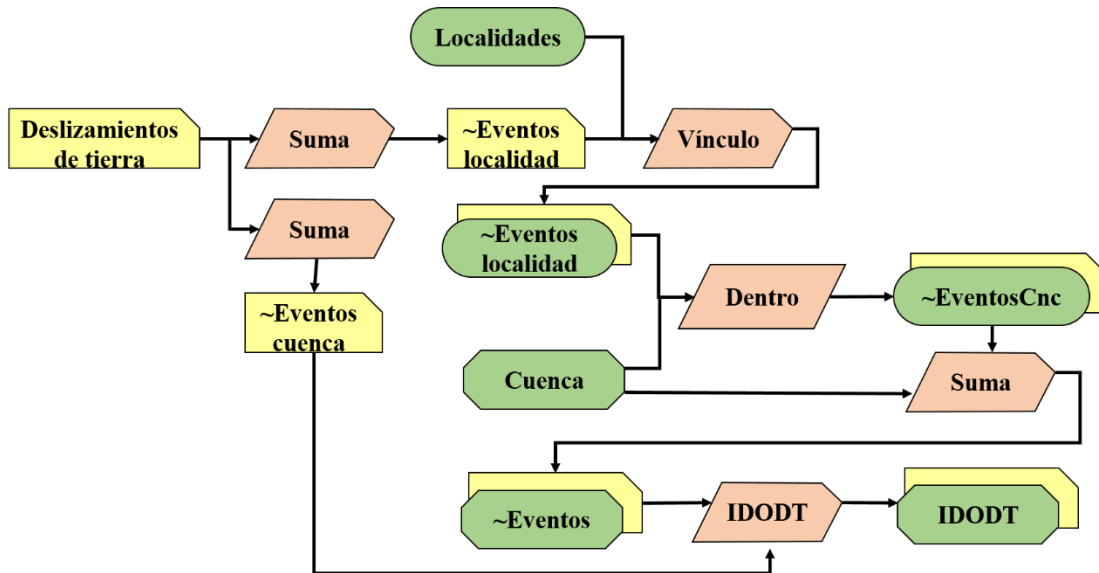
**Figura 4.34.** Modelo hidrogeomático del indicador de densidad de viviendas (IDV) a nivel de cuenca o subcuenca.

El último indicador de las variables de entrada para los que se generó el modelo hidrogeomático es el indicador de distribución de la ocurrencia de deslizamientos de tierra (IDODT). En la figura 4.35 se expone el modelo para el nivel de localidad. Las dos entradas principales a este nivel espacial son una tabla de deslizamientos de tierra, cuyos atributos son los años de registros de este tipo evento (información obtenida de los atlas de riesgos municipales). De esta forma se suman, por una parte, todos los eventos para cada localidad ocurridos en el periodo bajo análisis y, por otra parte, la totalidad de eventos ocurridos en la cuenca durante ese mismo periodo de tiempo. Estos dos datos son los que se usan para conocer el IDODT de cada localidad, el cual se expresa espacialmente al vincularlo con la capa vectorial de las localidades.



**Figura 4.35.** Modelo hidrogeomático del indicador de distribución de ocurrencia de deslizamientos de tierra (IDODT) a nivel de localidad.

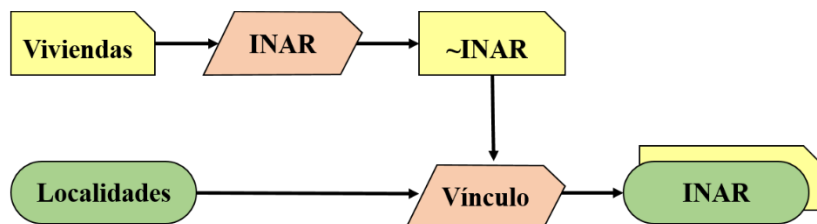
A nivel de cuenca o subcuenca (Figura 4.36), el IDODT utiliza como dato de entrada adicional, la capa vectorial de la cuenca o subcuenca de la zona de estudio, misma que utiliza para agrupar los eventos de deslizamientos por cada una de estas unidades de análisis hidrológico y contabilizar el total que ocurre en cada una de ellas y contrastarlo contra el total de eventos en toda la cuenca. El final, se aprovecha la capa vectorial de la cuenca para dar una representación espacial al indicador.



**Figura 4.36.** Modelo hidrogeomático del indicador de distribución de ocurrencia de deslizamientos de tierra (IDODT) a nivel de cuenca.

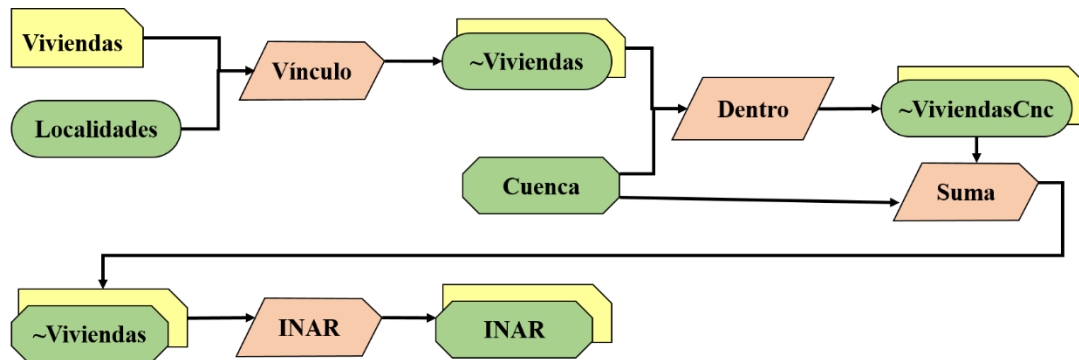
A continuación se da inicio con los indicadores que ayudan a evaluar las variables clave de enlace del sistema de gestión del agua de la cuenca del río Nenetzingo. El primero de ellos es el indicador de no acceso a refrigerador (INAR). Sus datos de entrada consisten en los

atributos de viviendas que disponen de refrigerador y total de viviendas particulares habitadas de la tabla de viviendas. Otro dato de entrada relevante es la capa vectorial que se vincular con el indicador calculado para darle así su representatividad espacial (Figura 4.37).



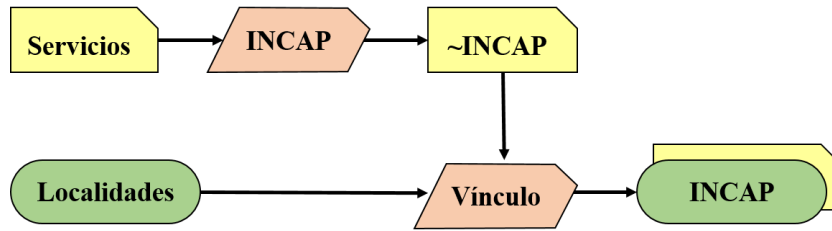
**Figura 4.37.** Modelo hidromeométrico del indicador de no acceso a refrigerador (INAR) a nivel de localidad.

A nivel de cuenca o subcuenca, lo que se hace en el procedimiento hidromeométrico (Figura 4.38) es espacializar la tabla de viviendas a nivel de localidad para, posteriormente, cruzar esta posición con la capa vectorial de la cuenca o subcuenca y obtener las localidades que se ubican dentro de ella. El siguiente paso es sumar los valores de las localidades al interior de la cuenca o subcuenca y con ellos calcular el INAR.



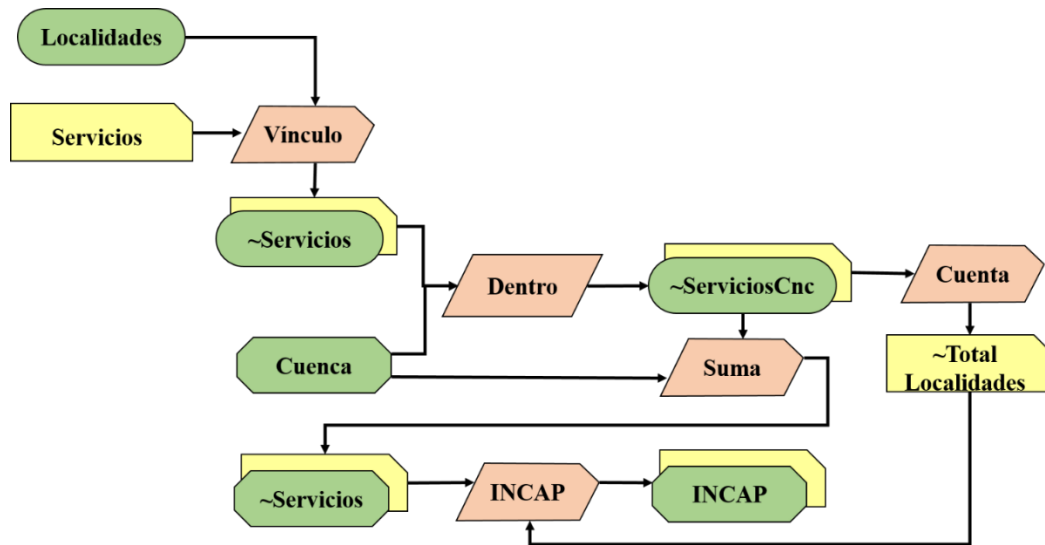
**Figura 4.38.** Modelo hidromeométrico del indicador de no acceso a refrigerador (INAR) a nivel de cuenca.

La figura 4.39 muestra el modelo hidromeométrico del indicador de no cobro por agua potable (INCAP). Los datos de entrada para realizar este modelo es la tabla de servicios, específicamente el atributo que indica si en una localidad se cobra el servicio de agua potable, así como la capa vectorial de localidades. Una vez calculado el indicador, éste se expresa espacialmente con la capa vectorial para mostrar la distribución del indicador entre las localidades.



**Figura 4.39.** Modelo hidroegeomático del indicador de no cobro por agua potable (INCAP) a nivel localidad.

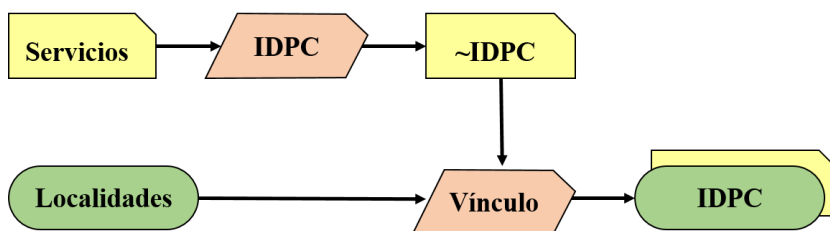
A nivel de cuenca o subcuenca, el INCAP además de la tabla de servicios y la capa vectorial de localidades, ocupa la capa vectorial del límite de cuenca o subcuenca (Figura 4.40). Usando este último, se extraen de las localidades los datos necesarios para el cálculo del indicador y se agregan a nivel de cuenca o subcuenca. Por otro lado, se contabiliza el total de localidades en la cuenca o subcuenca. Una vez que se tienen las variables de entrada a este límite hidrológico, se realiza el cálculo del INCAP.



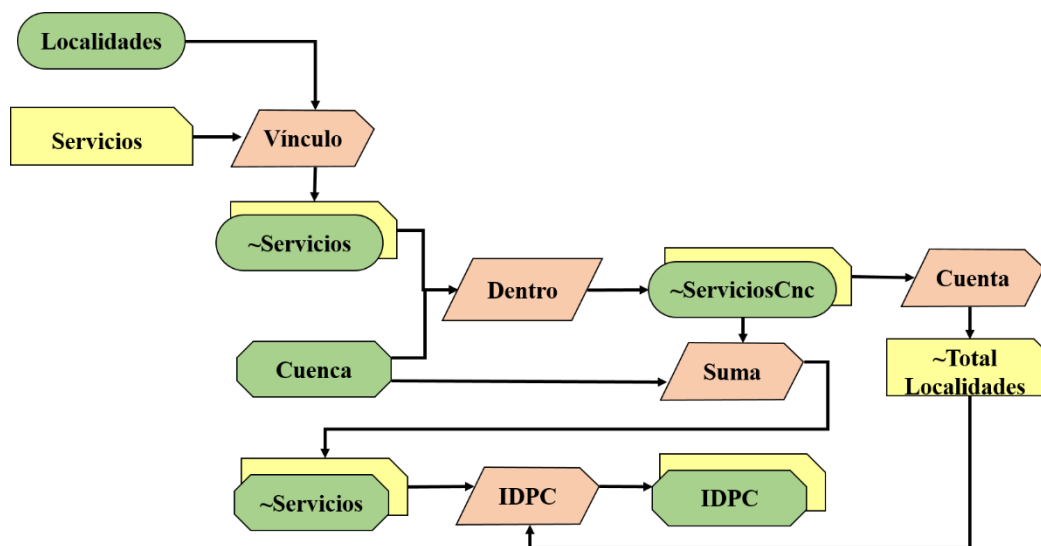
**Figura 4.40.** Modelo hidroegeomático del indicador de no cobro por agua potable (INCAP) a nivel cuenca.

El modelo hidroegeomático para el cálculo del indicador de disponibilidad de pozo comunitario (IDPC) sigue una lógica similar al indicador anteriormente descrito. A nivel de localidad (Figura 4.41), indica si en la localidad se dispone de servicio de pozo comunitario a partir de este atributo almacenado en la tabla de servicios. También ocupa la capa vectorial de localidades para dar un contexto espacial al indicador. Lo mismo ocurre a nivel de cuenca

o subcuenca (Figura 4.42), ocupa los mismos datos de entrada y la lógica del proceso del INCAP. Por un lado, contabiliza todas las localidades que cuentan con pozo comunitario dentro de la cuenca o subcuenca y, por otro lado, contabiliza el total de localidades en la misma. Con este par de datos realiza el cálculo del IDPC.



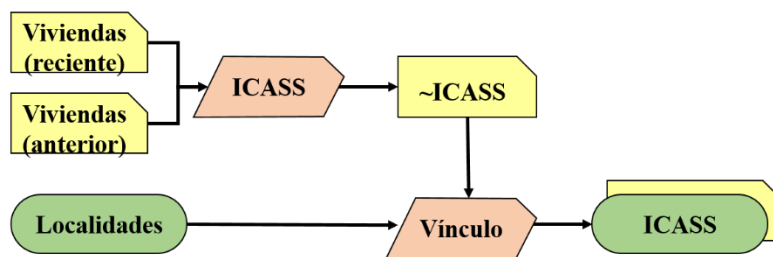
**Figura 4.41.** Modelo hidrogeomático del indicador disponibilidad de pozo comunitario (IDCP) a nivel localidad.



**Figura 4.42.** Modelo hidrogeomático del indicador disponibilidad de pozo comunitario (IDCP) a nivel cuenca.

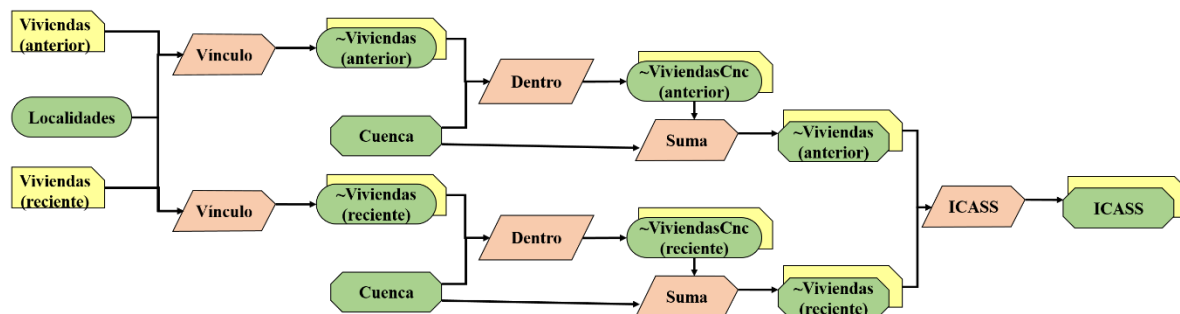
Otro indicador relacionado con las variables clave de enlace, es el indicador del crecimiento del acceso a servicio sanitario (ICASS). El modelo hidrogeomático de la figura 4.43 indica que para su cálculo en un entorno geomático es necesario contar con dos tablas con datos por vivienda, una como año base y otra como año de comparación. Específicamente, en ambas tablas se ocupan los atributos de viviendas particulares habitadas con disponibilidad de servicio sanitario y total de viviendas particulares habitadas de cada localidad. Adicionalmente, el indicador ocupa una capa vectorial de localidades (sin atributos

adicionales) para vincularse con el resultado de indicador y general una nueva capa vectorial que exponga espacialmente el indicador para cada localidad.



**Figura 4.43.** Modelo hidroegeomático del indicador de crecimiento del acceso a servicio sanitario (ICASS) a nivel localidad.

Por otro lado, en la figura 4.44 se presenta el modelo hidroegeomático para calcular el ICASS por cuenca o subcuenca. Como en otros casos de indicadores presentados, los datos por localidad son agregados a nivel de cuenca o subcuenca, para después ser usados para calcular el indicador para ese límite hidrológico.

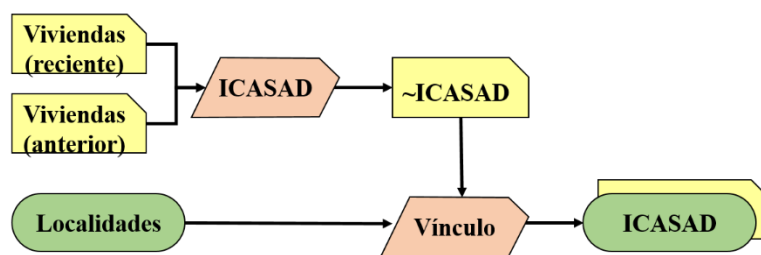


**Figura 4.44.** Modelo hidroegeomático del indicador de crecimiento del acceso a servicio sanitario (ICASS) a nivel cuenca.

El último indicador relacionado con las variables clave de enlace del sistema de gestión del agua en la cuenca del río Nenetzingo, es el indicador de crecimiento del acceso a servicio de agua y drenaje o ICASAD. Este indicador también requiere de datos para dos años distintos, siendo uno el año base y el otro el año de comparación. A nivel de localidad (Figura 4.45), se requieren los atributos de viviendas particulares habitadas con agua, viviendas particulares habitadas con drenaje y total de viviendas particulares habitadas. Del mismo modo, requiere la capa vectorial de localidades sin atributos adicionales. Usando las tablas de los dos cortes temporales, primero se realiza el cálculo del ICASAD y, posteriormente, se espacializan los

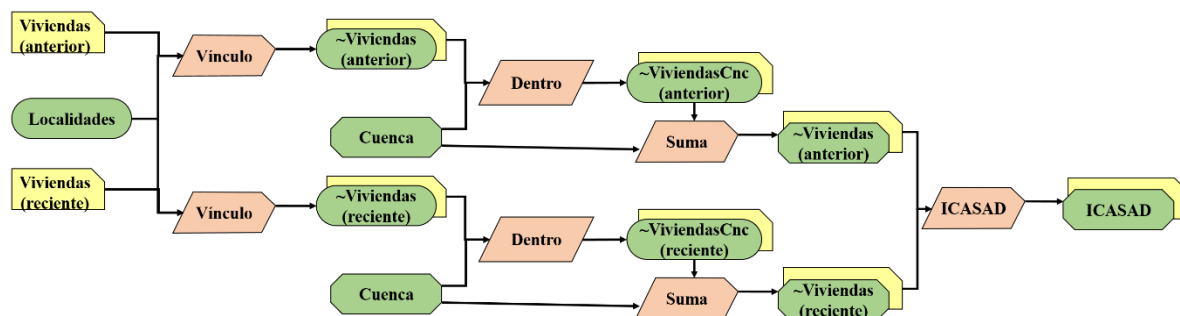


resultados al realizar un vínculo de los valores del indicador por localidad con la capa vectorial de localidades.



**Figura 4.45.** Modelo hidrogeomático del indicador de crecimiento del acceso a servicio de agua y drenaje (ICASAD) a nivel localidad.

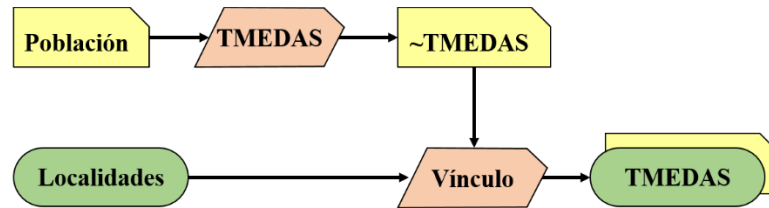
Para el cálculo del ICASAD a nivel de cuenca o subcuenca, se sigue el procedimiento presentado en la figura 4.46. Adicionando una capa vectorial con el límite de la cuenca o subcuenca como dato de entrada, primero espacializan los datos de entrada por localidad de cada año, después se cruzan éstos con dicha capa de la cuenca y se agregan las variables de cálculo necesarias para ser asignadas a la cuenca en la que se ubican. Una vez que se cuenta con los datos por cuenca, se procede a calcular el indicador y se genera una capa vectorial de salida a nivel de cuenca o subcuenca.



**Figura 4.46.** Modelo hidrogeomático del indicador de crecimiento del acceso a servicio de agua y drenaje (ICASAD) a nivel cuenca.

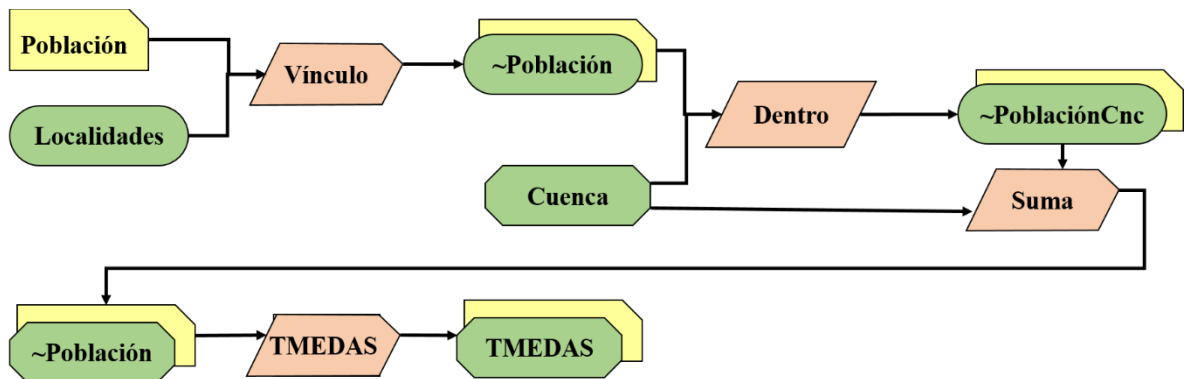
A continuación se exponen los modelos hidrogeomáticos para los indicadores usados para evaluar a las variables clave de salida. El primero de ellos es el indicador de tasa de mortalidad por enfermedades diarreicas agudas (TMEDAS), el cual puede ser calculado a nivel de localidad y cuenca o subcuenca. Para su cálculo a nivel de localidad (Figura 4.47), el indicador toma de la tabla de población los atributos de número de casos de muerte por

EDAS en la localidad y la población total de la localidad. Una vez realizado el cálculo, se vincula el resultado con la capa vectorial de localidades, con la finalidad de exponer espacialmente el comportamiento del indicador entre las localidades.



**Figura 4.47.** Modelo hidrogeomático de la tasa de mortalidad por enfermedades diarreicas agudas (TMEDAS) a nivel localidad.

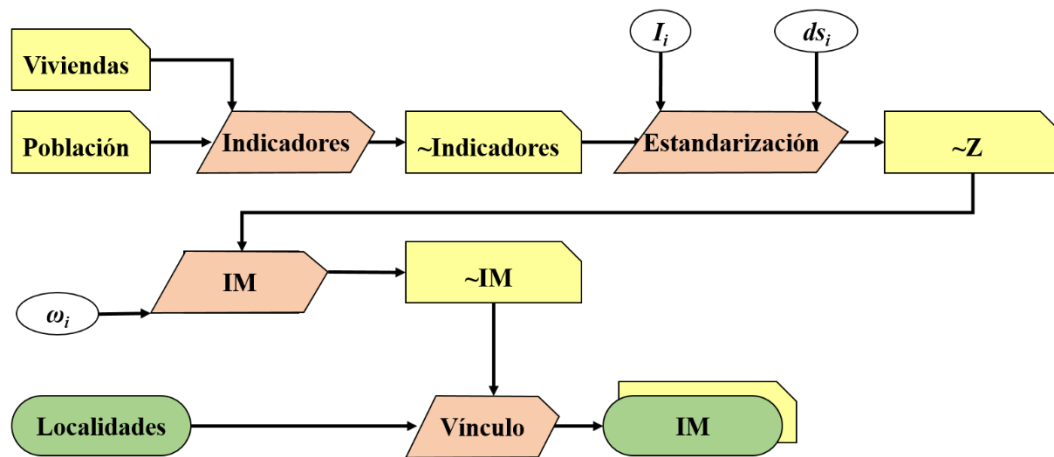
A nivel de cuenca o subcuenca (Figura 4.48), primero se vincula la tabla de población con la capa vectorial de localidades, con la finalidad de tener una referencia espacial para poderla cruzar con la capa vectorial de la cuenca. De esta forma se suman los valores de las variables de las localidades que quedan dentro de una cuenca determinada, y así se ocupan estos valores como entrada para el cálculo del TMEDAS por cuenca. El resultado es una capa vectorial con el indicador señalado por cada cuenca dada en la entrada.



**Figura 4.48.** Modelo hidrogeomático de la tasa de mortalidad por enfermedades diarreicas agudas (TMEDAS) a nivel cuenca.

El índice de marginación también se puede calcular por localidad o por cuenca (al agregar los datos de entrada de las localidades que quedan dentro de una cuenca). La figura 4.49 muestra el caso para el cálculo por localidad, donde se ocupan las tablas de viviendas y población. De la primera se usan los atributos de viviendas con servicios de sanitario, energía eléctrica y agua, el número de ocupantes por cuarto, el tipo de piso en la vivienda y la

disponibilidad de refrigerador. Mientras que de la tabla de población se ocupan los atributos de población de 15 años o más analfabeta, población de 15 años o más, población de 15 años o más sin escolaridad, población de 15 años o más con primaria incompleta, población de 15 años o más con primaria completa, población de 15 años o más con secundaria incompleta, población de 15 años o más con secundaria completa y población de 18 años o más con educación pos-básica. Es importante indicar que todas estas variables corresponden al censo de población y vivienda 2010 del INEGI.

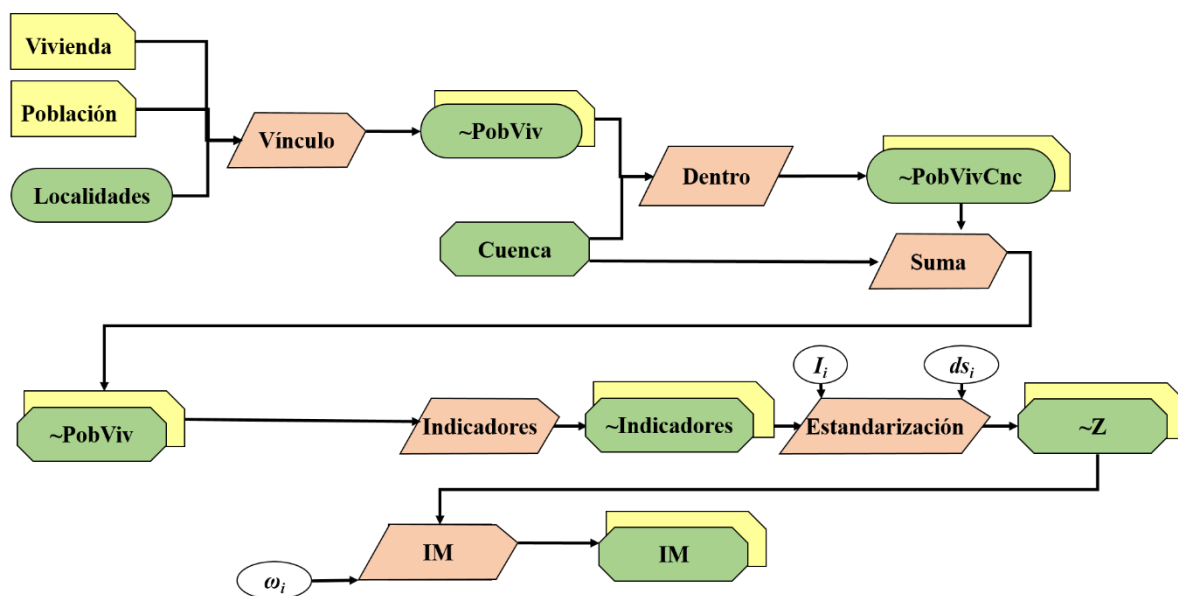


**Figura 4.49.** Modelo hidroegeomático del índice de marginación (IM) a nivel localidad.

Siguiendo el proceso presentado en la figura 4.39, se puede apreciar que se generan varios resultados parciales temporales (señalados por el símbolo “~”). En primer lugar, a partir de las tablas de entrada se calculan los ocho indicadores que conforman el IM. Posteriormente dichos indicadores se estandarizan para poderlos integrar entre sí. Para ello se ocupan dos parámetros adicionales, que son el valor medio de cada indicador para el conjunto de localidades del país ( $\bar{I}_i$ ) y la desviación estándar de cada indicador para ese mismo conjunto de localidades ( $ds_i$ ). La tabla de valores estandarizados se ocupa para calcular el IM, al cual es necesario agregar el parámetro  $\omega_i$ , como constante de cálculo. Finalmente, la tabla con el IM se vincula con la capa vectorial de localidades, con la finalidad de dar expresión espacial al comportamiento del índice.

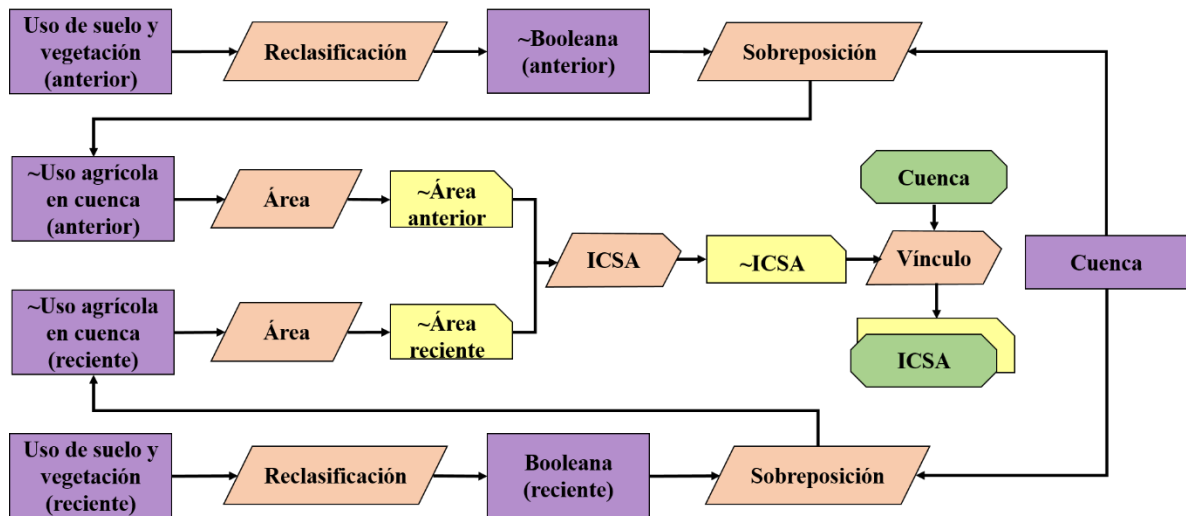
Para realizar el cálculo del IM por cuenca o subcuenca se ha de seguir el modelo hidroegeomático presentado en la figura 4.50. La diferencia con el proceso por localidad radica en que antes de calcular los ocho indicadores, primero es necesario agregar los

atributos por cuenca o subcuenca, es decir, sumar las variables de cada localidad que se ubican dentro de la cuenca y así tener los datos de entrada a ese nivel territorial. Tras este proceso se genera una capa vectorial temporal para la cuenca, que incluye los datos tanto de población como de vivienda, la cual es empleada para calcular el IM es forma similar al cálculo por localidad. Es decir, calculando primero los indicadores, luego estandarizándolos y finalmente generar el IM.



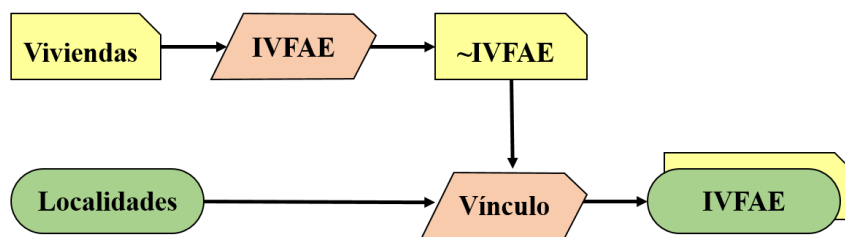
**Figura 4.50.** Modelo hidroegeomático del índice de marginación (IM) a nivel cuenca.

El siguiente indicador de variable clave de salida, es el indicador de cambio en la superficie agrícola (ICSA). El procedimiento para su materialización en un entorno geomático (Figura 4.51) es el mismo que se describió para el caso del indicador de cambio en la superficie de bosque (ICSB, figura 4.33), con la diferencia de que, en lugar de trabajar con la cobertura de bosque (de las imágenes de entrada con el uso de suelo y vegetación de dos épocas distintas), ahora se trabaja con el uso de suelo agrícola. Es importante que, como el ICSB, el ICSA sólo se calcula a nivel de cuenca o subcuenca. Al final el indicador también se vincula y expresa por cada cuenca o subcuenta dada en la entrada.



**Figura 4.51.** Modelo hidrogeomático del indicador de cambio en la superficie agrícola (ICSA) a nivel cuenca.

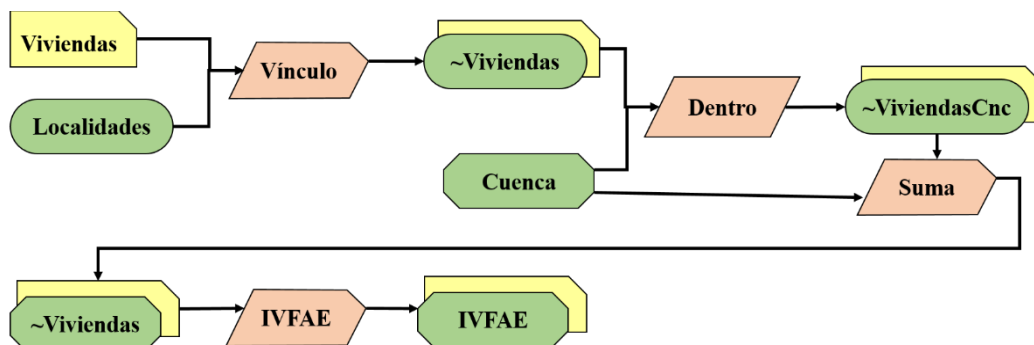
El último indicador relacionado con las variables clave de salida del sistema de gestión del agua de la cuenca del río Nenetzingo, es el indicador de viviendas con fuente de agua externa (IVFAE). Para su cálculo en un entorno hidrogeomático a nivel de localidad (Figura 4.52), este indicador usa los atributos de total de viviendas particulares habitadas y viviendas particulares habitadas con agua fuera de la vivienda, ambos almacenados en la tabla de viviendas. Adicionalmente, ocupa la capa vectorial de localidades, la cual es usada tras calcular el indicador para mostrar la distribución de las localidades y su valor de IVFAE.



**Figura 4.52.** Modelo hidrogeomático del indicador de viviendas con fuente de agua externa (IVFAE) por localidad.

El mismo indicador, pero ahora en un proceso geomático por cuenca o subcuenca (Figura 4.53) adiciona a los datos de entrada la capa vectorial del límite de cuenca. Como se explicó en otros indicadores, en este caso se seleccionan las localidades que caen dentro de la cuenca, se suman los valores de los atributos necesarios para el IVFAE de esas localidades y se

asignan los totales a la cuenca, de modo tal que es posible realizar el cálculo del indicador a este nivel territorial. La salida de este proceso es una capa vectorial de la cuenca con el valor del indicador.



**Figura 4.53.** Modelo hidroegeomático del indicador de viviendas con fuente de agua externa (IVFAE) por cuenca.

#### 4.3.3.3.3. Base de datos geoespaciales de entrada

Una vez presentados y analizados los modelos conceptual e hidroegeomático de cada uno de los indicadores sistémicos para la gestión del agua en la cuenca del río Nenetzingo, ahora es posible identificar las características de la base datos geoespaciales (BDG) que se requiere para calcularlos. Esto es, conocer las tablas y sus atributos (almacenados como campos de tabla) que serán ocupados en el cálculo del indicador, así como su formato, intervalo y posibles restricciones que ayuden a evitar resultados inesperados.

La BDG de entrada se compone de cuatro tablas, al menos tres capas vectoriales y tres capas raster. Las tablas son (1) viviendas, (2) población, (3), servicios públicos y (4) deslizamientos de tierra. Las capas vectoriales son (1) localidades, (2) cuenca o subcuenca y (3) sequía mensual de al menos un año. Finalmente, las tres capas raster son una de disponibilidad de agua y dos de uso de suelo y vegetación, una por cada año de un periodo de análisis.

En la tabla 4.16 se presenta la estructura y condiciones de la tabla de BDG viviendas. El límite superior del intervalo en la tabla 4.16 en el caso de la clave de localidad se determinó considerando dos cifras para la clave de entidad federativa, tres para la clave de municipio y cuatro para la localidad. En cuanto al límite superior de los datos por viviendas, éste se fijó

con base en el máximo de viviendas particulares habitadas que había en el país para el 2010 (poco más de 28 millones).

**Tabla 4.16.** Estructura y condiciones de la tabla de entrada “Viviendas”.

<b>Campo</b>	<b>Significado</b>	<b>Formato de dato</b>	<b>Intervalo</b>	<b>Restricciones</b>
ClvEstMnLcl	Clave de localidad (que indica el estado y municipio al que pertenece)	Entero	[1, 999999999]	Deben ser claves únicas y corresponder con las claves de la capa vectorial de localidades.
TVPH (TVIVPARHAB)	Total de viviendas particulares habitadas	Entero	[0, 99999999]	Al usarse como divisor, tener precaución cuando vale cero
VPHADV	Viviendas particulares habitadas con servicio de agua dentro de la vivienda	Entero	[0, 99999999]	Ninguna
VPHR (VPH_REFRI)	Viviendas particulares habitadas que disponen de refrigerador	Entero	[0, 99999999]	Ninguna
VPHE (VPH_C_ELEC)	Viviendas particulares habitadas que disponen de electricidad	Entero	[0, 99999999]	Al usarse como divisor, tener precaución cuando vale cero
VPHS (VPH_EXCSA)	Viviendas particulares habitadas con sanitario	Entero	[0, 99999999]	Ninguna
VPHA (VPH_AGUADV)	Viviendas particulares habitadas con agua	Entero	[0, 99999999]	Ninguna
VPHD	Viviendas particulares habitadas con drenaje	Entero	[0, 99999999]	Ninguna
<i>VPH_S_ELEC</i>	Viviendas particulares habitadas que no disponen de energía eléctrica	Entero	[0, 99999999]	Ninguna
VPHFAE (VPH_AGUAFV)	Viviendas particulares habitadas que no disponen de agua entubada en el ámbito de la vivienda	Entero	[0, 99999999]	Ninguna
<i>PRO_OCUP_C</i>	Promedio de ocupantes por cuarto en viviendas particulares habitadas	Real	[0, 99999999]	Ninguna
VPH_PISOTI	Viviendas particulares habitadas con piso de tierra	Entero	[0, 99999999]	Ninguna
VPH_PISODT	Viviendas particulares habitadas con piso diferente a tierra	Entero	[0, 99999999]	Ninguna

La tabla 4.17 muestra los campos y sus características, mismos que conforman a la tabla de la BDG denominada población. El límite superior del intervalo de los atributos de población

(tabla 4.17), se determinó con base en el máximo de población que había en el país para el 2010 (poco más de 112 millones).

**Tabla 4.17.** Estructura y condiciones de la tabla de entrada “Población”.

<b>Campo</b>	<b>Significado</b>	<b>Formato de dato</b>	<b>Intervalo</b>	<b>Restricciones</b>
ClvEstMnLcl	Clave de localidad (que indica el estado y municipio al que pertenece)	Entero	[1, 999999999]	Deben ser claves únicas y corresponder con las claves de la capa vectorial de localidades.
nEDAS	Número de casos de muerte por EDAS en la localidad	Entero	[0, 999999999]	Ninguna
N	Población total de la localidad	Entero	[0, 999999999]	Al usarse como divisor, tener precaución cuando vale cero
P15YM_AN	Población analfabeta de 15 años o más	Entero	[0, 999999999]	Ninguna
P_15YMAS	Población de 15 años o más	Entero	[0, 999999999]	Al usarse como divisor, tener precaución cuando vale cero
P15YM_SE	Población de 15 años o más sin escolaridad	Entero	[0, 999999999]	Ninguna
P15PRI_IN	Población de 15 años o más con primaria incompleta	Entero	[0, 999999999]	Ninguna
P15PRI_CO	Población de 15 años o más con primaria completa	Entero	[0, 999999999]	Ninguna
P15SEC_IN	Población de 15 años o más con secundaria incompleta	Entero	[0, 999999999]	Ninguna
P15SEC_CO	Población de 15 años o más con secundaria completa	Entero	[0, 999999999]	Ninguna
P18YM_PB	Población de 18 años o más con educación pos-básica	Entero	[0, 999999999]	Ninguna

La tabla 4.18 muestra las características de los campos que conforman a la tabla de la BDG denominada servicios públicos.



**Tabla 4.18.** Estructura y condiciones de la tabla de entrada “Servicios públicos”.

Campo	Significado	Formato de dato	Intervalo	Restricciones
ClvEstMnLcl	Clave de localidad (que indica el estado y municipio al que pertenece)	Entero	[1, 999999999]	Deben ser claves únicas y corresponder con las claves de la capa vectorial de localidades.
DCAB	Descarga en cuerpos de agua o barrancas	Entero	[0, 1]	Si = 1; No = 0
CSAP	Cobra el servicio de agua potable	Entero	[0, 1]	Si = 1; No = 0
DPC	Dispone de pozo comunitario	Entero	[0, 1]	Si = 1; No = 0

La última tabla de la BDG es la de deslizamientos de tierra (tabla 4.19). El límite superior del intervalo de eventos en la tabla 4.19 se determinó considerando que pudieran ocurrir al menos 10 eventos de deslizamientos diarios durante un año en una localidad (3,650 eventos en un año).

**Tabla 4.19.** Estructura y condiciones de la tabla de entrada “Deslizamientos de tierra”.

Campo	Significado	Formato de dato	Intervalo	Restricciones
ClvEstMnLcl	Clave de localidad (que indica el estado y municipio al que pertenece)	Entero	[1, 999999999]	Deben ser claves únicas y corresponder con las claves de la capa vectorial de localidades.
Eventos Año 01	Deslizamientos de tierra registrados en la localidad	Entero	[0, 9999]	Ninguna
Eventos Año 02	Deslizamientos de tierra registrados en la localidad	Entero	[0, 9999]	Ninguna
Eventos Año 03	Deslizamientos de tierra registrados en la localidad	Entero	[0, 9999]	Ninguna
...	...	...	...	...
Eventos Año n	Deslizamientos de tierra registrados en la localidad	Entero	[0, 9999]	Ninguna

En cuanto a las capas vectoriales de entrada, las dos principales son las capas de localidades (entidades puntuales) y de cuenca (entidades poligonales). Ninguna de estas dos capas requiere de atributos adicionales para ser utilizada en el cálculo de los indicadores sistémicos, puesto que se usan para dar una referencia espacial, realizar algunas operaciones espaciales

y representar los indicadores resultantes en esos niveles territoriales. Sin embargo, la capa de localidades debe ofrecer la clave y nombre de cada una de las localidades bajo análisis.

Adicionalmente, los modelos hidrogeomáticos señalan que el indicador de ocurrencia de sequías (IOS) requiere al menos una capa vectorial con datos asociados en su tabla de atributos. El número de archivos para estas capas dependerá del número de años de los que se dispongan datos. Pero en términos generales la tabla de atributos deberá tener las características señaladas en la tabla 4.20. El intervalo considera los posibles valores de la categoría de sequía que designa el Monitor de sequías de Norteamérica (NADM, por sus siglas en inglés).

**Tabla 4.20.** Estructura y condiciones de la tabla asociada a la capa vectorial de sequía mensual.

Campo	Significado	Formato de dato	Intervalo	Restricciones
OID	Identificador del objeto	Entero	[1, 999999999]	Deben ser claves únicas
Categoría de sequía mes 01	Categoría de sequía de acuerdo con al NADM	Entero	[-1, 5]	Ninguna
Categoría de sequía mes 02	Categoría de sequía de acuerdo con al NADM	Entero	[-1, 5]	Ninguna
Categoría de sequía mes 03	Categoría de sequía de acuerdo con al NADM	Entero	[-1, 5]	Ninguna
...	...	...	...	...
Categoría de sequía mes 12	Categoría de sequía de acuerdo con al NADM	Entero	[-1, 5]	Ninguna

En lo que a capas raster se refiere, los modelos hidrogeomáticos exponen que se requieren varios con los siguientes (Tabla 4.21).

**Tabla 4.21.** Capas raster necesarias para el cálculo de algunos indicadores sistémicos.

Capa	Contenido	Formato de dato	Intervalo	Restricciones
Disponibilidad de agua	Volumen de disponibilidad natural de agua	Real	[0, 9999999]	Ninguna
Uso de suelo y vegetación (reciente)	Categorías de los usos de suelo y vegetación	Entero	[1, 99]	Ninguna
Uso de suelo y vegetación (anterior)	Categorías de los usos de suelo y vegetación	Entero	[1, 99]	Ninguna

#### 4.3.3.3.4. Base de datos geoespaciales de salida

El desarrollo del modelo hidrogeomático de indicadores sistémicos de la gestión del agua en la cuenca del río Nenetzingo genera una base de datos geoespaciales que básicamente se compone de dos capas vectoriales, una a nivel de localidades y otra a nivel de cuenca o subcuencas. En las tablas 4.22 y 4.23 se muestran los atributos asociados que tendrán cada una de estas capas, es decir los resultados de los indicadores que fueron calculados.

**Tabla 4.22.** Estructura y condiciones de la tabla asociada a la capa vectorial de localidades con los indicadores sistémicos.

Campo	Significado	Formato de dato	Intervalo	Restricciones
OID	Identificador del objeto	Entero	[1, 999999999]	Deben ser claves únicas
ClvEstMncLcl	Clave de localidad (que indica el estado y municipio al que pertenece)	Entero	[1, 999999999]	Ninguna
NmbLcl	Nombre de la localidad	Texto	255	Ninguna
INAA	Indicador de no acceso a agua	Real	[0, 100]	Ninguna
TMEDAS	Tasa de mortalidad por enfermedades diarreicas agudas	Real	[0, 1000]	Se considera un factor de ajuste de 1,000 unidades
IM	Índice de marginación	Real	[-10, 10]	Ninguna
CtgIM	Categoría del índice de marginación	Texto	10	Ninguna
IDCAB	Indicador de descargas en cuerpos de agua o barrancas	Entero	[0, 1]	Ninguna
INAR	Indicador de no acceso a refrigerador	Real	[0, 100]	Ninguna
INCAP	Indicador de no cobro por agua potable	Entero	[0, 1]	Ninguna
IDODT	Indicador de distribución de la ocurrencia de deslizamientos de tierra	Real	[0, 100]	Ninguna
IVFAE	Indicador de viviendas con agua fuera de la vivienda	Real	[0, 100]	Ninguna
IDPC	Indicador de disponibilidad de pozo comunitario	Entero	[0, 1]	Ninguna
ICASS	Indicador de crecimiento del acceso a servicio sanitario	Real	[-100, 100]	Ninguna
ICASAD	Indicador de crecimiento del acceso a servicios de agua y drenaje	Real	[-100, 100]	Ninguna

**Tabla 4.23.** Estructura y condiciones de la tabla asociada a la capa vectorial de cuencas con los indicadores sistémicos.

<b>Campo</b>	<b>Significado</b>	<b>Formato de dato</b>	<b>Intervalo</b>	<b>Restricciones</b>
OID	Identificador del objeto	Entero	[1, 999999999]	Deben ser claves únicas
IDCnc	Identificador de la cuenca o subcuenca	Entero	[1, 999999999]	Ninguna
INAA	Indicador de no acceso a agua	Real	[0, 100]	Ninguna
TMEDAS	Tasa de mortalidad por enfermedades diarreicas agudas	Real	[0, 1000]	Se considera un factor de ajuste de 1,000 unidades
IM	Índice de marginación	Real	[-10, 10]	Ninguna
CtgIM	Categoría del índice de marginación	Texto	10	Ninguna
ICSA	Indicador de cambio en la superficie agrícola	Real	[-100, 100]	Ninguna
IOS_Mes01	Indicador de ocurrencia de sequía en enero	Real	[0, 100]	Ninguna
IOS_Mes02	Indicador de ocurrencia de sequía en febrero	Real	[0, 100]	Ninguna
IOS_Mes03	Indicador de ocurrencia de sequía en marzo	Real	[0, 100]	Ninguna
IOS_Mes04	Indicador de ocurrencia de sequía en abril	Real	[0, 100]	Ninguna
IOS_Mes05	Indicador de ocurrencia de sequía en mayo	Real	[0, 100]	Ninguna
IOS_Mes06	Indicador de ocurrencia de sequía en junio	Real	[0, 100]	Ninguna
IOS_Mes07	Indicador de ocurrencia de sequía en julio	Real	[0, 100]	Ninguna
IOS_Mes08	Indicador de ocurrencia de sequía en agosto	Real	[0, 100]	Ninguna
IOS_Mes09	Indicador de ocurrencia de sequía en septiembre	Real	[0, 100]	Ninguna
IOS_Mes10	Indicador de ocurrencia de sequía en octubre	Real	[0, 100]	Ninguna
IOS_Mes11	Indicador de ocurrencia de sequía en noviembre	Real	[0, 100]	Ninguna
IOS_Mes12	Indicador de ocurrencia de sequía en diciembre	Real	[0, 100]	Ninguna
IDNA	Indicador de disponibilidad natural de agua	Real	[0, 9999999]	Ninguna
IDCAB	Indicador de descargas en cuerpos de agua o barrancas	Real	[0, 100]	Ninguna
ICSB	Indicador de cambio en la superficie de bosque	Real	[-100, 100]	Ninguna
IDV	Indicador de densidad de viviendas	Real	[0, 99999999]	Ninguna
INAR	Indicador de no acceso a refrigerador	Real	[0, 100]	Ninguna
INCAP	Indicador de no cobro por agua potable	Real	[0, 100]	Ninguna

**Tabla 4.23.** Estructura y condiciones de la tabla asociada a la capa vectorial de cuencas con los indicadores sistémicos (continuación).

<b>Campo</b>	<b>Significado</b>	<b>Formato de dato</b>	<b>Intervalo</b>	<b>Restricciones</b>
IDODT	Indicador de distribución de la ocurrencia de deslizamientos de tierra	Real	[0, 100]	Ninguna
IVFAE	Indicador de viviendas con agua fuera de la vivienda	Real	[0, 100]	Ninguna
IDPC	Indicador de disponibilidad de pozo comunitario	Real	[0, 100]	Ninguna
ICASS	Indicador de crecimiento del acceso a servicio sanitario	Real	[-100, 100]	Ninguna
ICASAD	Indicador de crecimiento del acceso a servicios de agua y drenaje	Real	[-100, 100]	Ninguna

Como se puede apreciar en las tablas 4.22 y 4.23, resultan más indicadores por cuenca o subcuenca que por localidad (16 y 11, respectivamente). Lo anterior obedece principalmente a que las variables que están a nivel de localidad para el cálculo de los indicadores se pueden agregar para realizar el cálculo a nivel de cuenca o subcuenca; sin embargo, a la inversa no ocurre lo mismo, es decir, aquellas variables para el cálculo de indicadores que de origen corresponden al nivel de cuenca o subcuenca no se pueden bajar al nivel territorial de localidad.

#### 4.3.3.4. Diseño físico

Una vez que se paso por las fases del diseño conceptual y lógico de los indicadores sistémicos para la gestión del agua en la cuenca del río Nenetzingo, fue posible realizar el cálculo de cada uno de dichos indicadores. Para ello se integró la BDG de entrada según las condiciones planteadas en el diseño lógico. Las principales fuentes de datos e información para integrar estas BDG fueron el INEGI (de los años 2005 y 2010) e ISEM (periodo 2000-2010) para las tablas de viviendas, servicios públicos y población; del mismo modo, los atlas de riesgos municipales de Ixtapan de la Sal y Villa Guerrero de los años 2002 a 2013 para generar la tabla de deslizamientos de tierra.

La capa vectorial de localidades se obtuvo del INEGI, mientras que la capa vectorial de las subcuencas del río Nenetzingo se generó durante la realización de esta investigación. Es

importante mencionar que, para la división de las subcuencas, se identificó la cuenca tributaria en la que se ubica cada localidad (sin importar que dos o más localidades estuvieran en la misma cuenca tributaria). La capa vectorial de sequía mensual se generó en esta investigación, en el desarrollo la caracterización de la cuenca del río Nenetzingo (durante la etapa de Inicio del proceso de GIRH), y correspondió al periodo 2003-2013.

La capa raster de disponibilidad natural de agua se obtuvo de Gómez-Albores (2012) y las capas raster de uso de suelo y vegetación se generaron mediante la clasificación de imágenes satelitales LandSat (2005 y 2010) usando la clasificación por segmentación.

La implementación de los modelos hidroegeomáticos se realizó usando PostgreSQL con PostGIS y TerrSet. PostgreSQL es un sistema manejador de bases de datos de libre acceso (software libre), por lo que se usó para trabajar con las bases de datos. Usa el lenguaje estructurado de consultas (SQL, por sus siglas en inglés) para realizar el procesamiento de los datos. PostGIS es una extensión (software libre también) que agrega funciones de análisis espacial a PostgreSQL. Combinados, permiten integrar y procesar BDG utilizando consultas por atributos y consultas espaciales.

Por otro lado, TerrSet es una suite de herramientas para el estudio del territorio, y unas de esas herramientas son el conjunto de módulos de análisis espacial, los módulos de tratamiento de imágenes de satélite y el procesamiento de bases de datos. Estos módulos provienen del SIG Idrisi, antecesor de TerrSet.

La BDG de salida se conforma por una capa vectorial de localidades y otra de subcuencas del río Nenetzingo. Para la generación de la cartografía con los indicadores se usó ArcGIS, sobre todo porque ofrece un mejor entorno para el trabajo con composiciones cartográficas. Las figuras 4.54 a 4.78 muestran el resultado de implementar los modelos hidroegeomáticos de los indicadores sistémicos, tanto a nivel de localidad como de cuenca. Vale la pena aclarar que no se incluyen figuras para la tasa de EDAS (TEDAS) porque en ninguna localidad se presentó casos de mortalidad por EDAS en el periodo analizado. También es importante señalar que en las figuras las cifras rojas indican el número de la subcuenca y los números o textos en azul presentan el valor del indicador.

Las figuras 4.54 a 4.63 muestran los indicadores sistémicos de la gestión del agua en la cuenca del río Nenetzingo relacionados con las variables de entrada.

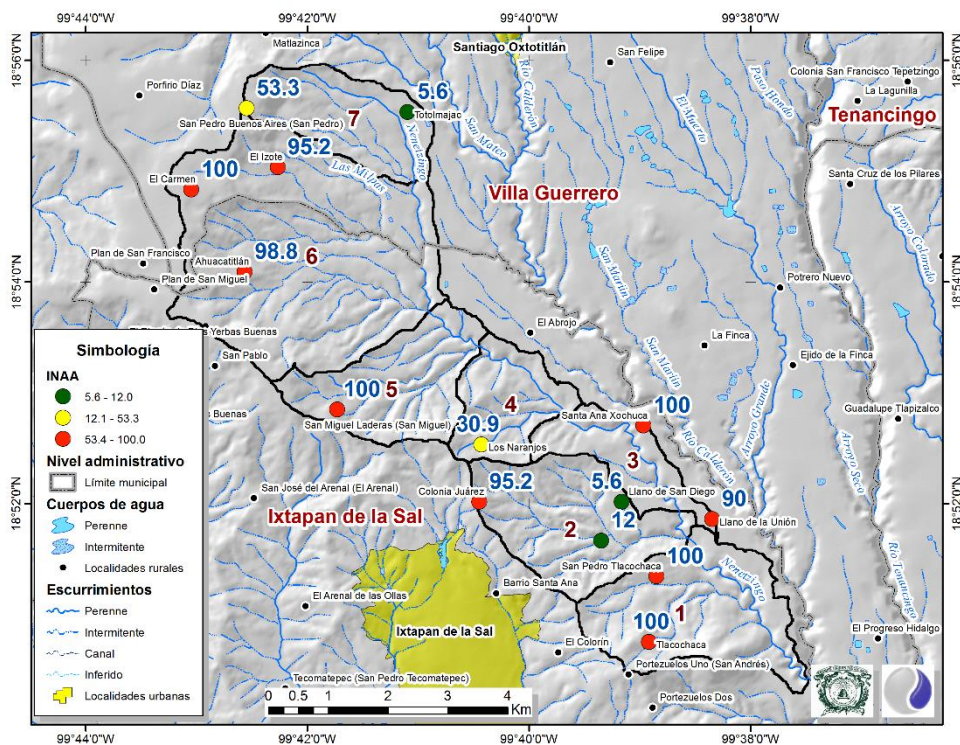


Figura 4.54. Indicador de no acceso a agua (INAA) a nivel localidad.

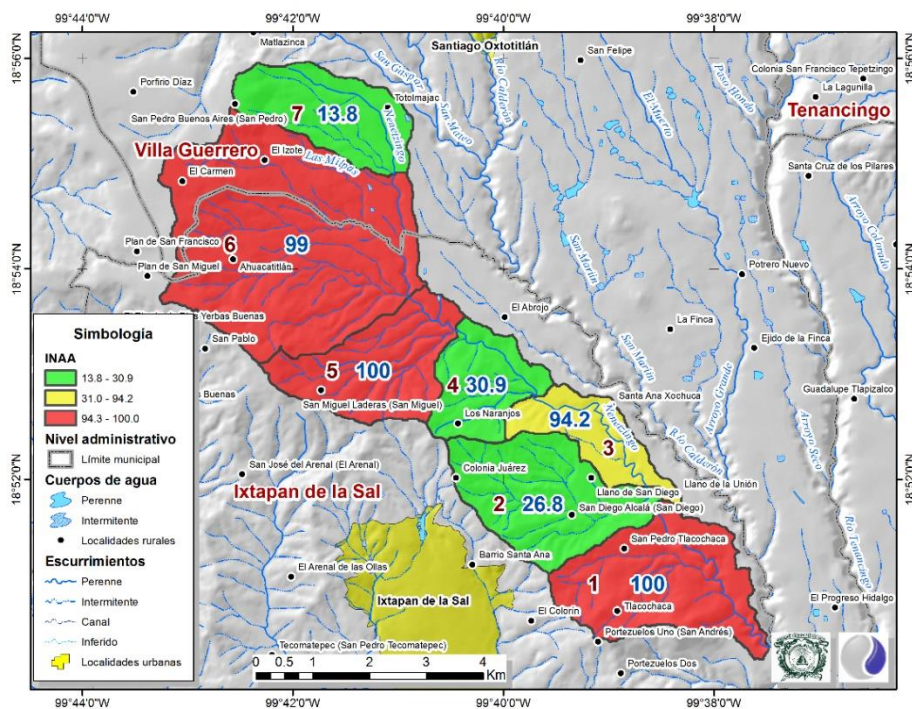


Figura 4.55. Indicador de no acceso a agua (INAA) a nivel subcuenca.

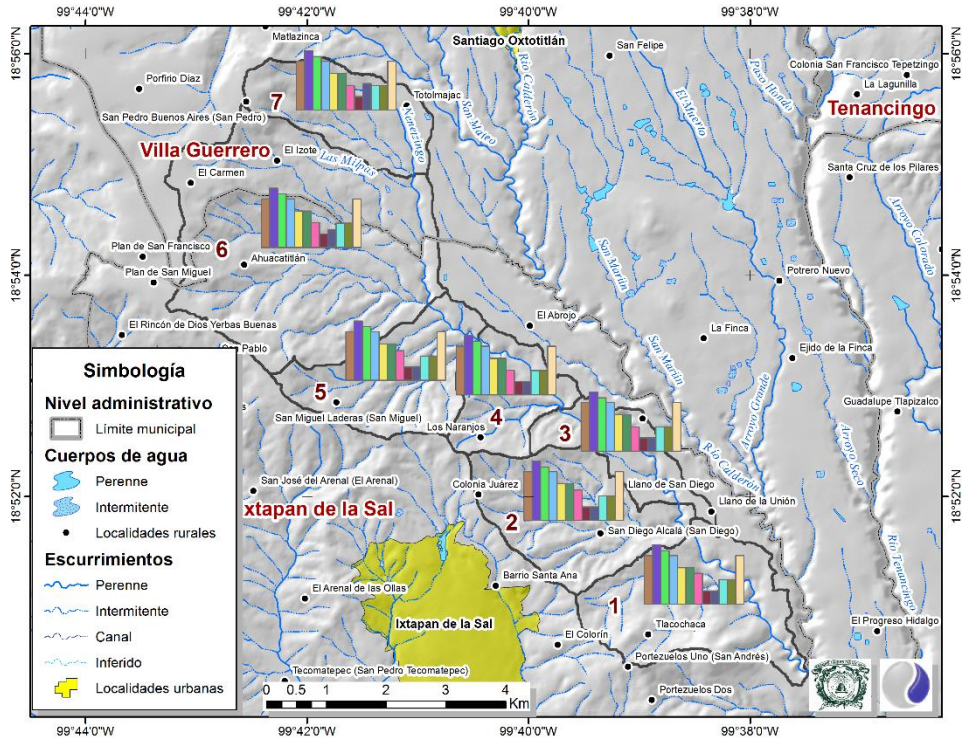


Figura 4.56. Indicador de ocurrencia de sequías (IOS) a nivel de subcuencas.

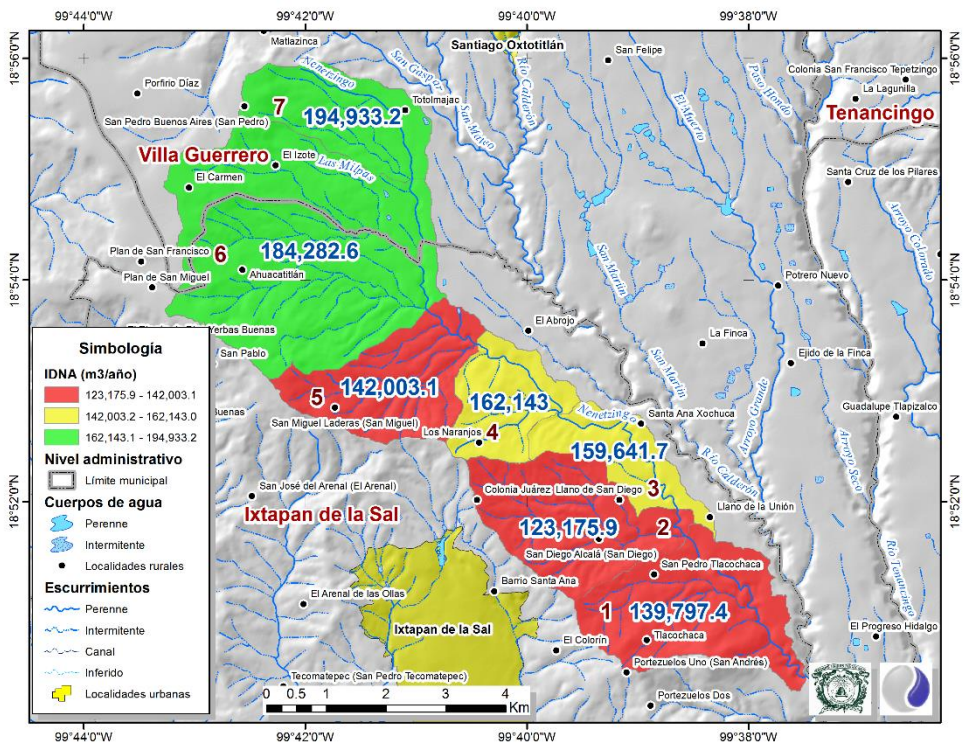
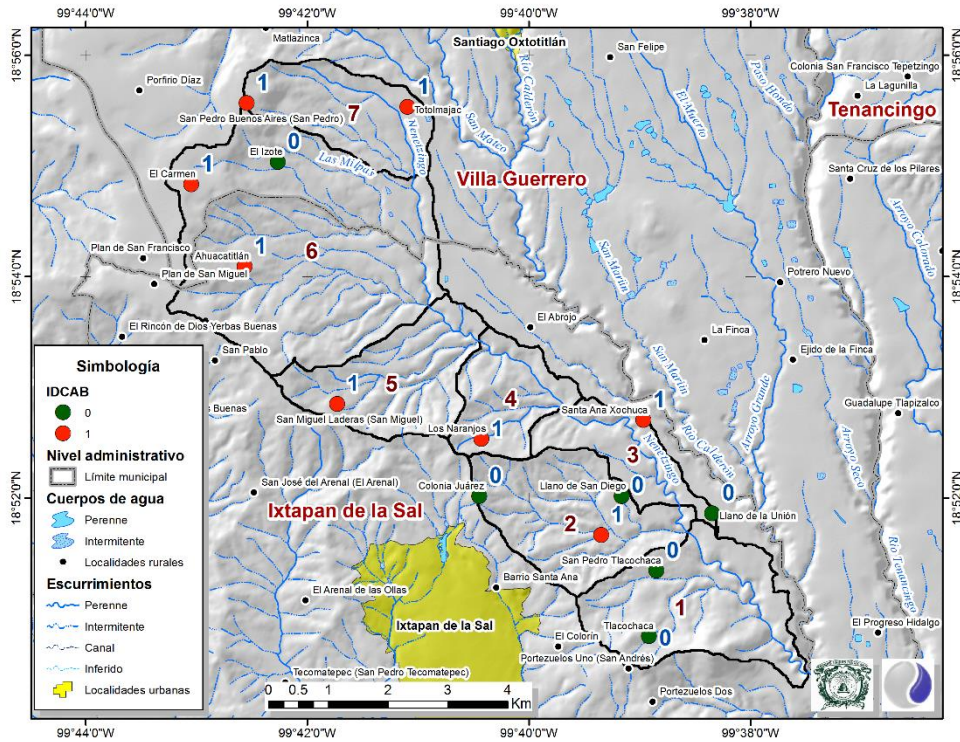
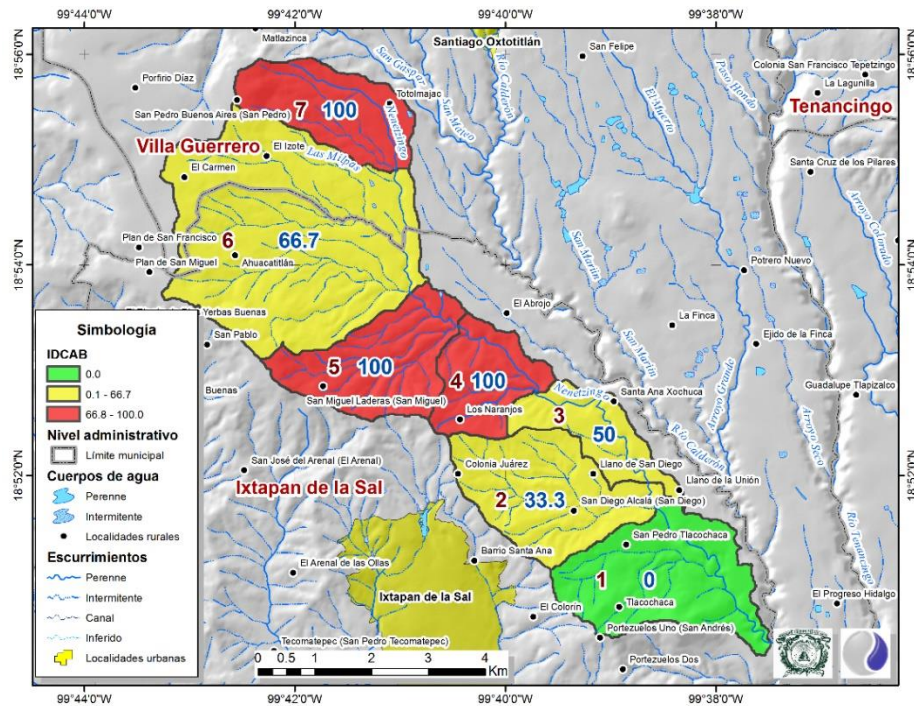


Figura 4.57. Indicador de disponibilidad natural de agua (IDNA) a nivel de subcuencas.





**Figura 4.58.** Indicador de descargas en cuerpos de agua o barrancas (IDCAB) a nivel de localidad.



**Figura 4.59.** Indicador de descargas en cuerpos de agua o barrancas (IDCAB) a nivel de subcuencas.

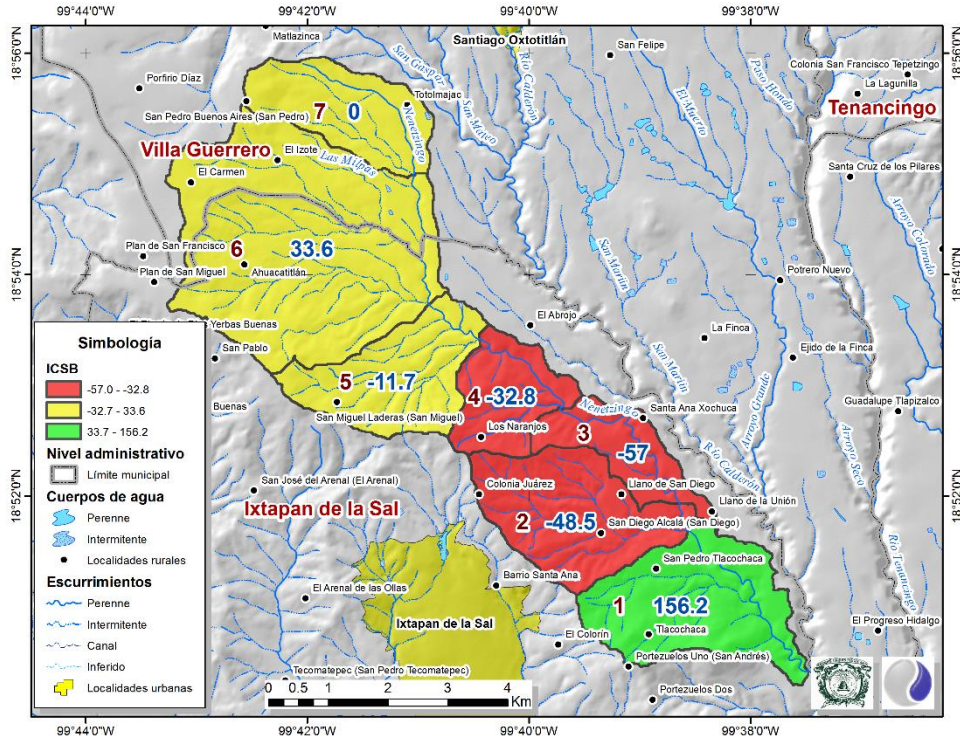


Figura 4.60. indicador de cambio de superficie de bosque (ICSB) a nivel subcuencas.

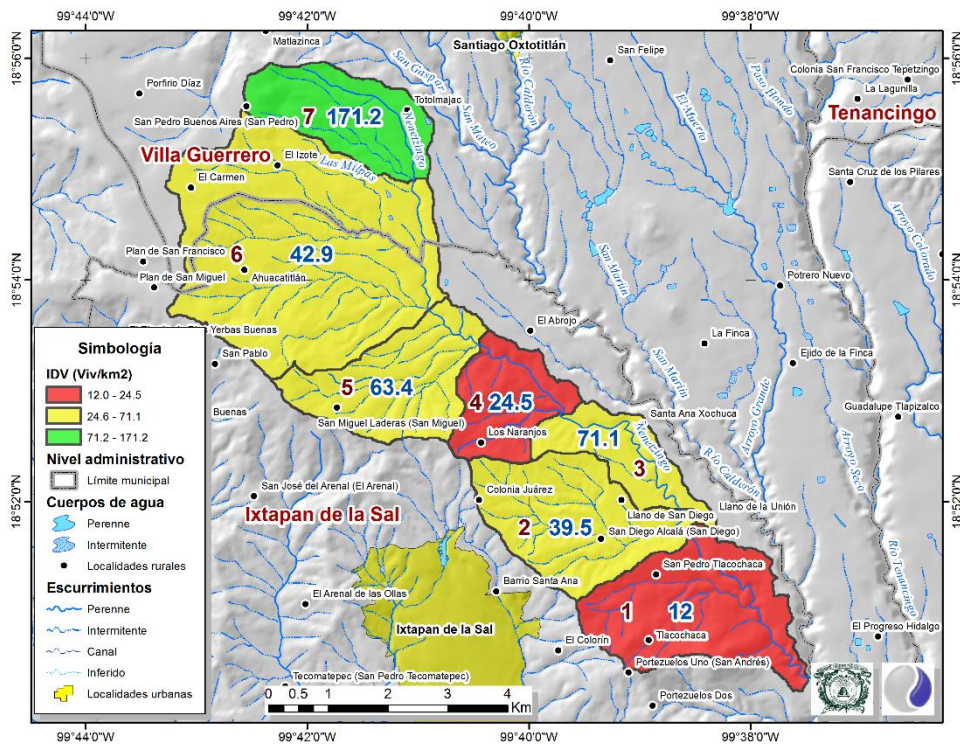


Figura 4.61. Indicador de densidad de viviendas (IDV) a nivel de subcuenca.

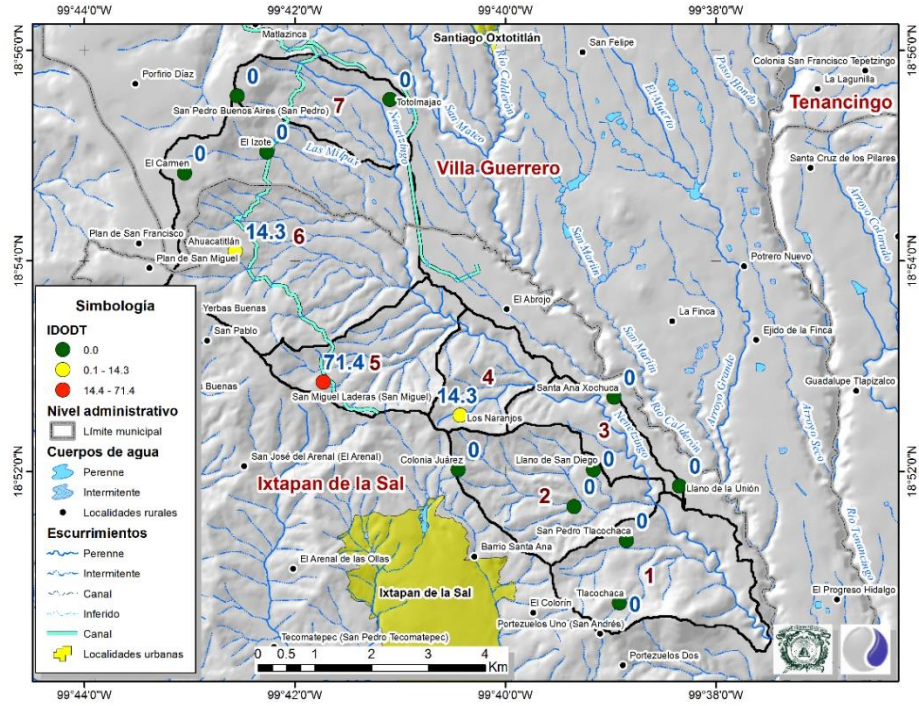


Figura 4.62. Indicador de distribución de ocurrencia de deslizamientos de tierra (IDODT) a nivel de localidad.

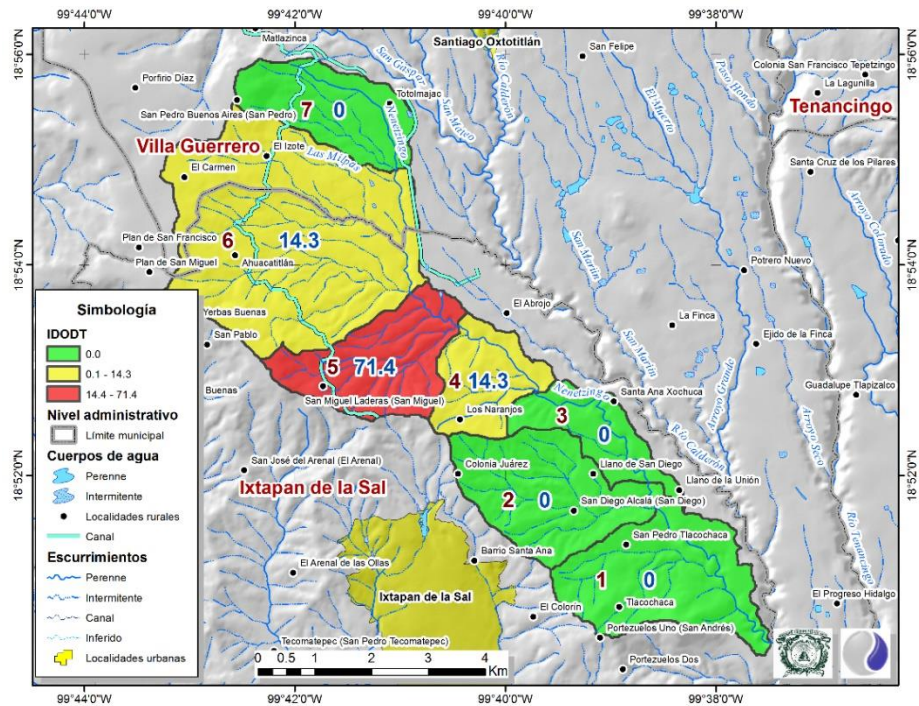


Figura 4.63. Indicador de distribución de ocurrencia de deslizamientos de tierra (IDODT) a nivel de subcuencas.

Las figuras 4.64 a 4.73 exponen los indicadores relacionados con las variables clave de enlace.

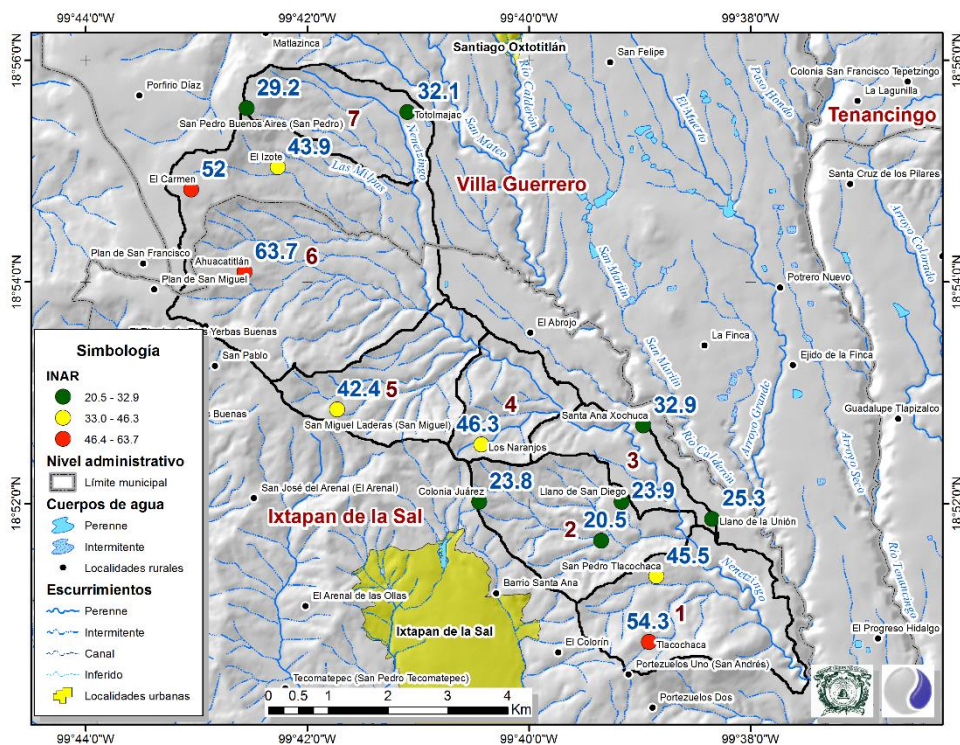


Figura 4.64. Indicador de no acceso a refrigerador (INAR) a nivel de localidad.

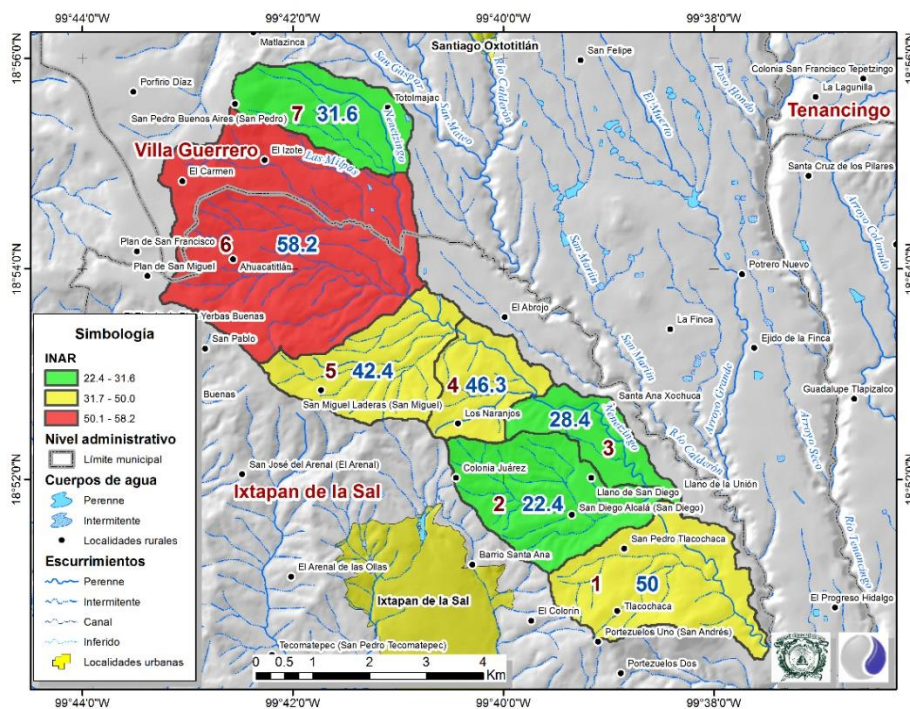


Figura 4.65. Indicador de no acceso a refrigerador (INAR) a nivel de subcuencas.

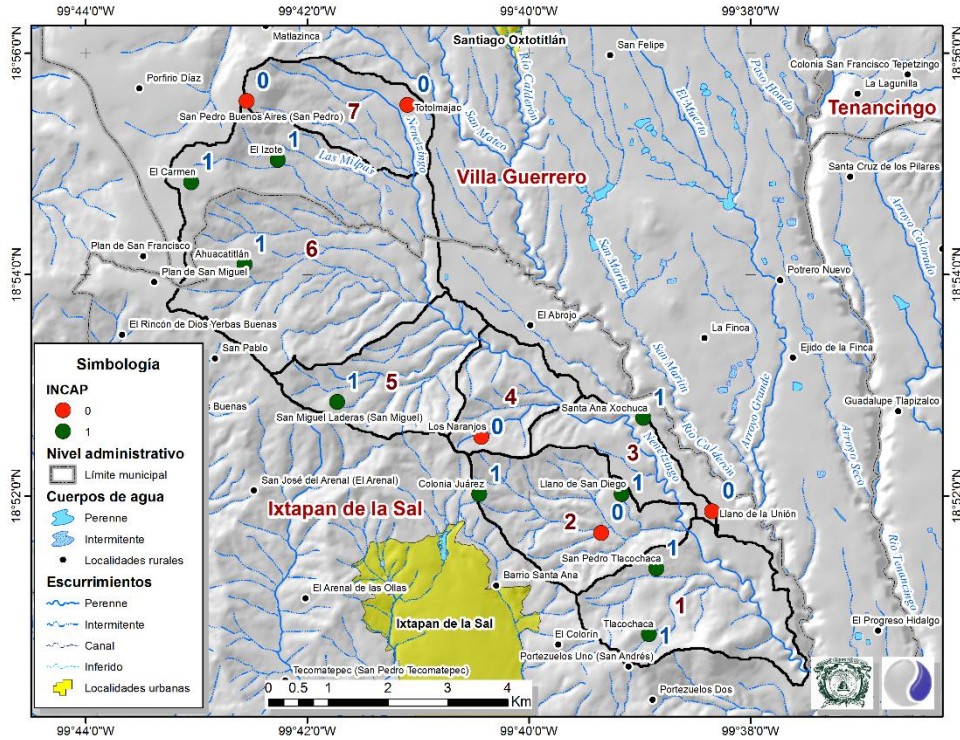


Figura 4.66. Indicador de no cobro por agua potable (INCAP) a nivel localidad.

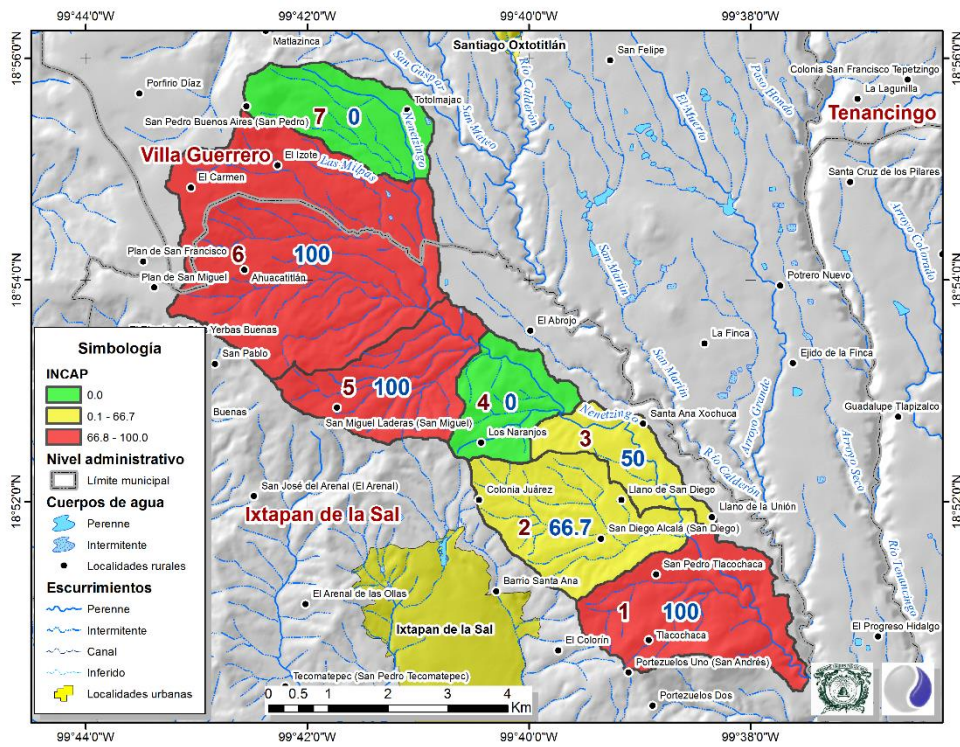


Figura 4.67. Indicador de no cobro por agua potable (INCAP) a nivel subcuencas.

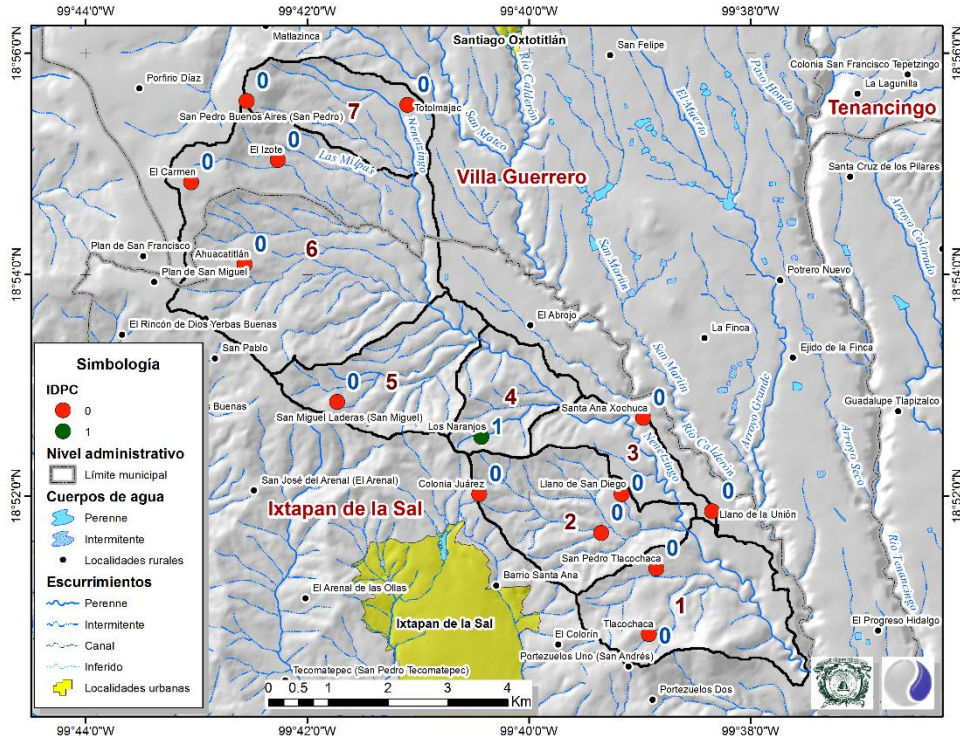


Figura 4.68. Indicador disponibilidad de pozo comunitario (IDPC) a nivel localidad.

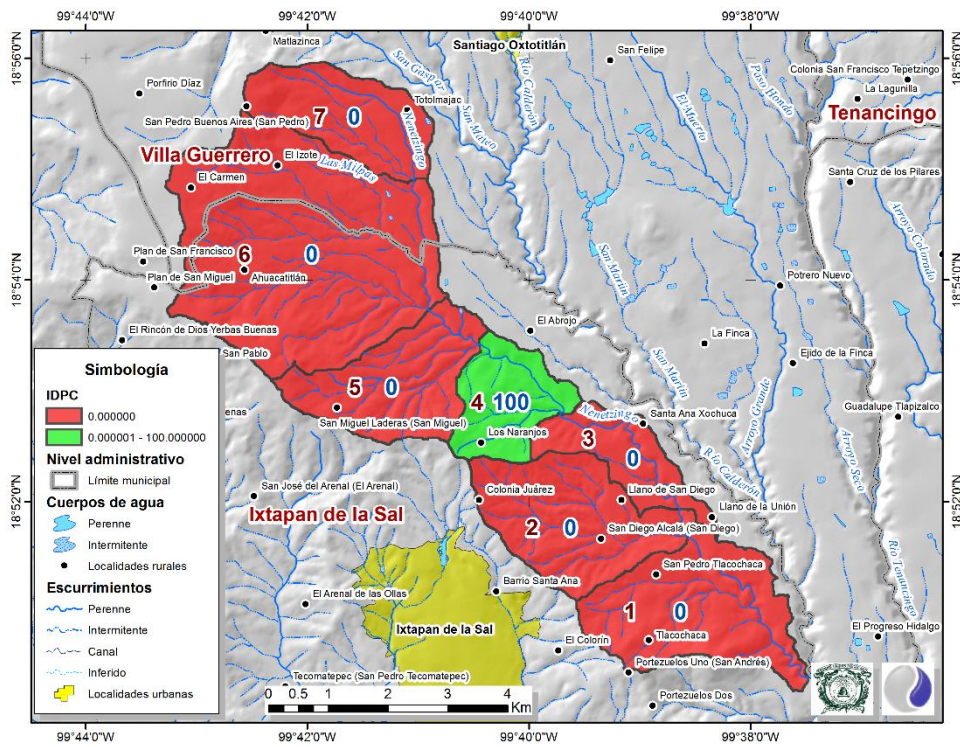


Figura 4.69. Indicador disponibilidad de pozo comunitario (IDPC) a nivel subcuencas.



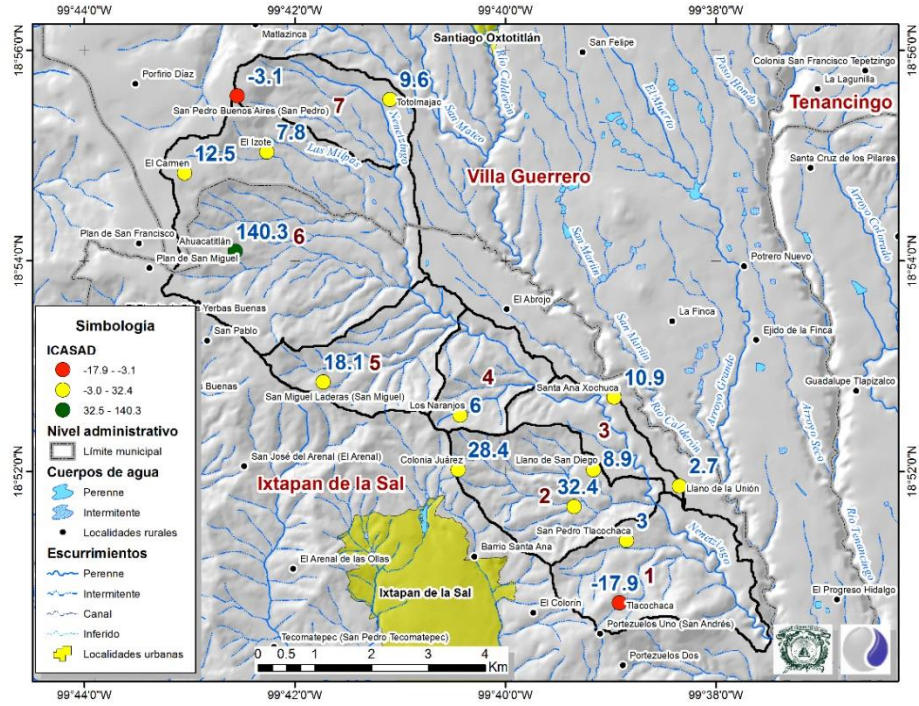


Figura 4.72. Indicador de crecimiento del acceso a servicio de agua y drenaje (ICASAD) a nivel localidad.

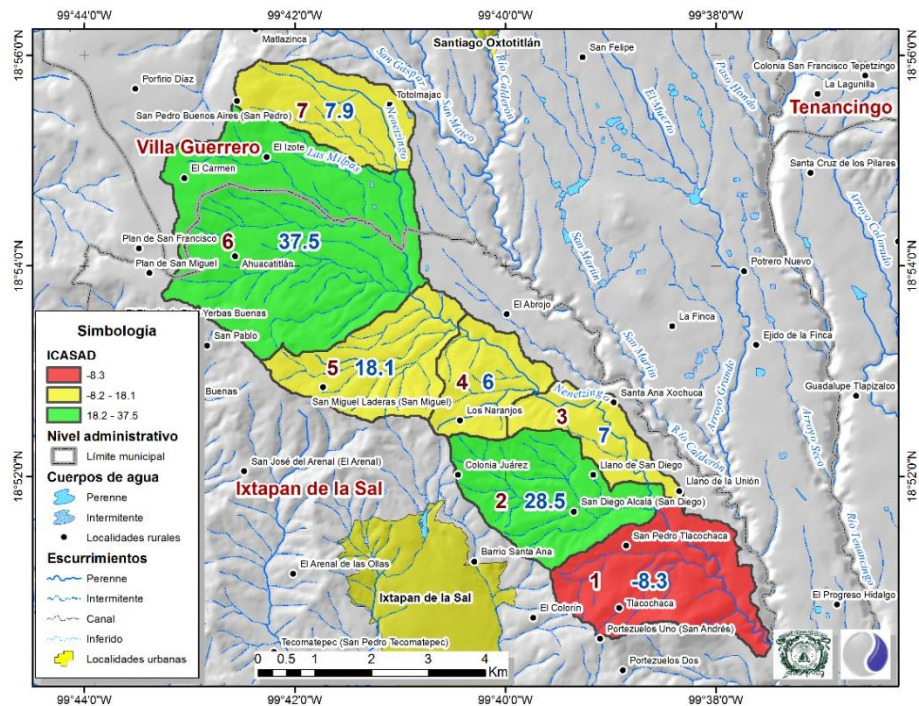


Figura 4.73. Indicador de crecimiento del acceso a servicio de agua y drenaje (ICASAD) a nivel subcuencas.



Por último, se tienen las figuras que exponen los indicadores relacionados con las variables clave de salida (Figuras 4.74 a 4.78).

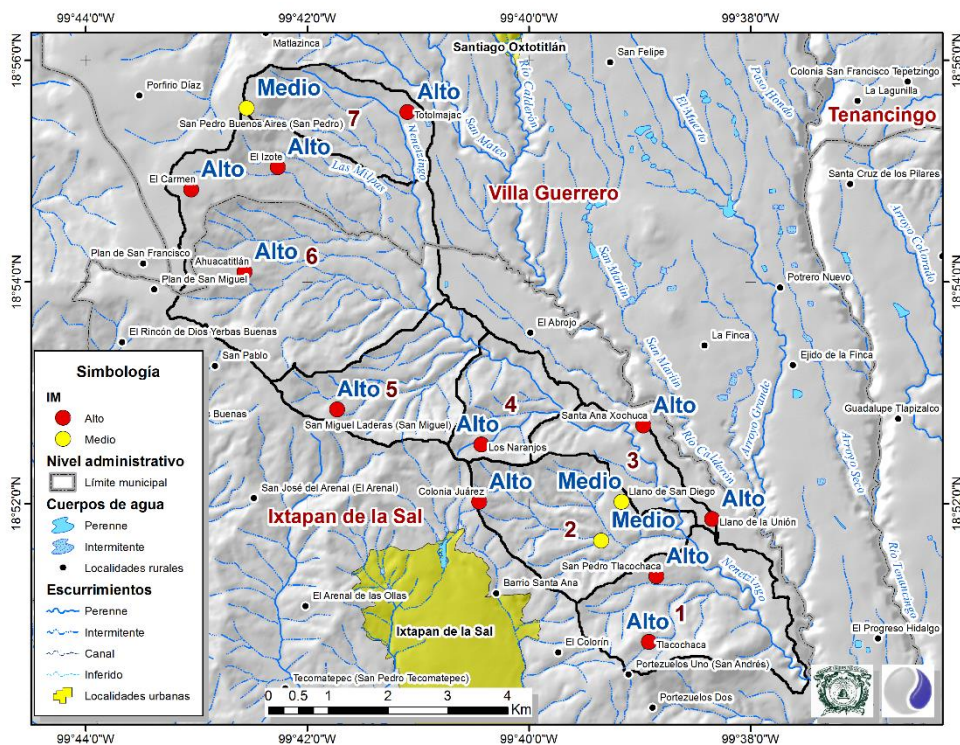


Figura 4.74. Índice de marginación (IM) a nivel localidad.

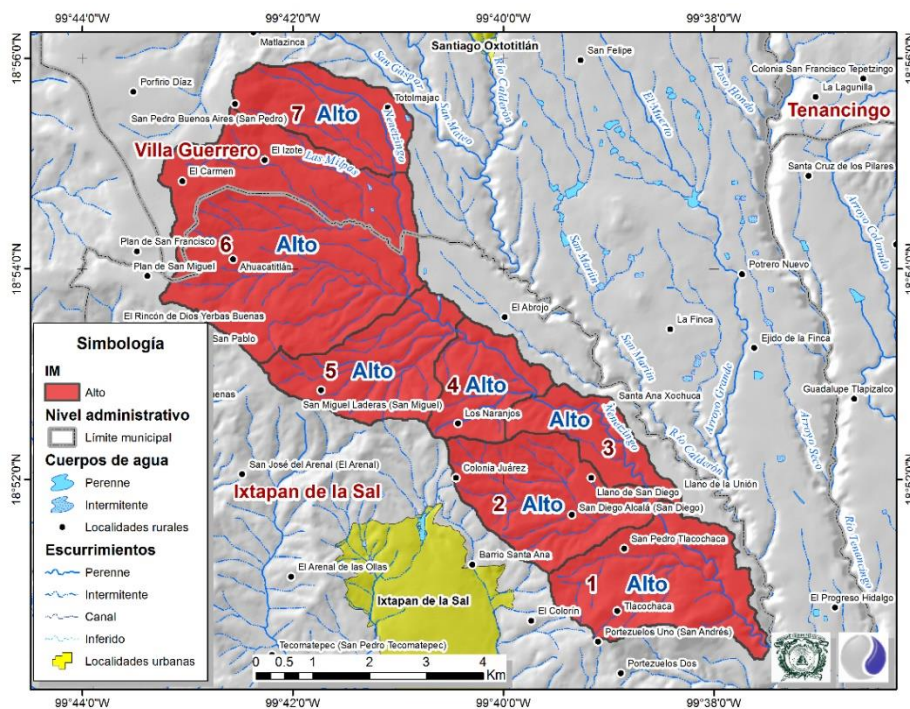


Figura 4.75. Índice de marginación (IM) a nivel subcuencas.

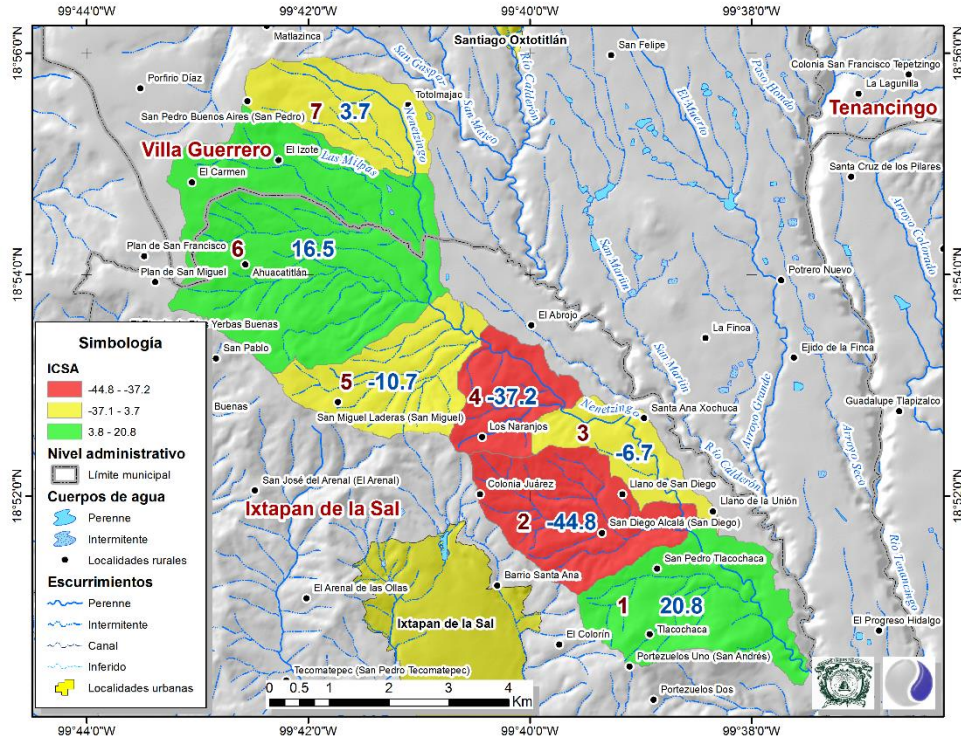


Figura 4.76. Indicador de cambio en la superficie agrícola (ICSA) a nivel cuenca.

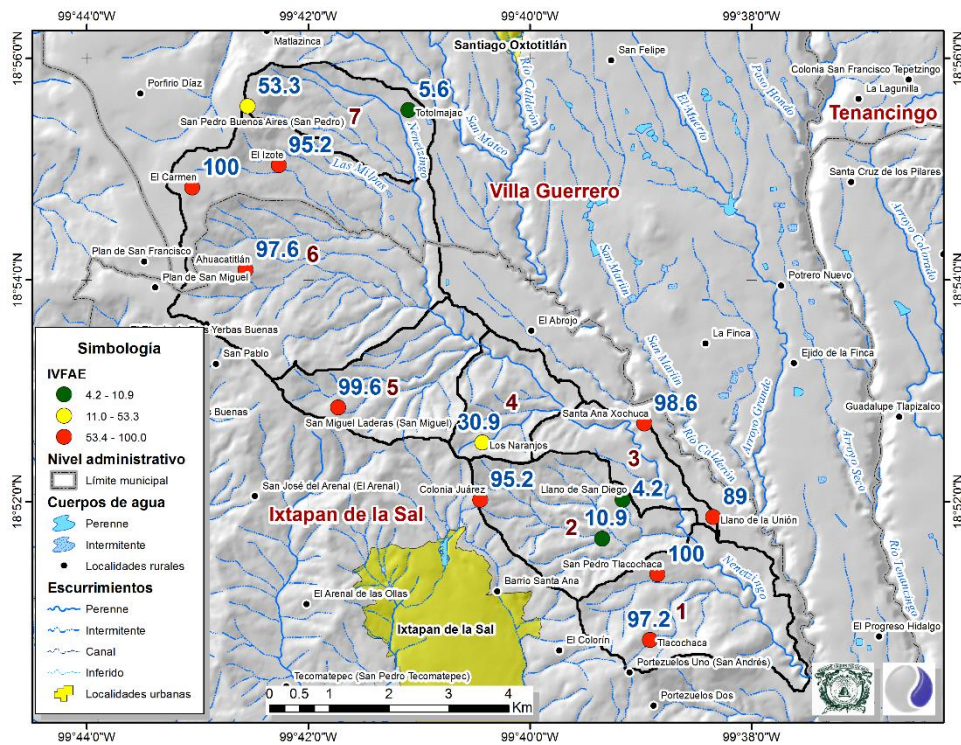
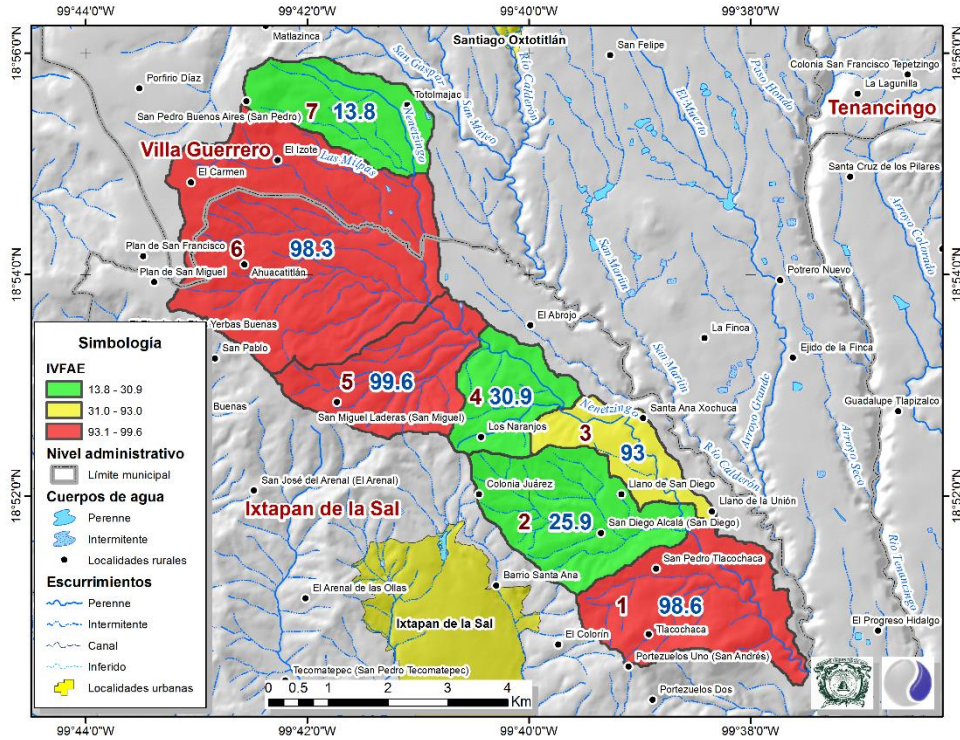


Figura 4.77. Indicador de viviendas con fuente de agua externa (IVFAE) por localidad.



**Figura 4.78.** Indicador de viviendas con fuente de agua externa (IVFAE) por subcuencas.

#### 4.3.3.5. Realimentación

PostgreSQL y PostGIS fueron útiles para el cálculo de la mayoría de los indicadores, puesto que los datos provenían de fuentes tabulares; sin embargo, para algunas operaciones de geoprocésamiento en capas vectoriales y raster, fue necesario recurrir a otras herramientas SIG, puesto que PostGIS aún no tiene el potencial necesario para ello.

PostGIS no ofrece funciones de geoprocésamiento que sí están disponibles en otros SIG, como TerrSet, por lo que se tuvo que recurrir a este último para el caso específico de desarrollar los indicadores de cambio de superficie de bosque y agrícola, así como el de disponibilidad natural de agua.

En el mismo sentido, debido a cuestiones de topología presentes de origen en algunas capas vectoriales de sequía, éstas no pudieron ser procesadas con PostGIS, ni con ArcGIS, por lo que se optó por convertirlas en capas raster y trabajarlas en TerrSet.

Con base en lo anterior, es importante tener siempre presente que en ocasiones será necesario realizar pequeños ajustes al momento de querer implementar los modelos hidrogeomáticos de los indicadores sistémicos.

#### 4.3.4. Identificación de estrategias

Los productos generados en el diseño físico son los principales insumos para la identificación de estrategias. En este sentido, es necesario aclarar que sólo se trabajó con las subcuencas del río Nenetzingo, puesto que son más los indicadores sistémicos para hacer comparaciones entre estas unidades hidrológicas.

Con la información generada hasta este punto, se pudo construir la tabla 4.24 para comenzar a identificar estrategias de gestión sostenible del agua. Esta tabla enlista las variables clave del sistema de gestión del agua de la cuenca del río Nenetzingo de forma descendente según su grado de influencia. Este proceso inicia considerando las categorías de FiPEIR de las variables.

Lo primero es conocer la condición de los impactos. La variable clave de enlace *disponibilidad de recursos para colaborar con el municipio* si se puede considerar como un impacto negativo sobre la población, resultado del funcionamiento general del sistema. Su indicador expresa que cuatro de las siete subcuencas rondan el 50% de viviendas con poco poder adquisitivo y, por consecuencia, tienen poca probabilidad de colaborar con el municipio.

La variable clave de entrada *acceso a servicio de agua en la vivienda* también se puede tratar como un impacto considerable, ya que cuatro de las siete localidades tienen fuertes problemas de acceso al líquido (en ellas más del 90% de sus viviendas carecen de éste).

En el caso de esta investigación, las enfermedades de origen hídrico (variable clave de salida) no se manifiestan como impacto necesario de atender. Lo anterior se debe a que la tasa de EDAS es cero en todas las subcuencas.

La variable clave de salida vulnerabilidad ante riesgos sanitarios es claramente un impacto negativo sobre la población. La afirmación anterior obedece al hecho de que el índice de marginación de todas las subcuencas es catalogado como alto.

**Tabla 4.24.** Relación de grado de influencia de las variables clave del sistema de gestión del agua de la cuenca del río Nenetzingo y valor de los indicadores sistémicos en las subcuencas.

No.	Variable	Indicador	Valor por subcuenca						
			1	2	3	4	5	6	7
46	Fomentar cultura de gestión sostenible del agua	---	---	---	---	---	---	---	---
15	Disponibilidad natural de agua	IDNA	139,797.4	123,175.9	159,641.7	162.1	142,003.1	184,282.6	194,933.2
28	Disponibilidad de recursos para colaborar con el municipio	INAR	50	22.4	28.4	46.3	42.4	58.2	31.6
14	Precipitación	IOS	Estiaje	Estiaje	Estiaje	Estiaje	Estiaje	Estiaje	Estiaje
43	Construir u optimizar infraestructura hidráulica funcional para ofertar los servicios de agua, drenaje y tratamiento de agua residual	ICASAD	-8.3	28.5	7	6	18.1	37.5	7.9
42	Gestionar el servicio de agua y/o drenaje	ICASS	18.3	12.9	18.8	36.5	33.1	20.4	8.7
29	Tarifas por el servicio de agua y saneamiento	INCAP	100	66.7	50	0	100	100	0
22	Volumen de consumo de agua	---	---	---	---	---	---	---	---
30	Derrumbes sobre canales de conducción de agua	IDODT	0	0	0	14.3	71.4	14.3	0
24	Viviendas dispersas	IDV	12	39.5	71.1	24.5	63.4	42.9	171.2
40	Conflictos entre usuarios de agua	---	---	---	---	---	---	---	---
34	Desacuerdo con las tarifas por el servicio	---	---	---	---	---	---	---	---
16	Calidad del agua	IDCAB	0	33.3	50	100	100	66.7	100
41	Tandeo de agua para viviendas y/o riego	---	---	---	---	---	---	---	---
19	Deforestación	ICSB	156.2	-48.5	-57	-32.8	-11.7	33.6	0
1	Acceso a servicio de agua en la vivienda	INAA	100	26.8	94.2	30.9	100	99	13.8
39	Perforar pozos	IDPC	0	0	0	100	0	0	0
38	Acarrear agua para uso en viviendas	IVFAE	98.6	25.9	93	30.9	99.6	98.3	13.8
49	Re-uso de agua	---	---	---	---	---	---	---	---
37	Usar agua de manantiales en viviendas	---	---	---	---	---	---	---	---
11	Productividad agrícola	ICSA	20.8	-44.8	-6.7	-37.2	-10.7	16.5	3.7
6	Condiciones de higiene en vivienda	---	---	---	---	---	---	---	---
9	Riesgos sanitarios	---	---	---	---	---	---	---	---
7	Enfermedades de origen hídrico	TMEDAS	0	0	0	0	0	0	0
8	Vulnerabilidad ante riesgos sanitarios	IM	Alto	Alto	Alto	Alto	Alto	Alto	Alto
3	Condiciones de higiene personal	---	---	---	---	---	---	---	---
2	Comprar agua de garrafón	---	---	---	---	---	---	---	---

El color rojo en la tabla 4.24 resalta la situación más crítica y el color verde la más óptima (entre las subcuencas).

En cuanto a las variables catalogadas como fuerzas impulsoras, sólo se cuenta con la variable clave de entrada *viviendas dispersas*. Comparados con el valor de la subcuenca 7 (la más urbanizada), los bajos valores de densidad de viviendas de otras cuencas ponen de manifiesto que esta situación si condiciona la implementación de obras de agua y drenaje en las localidades, sobre todo por los costos, materiales y recursos que implicarían el tipo de obras hidráulicas tradicionales.

Si bien no se puede catalogar como una presión real, el *volumen de consumo de agua*, variable clave de enlace que no se evaluó, vale la pena señalar que, por pláticas con los responsables de la administración del agua en la cuenca, se infiere que éste consumo se ha incrementado conforme ha aumentado la población que en ella habita.

La variable clave de entrada *deforestación* está presente en cuatro de las siete subcuencas, por lo que claramente constituye aspectos de presión en éstas.

Por otra parte, la variable clave de salida *productividad agrícola*, por ahora no se puede considerar como aspecto de presión, pues el incremento en la superficie dedicada a esta actividad es poco (al menos entre los años 2005 y 2010). Sin embargo, esta condición también refleja que la actividad agrícola como forma de ingreso económico ha disminuido en cuatro de las siete subcuencas, influenciada tal vez por la gestión del recurso hídrico.

Entre las variables que evalúan el estado de los recursos naturales, se tiene a la variable clave de entrada *disponibilidad natural de agua*, la cual prácticamente es uniforme entre las subcuencas. Por ahora esta situación no se aprecia como modificación negativa.

Si bien no se puede indicar si se ha modificado el comportamiento de la precipitación (variable clave de entrada), si se puede señalar que la condición de la precipitación expresa un comportamiento que influyen en la actividad agropecuaria de la cuenca. Específicamente la lluvia presenta una baja importante durante la época de estiaje en la región, abarcando prácticamente los meses de diciembre a mayo.

Otra variable clave de entrada es la de *derrumbes sobre canales de conducción de agua*, mismos que se corroboró ocurren, sobre todo en tres localidades que es precisamente por donde pasa el canal que conduce agua a la planta potabilizadora de Ixtapan de la Sal.

Si bien no fue posible evaluar el estado actual de la *calidad del agua* (variable clave de entrada) en la cuenca del río Nenetzingo, el indicador que se ocupó dio indicios de que ésta recibe contaminantes a través de las aguas residuales de las localidades que en ella habitan, por lo que se infiere esta situación repercute en la calidad del agua.

La última variable de estado *riesgos sanitarios*. Si bien esta no pudo ser evaluada en este trabajo, al ser una variable clave de salida (que depende en gran medida de otras variables del sistema) se puede inferir que hay elementos de la gestión del agua que pueden constituirse en riesgos, como las descargas de aguas residuales en cuerpos de agua, la falta de servicios de agua, drenaje y sanitario y las propias condiciones climáticas de la cuenca.

A continuación se analizan las respuestas en el marco de FiPEIR. La variable clave de enlace *fomentar cultura de gestión sostenible del agua* no pudo ser evaluada por carecer de información. Sin embargo, por el trabajo en campo se pudo constatar que esta actividad es mínima y su único objetivo es el cumplimiento de indicadores del plan de desarrollo municipal.

La variable de respuesta *construir u optimizar infraestructura hidráulica funcional para ofertar los servicios de agua, drenaje y tratamiento de agua residual* (variable clave de enlace) expone un desarrollo favorable en su evaluación con el indicador correspondiente, por lo que por ahora se considerará como adecuada.

Una condición similar a la anterior presenta la variable clave de enlace *gestionar el servicio de agua y/o drenaje*, misma que por ahora se considera adecuada al mostrar un incremento en todas las subcuencas.

La variable clave de enlace *tarifas por el servicio de agua y saneamiento* es una respuesta que no se puede valorar en todas las subcuencas, pues al carecerse del servicio por parte del municipio o comité local, entonces no se realiza el cobro.

Los *conflictos entre usuarios de agua* como una respuesta y variable clave de enlace no fueron evaluados, pero en los recorridos de campo se pudo constatar que estos existen, sobre

todo entre los pobladores del curso alto y bajo de la cuenca, en lo que se refiere al uso del agua del canal que conduce dicha agua hasta la planta potabilizadora de Ixtapan de la Sal.

La variable clave de entrada *desacuerdos con las tarifas de agua y saneamiento* son una respuesta que no se pudo evaluar, ni si quiera por trabajo de campo, ya que más bien parece una opinión personal de unos cuantos pobladores de en la cuenca.

La respuesta de *tandeo de agua para viviendas y/o riego* (variable clave de enlace) sólo se pudo constatar en los recorridos de campo. Bajo esta circunstancia, parece una respuesta poco satisfactoria, sobre todo por desacuerdos en el reparto de la programación y el señalamiento de favoritismos y usos inadecuados de horarios y agua designada.

La variable clave de enlace *perforar pozos* no es una respuesta uniforme en todas las subcuencas, debido, entre otras circunstancias, a la calidad del agua subterránea señalada por algunos delegados y administradores del agua (sobre todo en la porción territorial de Ixtapan de la Sal). Por lo tanto, de momento no se aprecia como una respuesta viable de fomentar.

La respuesta de *acarrear agua para uso en viviendas* (variable clave de salida) es necesaria de atender, puesto que en todas las subcuencas es practicada por la gran mayoría de las viviendas. Evidentemente, esta variable se relaciona directa y estrechamente con la de *acceso a servicio de agua en la vivienda*.

La variable clave de salida *re-uso de agua* no fue una respuesta evaluada por carecer de datos, inclusive del trabajo de campo. Sin embargo, es una actividad promovida por la GIRH, por lo que se recomienda analizarla.

La respuesta de *usar agua de manantiales en viviendas* es una variable clave de salida que no se evaluó, ni se constató su presencia. Por lo que por ahora no será considerada en la planeación.

Las variables de salida y respuesta *condiciones de higiene en vivienda y personal* no fueron evaluadas por que no se contó con datos para ello. Sin embargo, su comportamiento se infiere con la evaluación de las *enfermedades de origen hídrico*, la cual por ahora no requiere atención, lo que implica que ambas condiciones de higiene son aceptables.



La última respuesta, que al mismo tiempo es una variable de salida, es *comprar agua de garrafón*. Al no contar con datos para su evaluación, no se puede dar una interpretación concluyente de su comportamiento. Sin embargo, al carecer la gran mayoría de las viviendas de agua potable y al usar agua del canal (antes de ser potabilizada) y/o de pipas, se infiere que no usan esta para consumo humano y, por lo tanto, recurren al consumo de agua de garrafón.

#### 4.4. SELECCIÓN DE ESTRATEGIAS

A continuación se presentan las estrategias que se derivan del análisis de la sección anterior, considerado dar prioridad a las variables clave más influyentes y donde hubo más localidades con situaciones por atender (para ello se utilizó la tabla 4.24).

- Es fundamental fomentar la cultura de gestión sostenible del agua en todas las subcuencas.
- Se debe procurar el desarrollo económico en todas las subcuencas.
- Se deben tomar acciones para prevenir la falta de agua durante la época de estiaje, tanto para actividades productivas como para consumo humano. Esto aplica a todas las subcuencas.
- Es necesario conocer el volumen de consumo de agua de cada localidad en todas las subcuencas, con la finalidad de planificar su gestión sostenible.
- En las subcuencas 4, 5 y 6, que es donde pasa el canal de conducción de agua, se deberán aplicar acciones que reduzcan la ocurrencia de deslizamientos.
- Ante el hecho de que las viviendas son dispersas en las subcuencas dos a la seis, es necesario identificar alternativas distintas a las tradicionales para contar con los servicios de agua, drenaje y sanitario.
- Es necesario registrar y mediar los conflictos entre usuarios del agua en todas las subcuencas. También se requiere que se apliquen instrumentos que promuevan la unión de los actores de interés en lugar de su fragmentación.
- Se debe asegurar que las aguas residuales de las subcuencas tres a la siete no sean descargadas sobre cuerpos de agua.
- Usar herramientas que transparenten las acciones de tandeo del agua.

- Aplicar programas de conservación y regeneración de la vegetación natural en las subcuencas dos a la cinco y la siete.
- Es necesario incrementar el acceso a servicio de agua en las viviendas en las subcuencas uno, tres, cinco y seis.
- Establecer un programa que fomente el re-uso de agua en todas las subcuencas.
- Generar un instrumento que permita monitorear la condición de riesgos sanitarios en todas las subcuencas.
- Informar a todos los actores de interés de todas las cuencas, las acciones necesarias para reducir en lo individual y colectivo la vulnerabilidad ante riesgos sanitarios.
- Fomentar alternativas de purificación de agua, que sean sostenibles, seguras y más baratas en comparación con la compra de agua de garrafón.

#### 4.5. ELABORACIÓN DEL PLAN DE GIRH

En la tabla 4.25 se presentan los programas que se proponen para integrar a un plan de GIRH de la cuenca del río Nenetzingo. En el Anexo 6 se presenta el plan completo.

**Tabla 4.25.** Programas para el plan de GIRH de la cuenca del río Nenetzingo.

<b>No.</b>	<b>Programa</b>	<b>Elementos estratégicos que atiende</b>
1	Cultura de gestión integrada del agua	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fomentar la cultura de gestión sostenible del agua en todas las subcuencas.</li> <li>• Aplicar instrumentos que promuevan la unión de los actores de interés en lugar de su fragmentación</li> <li>• Fomentar el re-uso de agua en todas las subcuencas</li> <li>• Fomentar alternativas de purificación de agua, que sean sostenibles, seguras y más baratas en comparación con la compra de agua de garrafón.</li> </ul>
2	Infraestructura para el agua y saneamiento	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tomar acciones para prevenir la falta de agua durante la época de estiaje, tanto para actividades productivas como para consumo humano.</li> <li>• Aplicar acciones que reduzcan la ocurrencia de deslizamientos.</li> <li>• Identificar alternativas distintas a las tradicionales para contar con los servicios de agua, drenaje y sanitario.</li> <li>• Se debe asegurar que las aguas residuales de las subcuencas no sean descargadas sobre cuerpos de agua.</li> <li>• Incrementar el acceso a servicio de agua en las viviendas.</li> </ul>

**Tabla 4.25.** Programas para el plan de GIRH de la cuenca del río Nenetzingo  
(continuación).

<b>No.</b>	<b>Programa</b>	<b>Elementos estratégicos que atiende</b>
3	Rendición de cuentas y transparencia	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Conocer el volumen de consumo de agua de cada localidad en todas las subcuencas, con la finalidad de planificar su gestión sostenible</li> <li>• Registrar y mediar los conflictos entre usuarios del agua en todas las subcuencas</li> <li>• Usar herramientas que transparenten las acciones de tandeo del agua</li> </ul>
4	Desarrollo social, económico y ambiental	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Procurar el desarrollo económico en todas las subcuencas</li> <li>• Aplicar programas de conservación y regeneración de la vegetación natural en las subcuencas.</li> <li>• Generar un instrumento que permita monitorear la condición de riesgos sanitarios en todas las subcuencas.</li> <li>• Informar a todos los actores de interés de todas las cuencas, las acciones necesarias para reducir en lo individual y colectivo la vulnerabilidad ante riesgos sanitarios</li> </ul>

## 5. DISCUSIÓN

Considerando los objetivos de investigación de la presente tesis, se establece la siguiente discusión de los resultados logrados.

La recolección y procesamiento de los datos provenientes de instituciones gubernamentales permitió la identificación y caracterización de las problemáticas de origen hídrico. Estas problemáticas fueron:

- El desarrollo de las actividades propuestas en esta investigación sobre la cuenca del río Nenetzingo requerirá la gestión con dos municipios del Estado de México: Ixtapan de la Sal y Villa Guerrero.
- Las entidades encargadas de la prestación de servicios de agua y saneamiento son municipales, comunales y particulares.
- El tema del agua se maneja con tintes políticos, sobre todo para buscar reducir la credibilidad de la autoridad municipal.
- Las localidades en la cuenca se consideran como rurales.
- La marginación de la población de la cuenca es media y alta.
- Hay escasez de servicios de agua y saneamiento.
- El agua empleada para uso doméstico y de riego proviene de otra cuenca y es transporta por un canal con secciones a cielo abierto, aunque en la actualidad se está instalando una tubería para sustituir a dicho canal.
- No es evidente el aprovechamiento de agua subterránea.
- Existen tomas de agua no registradas ni autorizadas, que emplean el agua con fines domésticos y agrícolas.
- La demanda de agua supera la capacidad de abastecimiento.
- Contrastan la alta disponibilidad natural de agua y las condiciones complejas de la cuenca para aprovecharla.
- La disponibilidad y aprovechamiento del agua superficial están fuertemente influenciadas por la temporalidad de la época de lluvias, la cual se centra en el verano.
- La inversión para gastos de operación de servicios de agua y saneamiento es mayor que el recaudado.

- Se identifica la necesidad de contar con alternativas innovadoras para ofrecer los servicios de agua y saneamiento.
- El municipio reparte agua en pipas.
- Es necesario caracterizar las condiciones específicas en que se dan los servicios de agua, drenaje y sanitario de cada localidad.
- No se da tratamiento al agua residual.
- Se deben difundir los avances en materia de prestación de servicios de agua y saneamiento.
- La morbilidad por EDAS demanda atención para contar con agua de buena calidad y servicios de saneamiento adecuados.
- Las sequías no son un tema ajeno a la cuenca.
- Es evidente el riesgo por deslaves en la cuenca.

De las problemáticas identificadas, la investigación se enfocó en aquellas relacionadas los usos del agua doméstico, agrícola y ambiental.

Por otro lado, la caracterización anterior permitió definir una encuesta como instrumento participativo para obtener información del sistema de gestión del agua en la cuenca bajo estudio. Esta encuesta derivó en la identificación de 49 variables del sistema de gestión del agua en la cuenca del río Nenetzingo. Del total de variables, fueron 27 las variables clave, por lo que el estudio se enfocó en ellas. Para poder evaluar cada una de estas variables clave, se identificó un indicador. Estos indicadores fueron definidos y se identificó la fuente de datos para lograr su cálculo. En este sentido las principales fuentes de datos fueron el INEGI, los municipios, el CIRA y el NADM. Al final, principalmente por falta de datos e información, sólo 16 de los 27 indicadores clave fueron desarrollados.

Todos y cada uno de los indicadores fue desarrollado en un entorno hidrogeomático, por lo que es patente la utilidad de este entorno para los fines de la GIRH, sobre todo porque hizo explícito el tema espacial en la determinación de estrategias de gestión sostenible del agua. En este sentido, se documentó cada indicador, considerando su definición, forma de cálculo, formato de dato de entrada a un entorno de SIG, lógica de proceso y operaciones geomáticas necesarias para su cálculo en ambiente de SIG (27 modelos hidrogeomáticos, 11 con nivel

de localidad y subcuenca y 16 sólo para el nivel de subcuenca). Finalmente, se realizó su cálculo con PostGIS (en PostgreSQL) y TerrSet a nivel de localidad y subcuencas.

De esta forma se tuvieron dos criterios para priorizar las variables clave del sistema de gestión del agua de la cuenca del río Nenetzingo. Por un lado, el grado de influencia de cada variable con relación al resto de variables y, por otro lado, la condición que presenta cada variable clave en cada subcuenca (conocido por su indicador). Esto último puso de relieve que la gestión en la cuenca no debe hacerse como si ésta fuera uniforme, sino más bien, reconociendo las heterogeneidades que en ella existen. Con ello definieron 15 estrategias de GIRH, mismas que se tradujeron en cuatro programas con sus proyectos y estrategias específicas cada uno de ellos. Al final esto fue la base para la elaboración del Plan de GIRH.

Desafortunadamente, por cuestiones de tiempo, no se pudieron detallar los rubros de objetivos, metas acciones, responsables y tiempos de cada uno de los proyectos identificados. Sin embargo, es claro estos elementos si pueden ser definidos a partir de los resultados ofrecidos en esta investigación, sobre todo con base en el análisis de la situación y su cruce con los actores de interés identificados.

## 6. CONCLUSIONES Y RECOMENACIONES

Tras el desarrollo completo del proceso de investigación del modelo hidrogeomático de indicadores sistémicos para la GIRH, se han definido una serie de conclusiones y recomendaciones, mismas que se presentan a continuación.

Mediante la recolección, procesamiento y análisis de datos e información provenientes de instituciones gubernamentales, fue posible identificar y caracterizar las problemáticas de origen hídrico que afectan recurrentemente a la cuenca del río Nenetzingo, mismas que orientaron el resto de la investigación, dando así cumplimiento al primer objetivo específico.

El empleo del análisis estructural de sistemas permitió identificar las variables del sistema de gestión del agua de la cuenca del río Nenetzingo y definir sus variables clave. Posteriormente, la necesidad de evaluar el comportamiento de estas variables clave en la cuenca, condujo al empleo de indicadores. Por lo tanto, estos indicadores fueron los indicadores sistémicos comprometidos en el segundo objetivo específico, mismos que adicionalmente fueron categorizados bajo el esquema FiPEIR y por AEPA.

Los indicadores sistémicos fueron trabajados en un proceso hidrogeomático. Para cada indicador se realizó su conceptualización para identificar las variables necesarias para su generación. Posteriormente se estableció el proceso lógico que debería seguirse en cada indicador para procesarlo en un entorno hidrogeomático. Finalmente, el indicador fue materializado en un entorno de SIG. De esta forma se dio una perspectiva espacial sobre la cuenca a cada uno de los indicadores sistémicos.

Los resultados expuestos por los indicadores sistémicos, permitieron conocer lo que en la GIRH se denomina *Análisis de la situación*, la cual conduce a la identificación de estrategias para la planeación de la gestión del agua. Estas estrategias al ser evaluadas conducen a la generación de un Plan de GIRH. En el caso de esta investigación, y con referencia al último objetivo específico, a partir del análisis de los indicadores sistémicos se generó una propuesta de Plan de GIRH.

Por cuestiones de tiempo, este plan de GIRH solamente propone programas generales derivados de las estrategias seleccionadas durante la investigación. Para cada programa se establecieron proyectos y para cada proyecto estrategias específicas. Sin embargo, la

información generada en esta tesis puede dar la opción de llegar a objetivos, metas, acciones y responsables para cada uno de los proyectos.

No obstante lo anterior, queda plasmado que el trabajo en un entorno hidrogeomático de los indicadores sistémicos permite llegar a un plan de GIRH, tal como se planteó en la hipótesis. Es decir, se pudieron modelar y analizar procesos de gestión del agua, así como identificar elementos estratégicos de gestión sostenible, constituyéndose la propuesta en una alternativa para elaborar planes de GIRH. Por lo anterior se concluye que se dio cumplimiento al objetivo general de la investigación.

Adicionalmente, se identificaron las siguientes conclusiones generales:

- La GIRH promueve una visión sistémica del agua como recurso articulador y es fundamental para llegar a una gestión sostenible del agua. Mientras que la planeación estratégica es un conocimiento fundamental porque ofrece herramientas que ayudan a enfocarse en lo que realmente importa.
- La entrevista semiestructurada aplicada a los delegados de las localidades en la cuenca fue un instrumento participativo de gran ayuda ante la falta de participación de los administradores municipales del agua y la población en general.
- El modelo generado del sistema de gestión del agua de la cuenca de río Nenetzingo, es sistémico, holístico y, además, evalúa desde las perspectivas del desarrollo sostenible, FiPEIR y AEPA. En este sentido, el análisis estructural del sistema de gestión del agua en la cuenca fue fundamental para identificar a los indicadores sistémicos apropiados para esta cuenca.
- Se demostró que es posible trabajar los indicadores en un entorno hidrogeomático, para espacializar su cálculo y facilitar el análisis espacial en la heterogeneidad natural de la cuenca. De hecho, el modelo hidrogeomático, alimentado con los indicadores sistémicos, proporciona un panorama claro de los aspectos clave para una gestión sostenible del agua, incluido es aspecto espacial. De esta forma, el modelo hidrogeomático generado brinda sustento a la toma de decisiones, incluido el ámbito espacial, ya que el uso y aprovechamiento del agua en la cuenca no es uniforme, por lo que en su gestión se debe hacer esta consideración.



- El procedimiento seguido está sustentado en métodos empleados usualmente en estudios de GIRH e hidrogeomática. Además, es posible la réplica del procedimiento gracias al proceso hidrogeomático documentado en este trabajo.

Finalmente, se presentan algunas recomendaciones dirigidas a todo aquel interesado en dar continuidad a esta investigación o que trabaje realizando hidrogeomática para la GIRH:

- En primer lugar, se considera necesario difundir los resultados obtenidos entre todos los actores de interés. De hecho, se recomienda hacer uso del “análisis de actores de interés” que se generó en esta investigación para promover la investigación y sus productos.
- El cambio de administración municipal, junto con la alternancia del partido político del presidente electo, diluyó la continuidad en el apoyo y participación al trabajo de tesis. Por lo tanto, se considera que son necesarias campañas más puntuales para fomentar la GIRH, de forma tal que el interés en la gestión trascienda administraciones gubernamentales. De hecho, los resultados generados en este trabajo podrían ser utilizados para abonar en el tema de gobernanza del agua en la región.
- Se hicieron evidentes las dimensiones (variables) del sistema de gestión del agua de la cuenca del río Nenetzingo que actualmente no se miden, pero que se deben registrar para contar con más datos e información para una toma de decisiones más integrada.
- Además, como el agua y su gestión no son procesos estáticos, se recomienda dar continuidad a la medición y recopilación de datos para los indicadores propuestos, de manera tal que permitan análisis de tendencias espaciales y temporales.
- Adicional a lo anterior, se tiene que las variables y datos que recolectan los instrumentos del INEGI (censo y conteos) no son homogéneos entre un periodo y otro. Esta situación dificulta el análisis de evolución y tendencias. Por lo que se considera que las cuencas deberían implementar instrumentos propios para recolectar los datos que alimenten los indicadores, pero sin la necesidad de duplicar esfuerzos.
- Es importante tener presente que, al agregar los datos de las localidades por subcuencas para calcular los indicadores sistémicos, se puede perder una condición muy particular a atender para una localidad, por lo que no debe dejarse de lado el analizar el nivel de localidades.

## 7. REFERENCIAS

### 7.1. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abu-Zeid, K. y Elbadawy, O (2007). *A GIS-based water resources information system: a regional DSS for IWRM*. En: Options Méditerranéennes: Série B. Etudes et Recherches. Lamaddalena, N.; Antao da Silva, P.; Rocha, J.S.; Antunes, M.P.; Santos, R.F. y Borrego, D. (2005). Sustainable river basin management: a dynamic model. En: River Basin Management. Institution of Civil Engineers (ICE). Londres. Págs. 151-161.
- Aledo, Antonio; Ortiz, Guadalupe y García-Andreu, Hugo (2008). *Análisis estructural del sistema turístico residencial en la Costa Blanca*. En: Investigaciones Geográficas. Núm. 46. Instituto Universitario de Geografía. Universidad de Alicante. Págs. 89-106.
- Ambrosio-Albalá, Mateo; Martín Lozano, José M. y Pérez Hernández, Pedro P. (2011). *Aplicación del análisis estructural de prospectiva al diseño de estrategias de desarrollo rural: el caso de la comarca de Jerez*. En: Estudios de Economía Aplicada. Vol. 29-1 Págs. 247-278.
- Arya, D.S. y Abbasi, S.A. (2001). *Identification and classification of key variables and their role in environmental impact assessment: methodology and software package INTRA*. En: Environmental Monitoring and Assessment. Núm. 72. Págs. 277-296.
- Ascough, J.A.; Rector, H.D.; Hoag, D.L.; McMaster, G.S.; Vandenberg, B.C.; Shaffer, M.J.; Weltz, M.A. y Ahjua, L.R. (2002). *Multicriteria spatial decision support systems: overview, applications, and future research directions*. En: International Environmental Modelling and Software Society 2002: Integrated Assessment and Decision Support. Lugano, Suiza. Págs. 175-180.
- Ayuntamiento del Municipio de Ixtapan de la Sal (2004). *Plan de Desarrollo Municipal 2003-2006*. En: Gaceta Municipal. Periódico Oficial del H. Ayuntamiento Constitucional. Ixtapan de la Sal, México. Junio 2004, Año II, No. 4. Págs. 26-29.
- Ayuntamiento del Municipio de Ixtapan de la Sal (2013). *Plan de Desarrollo Municipal 2013-2015*. En: Gaceta Municipal. Periódico Oficial de Gobierno. Gobierno municipal. 301 pp.

- Ayuntamiento del Municipio de Villa Guerrero (2013). Plan de Desarrollo Municipal 2013-2015. Villa Guerrero, Estado de México. Gobierno Municipal. 256 pp.
- Bell, Simon y Morse, Stephen (2003). Measuring sustainability. Learning by doing. Earthscan. Reino Unido. 206 pp.
- Bell, Simon y Morse, Stephen (2003). Measuring sustainability. Learning by doing. Earthscan. EE.UU. 206 pp.
- Bell, Simon y Morse, Stephen (2008). Sustainability indicators. Measuring the inmmearable? 2a ed. Earthscan. Reino Unido. 228 pp.
- Brown, Michael Jacoby (2006). Building powerful Community Organizations. A personal guide to creating groups that can solve problems and change the World. Long Haul Press. EE. UU. 395 pp.
- Bungay, Stephen (2012). Estrategia en acción. Cómo cerrar la brecha entre planes, operaciones y resultados. 1ª Ed. Grupo Editorial Patria. México, D.F. 312 pp.
- Caamaño, Eduardo P. (2013). Project Management Práctico: Técnicas, Herramientas y Documentos. Editorial Círculo Rojo. 827 pp.
- Campos Aranda, Daniel Francisco (1998). Procesos del ciclo hidrológico. 3ª reimpresión. Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma de San Luis Potosí. San Luis Potosí, México. 503 pp.
- Campusano, Miguel Alberto (2012). Planeación de proyectos. Como realizar proyectos de manera eficaz. 379 pp.
- Cap-Net (2008). Performance and capacity of River Basin Organizations. Cross-case comparison of four RBOs. Cap-Net. Sudafrica. 65 pp.
- Cap-Net, GWP y UNDP (2005). Planes de Gestión Integrada del Recurso Hídrico. Manual de capacitación y Guía Operacional. 109 pp.
- Cap-Net; Global Water Partnership y UNDP (2005). Foro Latinoamericano Planificación de la Gestión Integrada de los Recursos Hídricos. Manual de capacitación. Cap-Net. Sudáfrica. 77 pp.

- Centro Virtual de Aprendizaje del Agua [WVLC] (s/f). *Lesson 2: History and development of IWRM*. En: Organización de las Naciones Unidas. 35 pp.
- Chambers, Robert (2011). Participatory workshops. A sourcebook of 21 set of ideas and activities. 7ª reimpresión. Earthscan. Londres, Reino Unido. 220 pp.
- Chiavenato, Idalberto y Sapiro, Arão (2011). Planeación estratégica. Fundamentos y aplicaciones. 2ª Ed. McGraw-Hill. México. 318 pp.
- Comisión Estatal de Parques Naturales y de la Fauna [CEPANAF] (2013). Estudio previo significativo [sic] referente a la modificación del decreto de creación del Área Natural Protegida denominada Parque Estatal “Ixtapan de la Sal”. Secretaría del Medio Ambiente, Gobierno del Estado de México. 15 pp.
- Congreso de la Unión (2008). Ley de Aguas Nacionales. Texto vigente. Última reforma publicada DOF 18-04-2008. 103 pp.
- Congreso de la Unión (2016). Ley de Aguas Nacionales. Texto vigente. Última reforma publicada DOF 24-03-2016. 110 pp.
- Corral-Quintana, Serafín; Legna-de la Nuez, David; Legna, Carlos; Hernández, Jesús; Romero-Manrique, David (2016). How to improve strategic decision-making in complex systems when only qualitative information is available. En: Land Use Policy 50 (2016): 83-101.
- De la Vega Estrada, Sergio; Téllez Vázquez, Yolanda y López Ramírez, Jorge (2012). Índice de marginación por localidad 2010. Colección: Índices sociodemográficos. 1ª ed. Consejo Nacional de Población. 342 pp.
- Delgado-Martínez, Aida Mercedes y Pantoja-Timarán, Freddy (2015). *Análisis estructural para la identificación de variables claves en la Ruta del Oro, Nariño Colombia*. En: DYNA. Journal of the Facultad de Minas, Universidad Nacional de Colombia - Medellín Campus. Año 82, núm. 191. Págs. 27-33.
- Delgado-Serrano, María del Mar; Ambrosio-Albalá, Mateo y Amador, Francisco (2015). *Exploring prospective structural analysis to assess the relevance of rural territorial*

*development in Spain and Nicaragua*. En: Cuadernos de Desarrollo Rural. Vol. 12, núm. 76. Págs. 35-56.

Díaz-Delgado, Carlos; Esteller, María V.; Velasco-Chilpa, Alejandro; Martínez-Vilchis, José M.; Arriaga-Jordán, Carlos M.; Vilchis-Francés, Aleida Y.; Manzano-Solís, Luis R.; Colín-Mercado, Miriam; Miranda-Juárez, Sarai; Uribe-Caballero, María L. W. y Peña-Hinojosa, Alejandro (2009). Guía de planeación estratégica participativa para la gestión integrada de los recursos hídricos de la cuenca Lerma-Chapala-Santiago. Capítulo Estado de México. Universidad Autónoma del Estado de México. 1a Ed. México. 184 pp.

Domínguez Serrano, Judith (Coord.) (2012). Proceso regional de las Américas. VI Foro Mundial del Agua. Hacia una buena gobernanza para la Gestión Integrada de los Recursos Hídricos. Documento de Posicionamiento: Meta 2.1 y 2.2. El Colegio de México y Grupo de Buena Gobernanza. 61 pp.

Estuardo-Cevallos, Gabriel; Roldan-Ruenes, Amílcar y Gómez-Luna, Liliana María (2015). *Identificación prospectiva de componentes en el proceso de gestión ambiental del Cantón la Concordia, Ecuador*. En: Ciencia en su PC. Núm. 3. Págs. 16-33.

Franco Plata, Roberto (2008). Concepción e implementación de un módulo hidrogeomático para la evaluación de disponibilidad de recursos hídricos. Tesis de Doctorado en Ingeniería. Centro Interamericano de Recursos del Agua, Universidad Autónoma del Estado de México. Toluca, Estado de México, México. 169 pp.

Franco-Plata, Roberto; Guerra-Cobián, Víctor H.; Manzano-Solís, Luis R.; Quentin, Emmanuelle; Bâ, Khalidou M.; Díaz-Delgado, Carlos (2006). *Extraction of physiographic parameters for a distributed hydrologic model through the implementation of a geomatic module*. En: 7th International Conference on Hydroinformatics. Nice, France. 8 pp.

Franzén, Frida; Hammer, Monica y Balfors, Berit (2015). Institutional development for stakeholder participation in local water management-An analysis of two Swedish catchments. En: Land Use Policy, 43(2015): 217-227.

- García, Enriqueta (1987). Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen (para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana). 4ª Ed. Offset Larios. México, D.F. 220 pp.
- Giacomelli, Andrea (2006). *Integration of GIS and simulation models*. En: GIS for sustainable development. Michele Campagna (editor). Taylor and Francis. EE.UU. Págs. 181-192.
- Gigch, John P. van (2006). Teoría general de sistemas. 3ª ed., reimpresión en 2007. Trillas. México. 607 pp.
- Global Water Partnership (2014). GWP strategy towards 2020. A water secure World. Global Water Partnership. Suecia.
- Global Water Partnership (GWP) e International Network of Basin Organizations (INBO) (2009). A Handbook for Integrated Water Resources Management in Basins. GWP-INBO, Elanders. Suecia. 103 pp.
- Godet, Michael (1993). De la anticipación a la acción. Manual de prospectiva y estrategia. Marcombo Boixareu Editores. España. 360 pp.
- Godet, Michael (1994). From anticipation to action. A handbook of strategic prospective. UNESCO Publishing. France. 283 pp.
- Godet, Michael (2000). La caja de herramientas de la prospectiva estratégica. 4ª ed. Cuaderno núm. 5. Gerpa-Electricité de France. Francia. 108 pp.
- Godet, Michael (2009). La prospectiva estratégica para las empresas y los territorios. Cuaderno del Lipsor. Serie de investigación No. 10, abril de 2009. 149 pp.
- Godet, Michael y Durance, Philippe (2011). Strategic foresight for corporate and regional development. UNESCO-DUNOD. Francia. 180 pp.
- Godet, Michel y Durance, Philippe (2009). La prospectiva estratégica para las empresas y los territorios. Cuaderno de Lipsor. Serie de Investigación No. 10. Abril de 2009. Laboratoire d'Innovation de Prospective Stratégique et d'Organisation. Paris. 149 pp.

- Gómez Albores, Miguel. Á. (2005). Desarrollo de una metodología geomática para la evaluación por subcuenca de indicadores de deficiencias en tratamiento de aguas residuales. Tesis de Maestría en Ciencias del Agua. Centro Interamericano de Recursos del Agua, Universidad Autónoma del Estado de México. Toluca, Estado de México, México. 150 pp.
- Gómez-Albores, Miguel A. (2012). Modelación geomática de medidas de frecuencia y de asociación, aplicada a enfermedades vinculadas con el agua. Tesis de Doctorado en Ciencias del Agua. Centro Interamericano de Recursos del Agua, Universidad Autónoma del Estado de México. Toluca, Estado de México, México. 161 pp.
- Goodstein, Leonard D.; Nolan, Timothy M. y Pfeiffer, J. William (1998). Planeación estratégica aplicada. Cómo desarrollar un plan que realmente funcione. McGraw-Hill. Santafé de Bogotá, Colombia. 442 pp.
- Grant, William E. y Swannack, Todd M. (2008). Ecological modeling. A common-sense approach to theory and practice. 1ª ed. Blackwell Publishing. EE.UU. 176 pp.
- Grant, William E.; Pedersen, Ellen K. y Marin, Sandra L. (1999). *Analysis and simulation of environmental systems*. En: Advances in sustainable development. Environmental indices. Systems analysis Approach. Pykh, Yuri A.; Hyatt, D. Eric y Lenz, Roman J.M. (editores). EOLSS Publishers Co. Ltd. Oxford, Reino Unido. Págs. 24-36.
- Guerra-Cobián, Víctor H.; Bâ, Khalidou M.; Quentin, Emmanuelle; Díaz-Delgado, Carlos; Franco-Plata, Roberto; Manzano-Solís, Luis. R. (2006). *Modelación hidrológica distribuida utilizando un mapa topográfico generado a partir de información de altitud obtenida por radar*. En: XXII Congreso Latinoamericano de Hidráulica. Ciudad Guayana, Venezuela. 10 pp.
- Guerrero-de León, Aída Alejandra; Gerristen, Petet R.W.; Martínez-Rivera, Luis Manuel; Salcido-Ruíz, Silvia; Meza-Rodríguez, Demetrio y Bustos-Santana, Humberto Rafael (2010). *Gobernanza y participación social en la gestión del agua en la microcuenca El Cangrejo, en el municipio de Navarro, Jalisco, México*. En: Economía, Sociedad y Territorio. Vol. X, No. 33. Págs. 541-567.

- Hernández Ávila, Mauricio (2007). *Epidemiología. Diseño y análisis de estudios*. Instituto Nacional de Salud Pública y Editorial Médica Panamericana. México, D.F. 385 pp.
- Howard, Tharon W. (2010). *Design to thrive. Creating social networks and online communities that last*. Elsevier-Morgan Kaufmann Publishers. EE.UU. 234 pp.
- Institut International d'Ingénierie de l'Eau et de l'Environnement [IIIEE] (2010). *Technical manual for the integrated water resources management*. Fondation 2iE. 147 pp.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía [INEGI] (2010). *Censo de población y vivienda 2010. Principales resultados por localidad. Conformación de la base de datos por localidad*. INEGI. México. 18 pp.
- Iñiguez Sepúlveda, Cesar Domingo (2010). *Uso y valor del recursos hídrico urbano. Sistema de agua potable en Culiacán, México*. En: *Revista Urbano*. Vol. 13, No. 21. Concepción, Chile. Págs. 41-47.
- Jacoby Brown, Michael (2006). *Building powerful community organizations. A personal guide to creating groups that can solve problems and change the World*. Long Haul Press. Estados Unidos de América. 392 pp.
- Johansen Bertoglio, Oscar (2012). *Introducción a la teoría general de sistemas*. 1ª ed. Limusa. Distrito Federal, México. 167 pp.
- Jordan, Gavin H. y Shrestha, Bhuban (1998). *Integrating Geomatics and participatory techniques for community forest management. Case studies the Yarsha Khola watershed, Dolakha district, Nepal*. Discussion Paper, series No. MNR 98/2. International Centre for Integrated Mountain Development. Nepal. 47 pp.
- Juan Pérez, José Isabel; Monroy Gaytán, José Francisco; Gutiérrez Cedillo, Jesús Gastón; Antonio Némiga, Xanat; Baderas Plata, Miguel Ángel (2009). *Los sistemas de barrancos mexicanos, un recurso potencial para el turismo alternativo. Caso de los Barrancos del río Calderón, Estado de México*. En: *El Periplo Sustentable*. No. 17, Julio-Diciembre 2009. Universidad Autónoma del Estado de México. Págs. 31-54.



- Kumar, Praveen; Alameda, Jay; Bajcsy, Peter; Folk, Mike y Markus, Momcilo (2006). *Hydroinformatics. Data integrative approaches in computation, analysis and modeling*. CRC, Taylor and Francis. EE.UU. 552 pp.
- Lalika, Makarius C.S.; Meire Patrick y Ngaga, Yonica M. (2015). Exploring watershed conservation and water governance along Pangani River Basin, Tanzania. En: *Land Use Policy*, 48(2015): 351-361.
- López Pérez, Mario (2005). *La situación de las cuencas en México*. En: *Problemas socioambientales y experiencias organizativas en las cuencas de México*. Vargas, Sergio y Mollard, Eric (editores). Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. 1ª Ed. México. Págs. 36-51.
- López-Sandoval, José Antonio; Koch, Stephen D.; Vázquez-García, Luis Miguel; Munguía-Lino, Guadalupe; Morales-Rosales, Edgar Jesús (2010). *Estudio florístico de la parte central de la barranca Nenetzingo, municipio de Ixtapan de la Sal, Estado de México*. En: *Polibotánica*. No. 30, septiembre de 2010. Departamento de Botánica, Instituto Politécnico Nacional. Págs. 9-33.
- Madsen, Mads N.; Hansen, Flemming T.; Loenborg, Michael J.; Poulsen, Robert N.; Vaitiekubiene, Jurgita y Paukstys, Bernardas (2005). *Tools for groundwater and surface water analysis during implementation of the Water Framework Directive in Lithuania*. En: *River basin management. Progress towards implementation of the European Water Framework Directive*. Lawson, John (Editor). Taylor and Francis. Gran Bretaña. Págs. 119-130.
- Manzano Solís, Luis R. (2007). *Diseño de base de geodatos censales demográficos e implementación geomática de indicadores e índices hídricos*. Tesis de Maestría en Ciencias del Agua. Centro Interamericano de Recursos del Agua, Universidad Autónoma del Estado de México. Toluca, Estado de México, México. 201 pp.
- Manzano-Solís, L. Ricardo & Gómez-Albores, Miguel Angel (2016). *Llena MID. Aplicación informática*.

- Martínez Austria, Polioptro F. y Reyna Guzmán, Fernando (2013). *Gobernanza del agua. Del concepto a la implementación*. 1ª ed. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. Jiutepec, Morelos, México. 124 pp.
- Mateo Rodríguez, José M. (2005). *La cuestión ambiental desde una visión sistémica*. En: Revista Ideas Ambientales. No. 2. Noviembre de 2005. Fortaleza, Brasil. 35 pp.
- McKinney, Deane C.; Cai, Ximing; Rosegrant, Mark W.; Ringler, Claudia y Scott, Christopher A. (1999). *Modeling water resources management at the basin level: review and future directions*. SWIM paper 6. International Water Management Institute. Sri Lanka. 59 pp.
- McMahan, Cheryl (2011). *Root cause analysis made easy. A guide for investigating errors and improving processes*. Cheryl McMahan. 38 pp.
- Miranda Vázquez, Carlos y Solares Hernández, Héctor (2009). *Desarrollo de una interfaz hidrogeomática para el cálculo de parámetros fisiográficos de una cuenca*. Tesis de Licenciatura en Geoinformática. Facultad de Geografía, Universidad Autónoma del Estado de México. Toluca, Estado de México, México. 105 pp.
- Mollard, Eric y Vargas, Sergio (2009). *La gestión integrada del agua: una crítica social*. En: *La gestión de los recursos hídricos: realidades y perspectivas*. Tomo 2. Vargas, Sergio; Soares, Denise; Pérez Peña, Ofelia; Ramírez, Ana I. (editores). Instituto Mexicano de Tecnología del Agua - Universidad de Guadalajara. 1a Ed. México. Págs. 111-127.
- Morrisey, George L. (1996a). *Planeando con Morrisey. Pensamiento estratégico. Construya los cimientos de su planeación*. Prentice-Hall Hispanoamericana, S.A. México. 119 pp.
- Morse, Stephen (2003). *Indices and indicators in development. AN unhealthy obsession with numbers*. Earthscan. EE.UU. 224 pp.
- Mukhtarov, Farhad G. (2008). *Intellectual history and current status of Integrated Water Resources Management: A global perspective*. En: *Adaptative and Integrated Water Management. Coping with Complexity and Uncertainty*. Pahl-Wostl; Kabat, Pavel; Möltgen, Jörn (editores). Springer. Alemania. Págs. 167-185.

- Newton, A.C.; Echeverría, C.; Cantarello, E. y Bolados G. (2011). *Projecting impacts of human disturbances to inform conservation planning and management in a dryland forest landscape*. En: Biological conservation No. 144. Elsevier Ltd. Págs. 1949-1960.
- Niederer, Sibylle; Kriz, Karel y Pucher, Alexander (2005). *Open source spatial decision support system for sustainable water management*. En: International Cartographic Conference. Tema 5: digital cartography and GIS for sustainable development of territories, session 3 “Land Management”. Coruña, España. Sin números de página.
- Niemeijer, David y Groot, Rudolf S. (2008). *A conceptual framework for selecting environmental indicators sets*. En: Ecological indicators. No. 8. Elsevier. Págs. 14-25.
- Okes, Duke (2009). *Root cause analysis. The core of problem solving and corrective action*. ASQ Quality Press. Wisconsin, EE.UU. 200 pp.
- Ordoñez Sierra, Raymundo (2015). *Modelado espacio temporal de desfase y amplitud de la variabilidad climática en la cuenca Lerma-Chapala-Santiago*. Tesis inédita del Centro Interamericano de Recursos del Agua. Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma del Estado de México.
- Ortiz Rendón, Gustavo A. y Espinosa Medel, Eduardo (2009). *Algunas reflexiones sobre la ley de aguas nacionales, sus modificaciones, alcances, limitaciones y retos para una efectiva gestión integrada del agua*. En: La gestión de los recursos hídricos: realidades y perspectivas. Tomo 2. Vargas, Sergio; Soares, Denise; Pérez Peña, Ofelia y Ramírez, Ana I. (editores). Instituto Mexicano de Tecnología del Agua - Universidad de Guadalajara. 1a Ed. México. Págs. 15-39.
- Pacheco-Vega, Raúl y Vega, Obdulia (2008). *Los debates sobre la gobernanza del agua: hacia una agenda de investigación en México*. En: La gestión de los recursos hídricos: realidades y perspectivas. Tomo 1. Soares, Denise; Vargas, Sergio y Nuño, María R. (editores). Instituto Mexicano de Tecnología del Agua - Universidad de Guadalajara. 1a Ed. México. Págs. 57-86.
- Pineda Pablos, Nicolás (2008). *Nacidos para perder dinero y derrochar agua. El inadecuado marco institucional de los organismos operadores de agua en México*. En: La gestión de los recursos hídricos: realidades y perspectivas. Tomo 1. Soares, Denise; Vargas,

- Sergio y Nuño, María R. (editores). Instituto Mexicano de Tecnología del Agua - Universidad de Guadalajara. 1a Ed. México. Págs. 121-150.
- Project Management Institute (2013). Guía de los fundamentos para la dirección de proyectos (Guía del PMBOK). 5ª ed. Project Management Institute. 589 pp.
- Quentin, Emmanuelle; Díaz-Delgado, Carlos; Gómez-Albores, Miguel Á.; Manzano-Solís, Luis R.; Franco-Plata, Roberto (2007). *Desarrollo geomático para la gestión integrada del agua*. En: Memorias de la XI Conferencia Iberoamericana de Sistemas de Información Geográfica (XI CONFIBSIG). Buenos Aires, Argentina. 21 pp.
- Quentin, Emmanuelle; Díaz-Delgado, Carlos; Uribe, María L.; Bâ, Khalidou M. (2004). Atlas hidrológico digital Curso Alto del Río Lerma. Versión 1.0. Laboratorio de Hidrogeomática, Centro Interamericano de Recursos del Agua, Universidad Autónoma del Estado de México.
- Quentin, Emmanuelle; Gómez Albores, Miguel Ángel; Díaz-Delgado, Carlos; Garrido Hoyos, Sofía Esperanza y Fall, Cheikh (2003). *Geomática aplicada a la relación entre calidad del agua y salud humana en las localidades del Estado de México*. En: Agua potable para comunidades rurales, reuso y tratamientos avanzados de aguas residuales domésticas. Díaz-Delgado, Carlos; Fall, Cheikh; Quentin, Emmanuelle; Jiménez Moleón, María del Carmen; Esteller Alberich, Ma. Vicenta; Garrido Hoyos, Sofía E.; López Vázquez, Carlos Manuel y García Pulido, Daury (editores). Red Iberoamericana de Potabilización y Depuración del Agua (RIPDA-CYTED) y Centro Interamericano de Recursos del Agua, Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma del Estado de México (CIRA-UAEM). Libro digital. México. Págs. 135-141.
- Rojas de Sarapura, Irma; Oré Rodríguez, María del Rosario; Candela Ayllón, Carmen y Aliaga Cubillas, Estela (2007). *Diagnóstico del saneamiento básico en el Distrito de Imperial, 2005-2006*. En: Revista peruana de obstetricia y enfermería. Vol. 3, No. 1. Perú. Págs. 19-30.
- Sandoval Minero, Ricardo y Navarrete Ramírez, Aurelio (2005). *El reto de consolidar la participación social en la gestión integral del agua. El caso de la cuenca Lerma Chapala*. En: Problemas socioambientales y experiencias organizativas en las cuencas

de México. Vargas, Sergio y Mollard, Eric (editores). Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. 1ª Ed. México. Págs. 52-63.

SARAR Transformación (2015). Metodología SARAR. SARAR Transformación.

Sgobbi, A. y Giupponi, C. (2007). *Models and decision support systems for participatory decision making in integrated water resource management*. En: Options Méditerranéennes: Série B. Etudes et Recherches. Lamaddalena, N.; Bogliotti, C.; Todorovic, M. y Scardigno, A. (editores). Núm. 56, vol. II. Valenzano, Italy. Págs. 259-271.

Snellen, W.B. y Schrevel, A. (2004). IWRM: for sustainable use of water. 50 years of international experience with the concept of integrated water management. Background document to the FAO/Netherlands Conference on Water for Food and Ecosystems. Ministerio de Agricultura, Naturaleza y Calidad Alimentaria. Holanda. 16pp.

Soares, Denise; Romero, Roberto y Benez, María C. (2009). *Las percepciones sobre el agua en la cuenca del río Amacuzac*. En: La gestión de los recursos hídricos: realidades y perspectivas. Tomo 2. Vargas, Sergio; Soares, Denise; Pérez Peña, Ofelia; Ramírez, Ana I. (editores). Instituto Mexicano de Tecnología del Agua - Universidad de Guadalajara. 1ª Ed. México. Págs. 216-237.

Sugumaran, Tamanathan y DeGrote, John (2011). Spatial decision support systems. Principles and practices. CRC Press. EE.UU. 469 pp.

Tracy, Brian (2013). Negotiation. The Brian Tracy success library. American Management Association. EE.UU. 102 pp.

Valencia Flores, Luis Manuel y Molina Martínez, Rubén (2013). Gestión del agua. Un reto gubernamental. 1ª Ed. H. Ayuntamiento de Morelia y Miguel Ángel Porrúa. México. 189 pp.

Van Koppen, Barbar; Chisaka, Jonathan y Sibande Shaba, Stalin (2009). Lessons learnt from the IWRM demonstration projects in Malawi, Mozambique, Swaziland and Zambia. International Water Management Institute. Sri Lanka. 22 pp.

Weiner, Daniel; Harris, Trevor M. y Craig, William J. (2002). *Community participation and geographic information systems. Introduction*. En: Community participation and Geographic Information Systems. Craig, William J.; Harris, Trevor M. y Weiner, Daniel (editores). Editorial Taylor and Francis. EE.UU. Págs. 3-15.

Wilson, John P.; Mitsova, Helena y Wright, Dawn J. (2000). *Water applications of Geographic Information Systems*. En: URISA Journal. Vol. 12, Núm. 2. Págs. 61-79.

Zepeda Mondragón, Francisco (2012). Diseño e implementación de un módulo informático de apoyo a la planeación estratégica participativa (PEP), aplicado a la Gestión Integrada de los Recursos Hídricos (GIRH). Tesis inédita de Maestría en Ciencias del Agua. Centro Interamericano de Recursos del Agua, Universidad Autónoma del Estado de México.

## 7.2. REFERENCIAS EN INTERNET

Antao da Silva, P.; Rocha, J.S.; Antunes, M.P.; Santos, R.F. y Borrego, D. (2005). *Sustainable river basin management: a dynamic model*. En: River Basin Management. Institution of Civil Engineers (ICE). Londres. Págs. 151-161.

Assimacopoulos, Dionysis (2012). *An Integrated Decision Support System for the evaluation of water management strategies*. En: [http://www.idswater.com/Common/Paper/Paper\\_15/An%20Integrated%20Decision%20Support%20System%20for%20the%20evaluation%20of%20water%20management%20strategies.htm](http://www.idswater.com/Common/Paper/Paper_15/An%20Integrated%20Decision%20Support%20System%20for%20the%20evaluation%20of%20water%20management%20strategies.htm). National Technical University of Athens. Fecha de consulta: 29 de enero de 2012.

Centro de Recursos Idrisi México (2013). *Distribución (de utilerías generales, agua, población y salud)*. En: <http://idrissi.uaemex.mx/index.php/distribucion>. Fecha de consulta: enero 2013.

Conradin, K., Kropac, M., Spuhler, D. (Eds.) (2010): *The SSWM Toolbox*. Basel: seecon international gmbh. URL: <http://www.sswm.info>. Fecha de consulta: abril de 2015.

Environmental Systems Research Institute [ESRI] (2016). *FAQ: What is the Jenks optimization method?* En: ESRI Support, <http://support.esri.com/technical-article/000006743> (12/27/2016).

Mayfield, Colín (2015). Introduction to IWRM. Centro Virtual de Aprendizaje del Agua. En: <http://www.yemenwater.org/wp-content/uploads/2013/03/Introduction-to-IWRM--History-and-Introduction-Capacity-bui.pdf>. Fecha de consulta: enero de 2015.

Zero Outflow Municipality [Zer0-M] (2012). *The Zer0-m Decision Support System for Sustainable Water Management*. En: <http://www.zer0-m.org/>. Fecha de consulta: 30 de diciembre de 2011.

### 7.3. FUENTES DE DATOS GEOESPACIALES

Comisión Nacional del Agua [CONAGUA] (2014). *Consulta a la base de datos del REPDA*. En: <http://www.conagua.gob.mx/Repda.aspx?n1=5&n2=37&n3=115>. Fecha de consulta: junio de 2014.

Consejo Nacional de Población [CONAPO] (2010). *Índice de marginación por localidad 2010*. En: [http://www.conapo.gob.mx/es/CONAPO/Indice\\_de\\_Marginacion\\_por\\_Localidad\\_2010](http://www.conapo.gob.mx/es/CONAPO/Indice_de_Marginacion_por_Localidad_2010). Fecha de consulta: junio 2014.

Instituto Nacional de Estadística y Geografía [INEGI] (1998a). *Cartas topográficas. Tenancingo*. En: <http://www3.inegi.org.mx/sistemas/biblioteca/ficha.aspx?upc=702825634964>. Fecha de consulta: junio de 2015.

Instituto Nacional de Estadística y Geografía [INEGI] (1998b). *Cartas topográficas. Tenango de Arista*. En: <http://www3.inegi.org.mx/sistemas/biblioteca/ficha.aspx?upc=702825635763>. Fecha de consulta: junio de 2015.

Instituto Nacional de Estadística y Geografía [INEGI] (1999). *Cartas topográficas. Ixtapan de la Sal*. En: <http://www3.inegi.org.mx/sistemas/biblioteca/ficha.aspx?upc=702825637996>. Fecha de consulta: junio de 2015.

Instituto Nacional de Estadística y Geografía [INEGI] (2009). *Cartas topográficas. Volcán Nevado de Toluca*. En: <http://www3.inegi.org.mx/sistemas/biblioteca/ficha.aspx?upc=702825717797>. Fecha de consulta: junio de 2015.

Instituto Nacional de Estadística y Geografía [INEGI] (2010a). *Censo de Población y Vivienda 2010. Principales resultados por localidad (ITER)*. En: [http://www.inegi.org.mx/sistemas/consulta\\_resultados/iter2010.aspx?c=27329&s=est](http://www.inegi.org.mx/sistemas/consulta_resultados/iter2010.aspx?c=27329&s=est). Fecha de consulta: junio 2014.

- Instituto Nacional de Estadística y Geografía [INEGI] (2010b). *Red Hidrográfica escala 1:50 000 edición 2.0*. En: [http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/rechnat/hidrologia/regiones\\_hidrograficas.aspx](http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/rechnat/hidrologia/regiones_hidrograficas.aspx). Archivo vectorial. Fecha de consulta: junio 2014.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía [INEGI] (2011). *Conjunto de datos vectoriales de Uso del Suelo y Vegetación. Escala 1:250 000, Serie V (Capa Unión)*. En: <http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/rechnat/usuarios/Default.aspx>. Archivo vectorial. Fecha de consulta: junio de 2015.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía [INEGI] (2014a). *Censo de población y vivienda 2010. Principales resultados por localidad (ITER)*. En: [http://www.inegi.org.mx/sistemas/consulta\\_resultados/iter2010.aspx?c=27329&s=est](http://www.inegi.org.mx/sistemas/consulta_resultados/iter2010.aspx?c=27329&s=est). Archivo tabular. Fecha de consulta: diciembre de 2014.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía [INEGI] (2014b). *Marco Geoestadístico 2014 (DENU 01/2015)*. En: [http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/geoestadistica/m\\_geoestadistico\\_2014.aspx](http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/geoestadistica/m_geoestadistico_2014.aspx). Fecha de consulta: diciembre 2014.
- United States Geological Survey [USGS] (2000). *EarthExplorer. SRTM*. En: <http://earthexplorer.usgs.gov/>. Fecha de consulta: junio de 2015.