



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MÉXICO
FACULTAD DE INGENIERÍA
CENTRO INTERAMERICANO DE RECURSOS DEL AGUA



**GESTIÓN DE RECURSOS HÍDRICOS EN IXTAPAN DE LA SAL MEDIANTE EL
USO DE LÓGICA DIFUSA**

TESIS

**QUE PARA OBTENER EL GRADO DE
DOCTOR EN CIENCIAS DEL AGUA**

PRESENTA:

M. en C. JORGE PAREDES TAVARES

DIRECTOR DE TESIS:

Dr. CARLOS ALBERTO MASTACHI LOZA

CODIRECTORES:

Dr. JOSÉ LUIS EXPÓSITO CASTILLO

Dr. MIGUEL ÁNGEL GÓMEZ ALBORES

Resumen

La falta de conocimiento sobre la distribución y manejo de los recursos hídricos a escala local y municipal es una de las barreras para la correcta implementación de la GIRH, ya que los problemas específicos de cada región no son identificados claramente; tal es el caso del municipio de Ixtapan de la Sal, cuya dinámica de crecimiento poblacional y económico producto de las actividades turísticas está relacionado fuertemente con el agua, sin embargo, presenta graves problemas de escasez.

Dentro de este marco, el objetivo principal de la investigación Identificar y ponderar mediante lógica difusa los indicadores que expliquen el estado de la Gestión Integrada de Recursos Hídricos a nivel localidad en el municipio de Ixtapan de la Sal considerando los sistemas ambiental, social y económico para identificar espacialmente las zonas que requieran atención prioritaria en términos de gestión. Para este fin, el primer paso del proceso metodológico consistió en la caracterización de los sistemas ambiental, social y económico identificando aquellas variables que posteriormente conformaron los indicadores que representan de mejor manera el comportamiento del sistema del agua del municipio el cual está representado por modelos conceptuales que muestran las interacciones entre dichos indicadores.

Una vez definidos los indicadores se procedió a su representación espacial a nivel localidad, lo cual permitió identificar su comportamiento y su área de influencia dentro del área de estudio. El siguiente paso consistió en determinar los valores máximos y mínimos de los indicadores y jerarquizarlos mediante un Proceso Analítico Jerárquico en el cual se consultó con expertos en gestión de recursos hídricos. Finalmente se utilizó el módulo Fuzzy del Software TerrSet, el cual generó cartografía que representa los indicadores con valores que se encuentran en un rango entre 0 y 1; la sobreposición de estos archivos generó un mapa final, en el que se identifican las localidades que requieren atención prioritaria para el fortalecimiento de indicadores que mejoren de forma significativa el estado del sistema del agua dentro del municipio.

Agradecimientos

Al CONACyT por el apoyo que permitió la realización de la presente Tesis.

Al Dr. Carlos Alberto Mastachi Loza, director de la Tesis, por su apoyo incondicional en todo momento.

A los doctores José Luís Expósito Castillo, Miguel Ángel Gómez Albores, María Vicenta Esteller Alberich, Héctor Martínez Valdes, Maribel Hernández Téllez, Roberto Franco Plata y al maestro Luis Ricardo Manzano Solís por todos los comentarios y observaciones realizados para la culminación del presente trabajo de tesis.

Al OPDAPAS de Ixtapan de la Sal que tuvo siempre una amable y pronta atención a nuestras solicitudes de información y salidas a campo. Un agradecimiento especial al Arq. Camilo Beltrán Ayala por su invaluable apoyo.

Al COMECyT por el apoyo económico que permitió concluir con la presente investigación.

A Mary, Emilio y Rebeca

Contenido

Introducción	1
Generalidades	1
Justificación	3
Objetivos	4
Objetivo general	4
Objetivos específicos	4
Capítulo 1 – Marco teórico.....	5
1.1 Gestión de recursos hídricos.....	5
1.1.1. ¿Cómo implementar la GIRH?	7
1.1.2. La GIRH como herramienta para la salud, equidad y el bienestar social.	10
1.2 El papel de los indicadores en la GIRH	12
1.2.1. Indicadores de gestión de recursos hídricos en México.	16
1.2.2. Selección de indicadores.	19
1.2.3 El tema de las escalas en los indicadores hídricos	21
1.3. El análisis multicriterio para la toma de decisiones en la GIRH	25
1.3.1 El Proceso Analítico Jerárquico para la toma de decisiones	26
1.3.2 El uso de lógica difusa para la toma de decisiones	29
1.4.1. Conjuntos difusos	31
1.4.2. Funciones de pertenencia	32
1.4.3. Variables lingüísticas	33
1.4.4. Términos lingüísticos	33
1.4.5. Universo de discurso	35
1.4.6. Otros elementos de los conjuntos difusos	36
1.4.7. Reglas difusas	37
1.4.7. Agregación de las salidas y Defuzificación	39

Capítulo 2 – Metodología.....	41
2.1 Caracterización de los sistemas ambiental, económico y social.....	44
2.1.1 Sistema ambiental	45
2.1.2 Sistema económico.....	48
2.1.3 Sistema social	48
2.2. Definición de variables	51
2.3. Selección de indicadores	53
2.4 Espacialización de indicadores	57
2.5. Determinación de máximos y mínimos de indicadores	59
2.6. Ponderación de indicadores.....	60
2.7. Proceso Fuzzy-AHP aplicado a indicadores	62
Capítulo 3 – Caracterización del área de estudio	66
3.1 Caracterización ambiental.....	67
3.1.1. Clima	67
3.1.2. Hidrología superficial.....	68
3.1.3. Modelo de aprovechamiento del agua superficial.....	69
3.1.4. Geología regional y estructural	74
3.1.5. Unidades hidrogeológicas	83
3.1.6. Esquema hidrogeológico	88
3.1.7. Modelo conceptual del sistema ambiental del agua	107
3.2 Caracterización económica	110
3.2.1. Producto Interno Bruto	110
3.2.2. Ocupación de la Población	112
3.2.3. Inversión en desarrollo económico y social	116
3.2.4. Modelo conceptual del sistema económico del agua	117
3.3 Caracterización social.....	121
3.3.1 Conformación cultural por el aprovechamiento de los recursos hídricos termales ..	121
3.3.2. Población	128

3.3.3. Marginación y desarrollo humano	132
3.3.4. Acceso al agua	138
3.3.5. Modelo conceptual del sistema social del agua	147
Capítulo 4 - Construcción del índice de gestión municipal	152
4.1 Selección de indicadores	152
4.1.1. Conexiones entre modelos conceptuales	152
4.2 Determinación de máximos y mínimos de indicadores	158
4.3 Jerarquización de indicadores mediante la aplicación de lógica difusa.	161
4.4 Análisis espacial de los indicadores de gestión	164
4.5.1. Análisis espacial de los indicadores ambientales	164
4.5.2. Análisis espacial de los indicadores sociales.....	169
4.5.3. Análisis espacial de los indicadores económicos	174
Capítulo 5 – Conclusiones	182
Bibliografía	185
Anexos.....	190

Índice de figuras

Capítulo 1

Figura 1.1. Pilares que conducen a la sostenibilidad.....	7
Figura 1.2. El ciclo de la gestión, planificación e implementación de la GIRH	8
Figura 1.3. El ciclo de la gestión, planificación e implementación de la GIRH	9
Figura 1.4. Nivel creciente de agregado de información	14
Figura 1.5. Integración entre indicadores sociales, económicos y ambientales	15
Figura 1.6. Marco jurídico y normativo relacionado con la GIRH en México	17
Figura 1.7. Modelo Presión – Estado -Respuesta	19
Figura 1.8. Variables a considerar en el proceso de la GIRH	20
Figura 1.9. Escalas y niveles internos relevantes en la GIRH	22
Figura 1.10. Impacto natural y humano en función de la escala de las cuencas	23
Figura 1.11. Diagrama de flujo de Proceso Analítico Jerárquico.....	28
Figura 1.12. Diferenciación entre lógica clásica y lógica difusa	31
Figura 1.13. Conjunto borroso del término lingüístico “mucho ruido”.	32
Figura 1.14. Funciones de pertenencia más comunes en lógica difusa	33
Figura 1.15. Tipo de modificadores lingüísticos.	34
Figura 1.16. Ejemplo del uso de modificadores lingüísticos.	34
Figura 1.17. Universo de discurso de la variable lingüística “Altura de una persona”.	35
Figura 1.18. Elementos de conjuntos difusos.....	37
Figura 1.19. Corte y escalado de una regla difusa.....	38
Figura 1.20. Agregación de respuestas en lógica difusa.....	39
Figura 1.21. Proceso de defuzificación para la obtención de un valor único de salida.	40

Capítulo 2

Figura 2.1. Etapas de Reconocimiento, Identificación y Conceptualización en el ciclo de la gestión, planificación e implementación de la GIRH	41
Figura 2.2. Esquema metodológico.	43
Figura 2.3. Equipo utilizado en mediciones de campo.....	46
Figura 2.4. Muestreo del agua termal.....	47
Figura 2.5. Diferencia entre variable, indicador e índice	51
Figura 2.6. Modelo interpretativo de relaciones.....	54
Figura 2.7. Proceso metodológico de la etapa de documentación de la GIRH	55
Figura 2.8. Proceso para ordenar las variables dentro de los modelos conceptuales	56

Figura 2.9. Proceso para la selección de indicadores	57
Figura 2.10. Malla de 1 km ² para dividir el territorio municipal de Ixtapan de la Sal.....	58
Figura 2.11. Conjunto difuso.....	59
Figura 2.12. Términos lingüísticos del universo de discurso “Grado de importancia”.....	61
Figura 2.13. Función de pertenencia y rangos máximos y mínimos dentro del módulo Multi-criteria Decision Making del software IDRISI.....	62
Figura 2.14. Asignación de pesos para cada indicador fuzificado.....	63
Figura 2.15. Proceso de la evaluación multicriterio para el sistema económico del agua.....	63
Figura 2.16. Ponderación de los sistemas Ambiental, Social y Económico.....	64
Figura 2.17. Esquema general del proceso fuzzy-AHP aplicado a los indicadores dentro del software IDRISI.....	65

Capítulo 3

Figura 3.1. Ubicación del área de estudio.....	66
Figura 3.2. Red hidrográfica.....	69
Figura 3.3. Canal Federal para concesionarios del agua.....	70
Figura 3.4. Distribución del caudal concesionado en Ixtapan de la Sal.....	71
Figura 3.5. Planta potabilizadora en Ixtapan de la Sal.....	71
Figura 3.6. Bordo para almacenamiento de agua en Ixtapan de la Sal.....	72
Figura 3.7. Modelo conceptual del agua superficial en Ixtapan de la Sal.....	73
Figura 3.8. Secuencia estratigráfica de la zona de estudio (Juan, 1994).....	75
Figura 3.9. Geología regional de la zona de estudio.....	78
Figura 3.10. Corte A – A’ del mapa geológico regional de la zona de estudio.....	81
Figura 3.11. Corte B – B’ del mapa geológico regional de la zona de estudio.....	81
Figura 3.12. Corte C – C’ del mapa geológico regional de la zona de estudio.....	82
Figura 3.13. Unidades hidrogeológicas.....	85
Figura 3.14. Ubicación de manantiales visitados en campo.....	89
Figura 3.15. Ubicación y entorno del manantial Laguna Verde.....	90
Figura 3.16. Ubicación y entorno del manantial del Parque Acuático Ixtapan.....	91
Figura 3.17. Ubicación y entorno del manantial del Balneario Municipal de Ixtapan de la Sal I.....	92
Figura 3.18. Ubicación y entorno del manantial del Balneario Municipal de Ixtapan de la Sal II.....	93
Figura 3.19. Ubicación y entorno de los manantiales Agua Amarga.....	93
Figura 3.20. Ubicación y entorno del manantial El Carrizal.....	94
Figura 3.21. Ubicación y entorno del manantial Ixtamil.....	95
Figura 3.22. Manantial de agua dulce Ixtamil.....	96
Figura 3.23. Ubicación y entorno del manantial Baños del Obispado.....	96
Figura 3.24. Ubicación y entorno del manantial Olincalli.....	97
Figura 3.25. Ubicación y entorno del manantial del Balneario Municipal de Tonatico.....	98

Figura 3.26. Valores de temperatura del agua de los manantiales (°C).....	100
Figura 3.27. Bebedero de agua termal en Ixtapan de la Sal.....	102
Figura 3.28. Gráfica de piper del agua termal de Ixtapan de la Sal.....	103
Figura 3.29. Mapa geológico, mostrando en planta el segmento D – D’.....	105
Figura 3.30. Corte D – D’ del mapa geológico regional de la zona de estudio.....	106
Figura 3.31. Esquema conceptual del flujo termal.....	106
Figura 3.32. Modelo conceptual del sistema ambiental del agua en Ixtapan de la Sal.	109
Figura 3.33. Gráfico comparativo del PIB per cápita de Ixtapan de la Sal	110
Figura 3.34. Porcentaje de PEA contra porcentaje de PIB en Ixtapan de la Sal por sectores.	111
Figura 3.35. Valor Agregado Censal Bruto de Ixtapan de la Sal en el periodo 1998-2008.	112
Figura 3.36. Población Económicamente Activa en Ixtapan de la Sal periodo 1990-2010.....	113
Figura 3.37. Porcentaje de pea en Ixtapan de la Sal en el año 2010.....	114
Figura 3.38. Porcentaje de PEAO en Ixtapan de la Sal en el año 2010.....	115
Figura 3.39. Distribución de la inversión en desarrollo económico en Ixtapan de la Sal 2010..	116
Figura 3.40. Distribución de la inversión en desarrollo social en Ixtapan de la Sal en el año 2010 en función de la distribución per cápita	117
Figura 3.41. Modelo conceptual del sistema económico del agua en Ixtapan de la Sal.....	120
Figura 3.42. Montículos en el sitio El Salitre.	122
Figura 3.43. Ubicación de montículos en el sitio El Salitre.....	123
Figura 3.44. Zonificación del sitio El Salitre.	124
Figura 3.45. Melgas en el sitio El Salitre.	125
Figura 3.46. Melgas en el sitio El Salitre.	125
Figura 3.47. Ubicación de localidades y AGEBA en Ixtapan de la Sal	129
Figura 3.48. Tasa de crecimiento poblacional en Ixtapan de la Sal	131
Figura 3.49. Proyecciones de la población en Ixtapan de la Sal	131
Figura 3.50. Mapas de: a) Porcentaje de habitantes sin derechohabencia a servicios de salud y b) Porcentaje de viviendas con piso de tierra en Ixtapan de la Sal	136
Figura 3.51. Mapas de: a) Porcentaje de viviendas sin acceso a sanitario y b) Porcentaje de viviendas sin acceso a agua entubada en Ixtapan de la Sal.....	137
Figura 3.52. Mapas de: a) Porcentaje de viviendas sin acceso a drenaje y b) Porcentaje de viviendas sin acceso a energía eléctrica en Ixtapan de la Sal	137
Figura 3.53. Manguera para extracción de agua del canal a cielo abierto	138
Figura 3.54. Tubería destinada para la protección del canal	139
Figura 3.55. Reunión con funcionarios de gobierno y habitantes de Ahuacatitlán	139
Figura 3.56. a) Gráfico que indica el conocimiento que tiene la población de las fuentes de abastecimiento en Ixtapan de la Sal, b) Gráfico que muestra el número de días por semana que la población tiene suministro de agua.....	140

Figura 3.57. Porcentaje de encuestados que considera que el suministro de agua es suficiente para sus necesidades y que la tarifa del servicio de agua es suficiente para sus necesidades..	141
Figura 3.58. Percepción del desempeño del OPDAPAS por parte de los encuestados, y la eficiencia de los canales de comunicación entre el OPDAPAS y la población.....	141
Figura 3.59. Opinión de los encuestados acerca del sector que debería tener prioridad para el abastecimiento de agua.....	142
Figura 3.60. Mapa de actores del agua en el municipio de Ixtapan de la Sal.	143
Figura 3.61. Manantial usado para consumo humano en la localidad de Ahuacatlán.....	145
Figura 3.62. Manantiales de agua dulce dentro del municipio de Ixtapan de la Sal.....	146
Figura 3.63. Zona de influencia de 1 km de radio de las localidades de Ixtapan de la Sal.....	147
Figura 3.64. Modelo conceptual del sistema social del agua en Ixtapan de la Sal.	151

Capítulo 4

Figura 4.1. Sistema ambiental del agua y su relación con los sistemas económico y social.....	154
Figura 4.2. Sistema económico del agua y su relación con los sistemas ambiental y social.....	155
Figura 4.3. Sistema social del agua y su relación con los sistemas ambiental y económico.	156
Figura 4.4. Mapas de indicadores fuzificados del sistema ambiental.....	166
Figura 4.5. Mapa ponderado del sistema ambiental.	168
Figura 4.6. Mapas de indicadores fuzificados del sistema social.	171
Figura 4.7. Mapa ponderado del sistema social.....	173
Figura 4.8. Mapas de indicadores fuzificados del sistema económico.	176
Figura 4.9. Mapa ponderado del sistema económico.....	177
Figura 4.10. Mapa del estado de la GIRH en Ixtapan de la Sal.....	179

Índice de cuadros

Capítulo 1

Cuadro 1.1. Indicadores para la GIRH en 50 ciudades mexicanas.....	18
Cuadro 1.2. Escala básica de comparación por pares en AHP.....	27
Cuadro 1.3. Rangos de términos lingüísticos para la variable “Altura de una persona”.....	35

Capítulo 2

Cuadro 2.1. Contenido resumido de la encuesta aplicada a los usuarios del agua potable.	49
Cuadro 2.2. Formato para la organización de variables.	52
Cuadro 2.3. Diseño de cuadro comparativo de indicadores.	60
Cuadro 2.4. Términos lingüísticos y valores asignados en las matrices de decisión.	61

Capítulo 3

Cuadro 3.1. Manantiales analizados en campo.	98
Cuadro 3.2. Valores obtenidos a partir de mediciones de campo.	100
Cuadro 3.3. Valores de concentración cationes de en los manantiales.	101
Cuadro 3.4. Valores de concentración de aniones en los manantiales.....	101
Cuadro 3.5. Sistema FLOA con las variables ambientales del agua.....	108
Cuadro 3.6. PEAO por sector económico en Ixtapan de la Sal para los años 2000 y 2010.	114
Cuadro 3.7. Sistema FLOA con las variables económicas del agua.	118
Cuadro 3.8. Valores obtenidos a partir de mediciones de campo.	128
Cuadro 3.9. Valores obtenidos a partir de mediciones de campo.	130
Cuadro 3.10. Grado de marginación a nivel localidad del municipio de Ixtapan de la Sal.....	133
Cuadro 3.11. Factores del índice de Marginación a nivel municipal y su porcentaje.	134
Cuadro 3.12. Porcentaje de acceso a servicios en el municipio de Ixtapan de la Sal.....	135
Cuadro 3.13. Concesiones de agua en el municipio de Ixtapan de la Sal.....	144
Cuadro 3.14. Sistema FLOA con las variables sociales del agua.	148

Capítulo 4

Cuadro 4.1. Indicadores seleccionados para los sistemas ambiental, social y económico.....	157
Cuadro 4.2. Parámetros definidos para los indicadores de los sistemas del agua.....	159
Cuadro 4.3. Valores ponderados de los indicadores de los sistemas.....	162

Lista de siglas y acrónimos

AGEB	Área Geoestadística Básica
AHP	Proceso Analítico Jerárquico
CAEM	Comisión del Agua del Estado de México
CANACO	Cámara Mexicana de la Industria de la Construcción
CEAS	Comisión Estatal de Alcantarillado y Saneamiento
CONAGUA	Comisión Nacional del Agua
CONAPO	Consejo Nacional de Población
FAO	Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura
FLOA	Fortalezas Limitaciones Oportunidades Amenazas
GEM	Gobierno del Estado de México
GIRH	Gestión Integrada de los Recursos Hídricos
GWP	Global Water Partnership
IGECEM	Instituto de Información e Investigación Geográfica, Estadística y Catastral
IHP	International Hydrological Programme
INAH	Instituto Nacional de Antropología e Historia
INBO	International Network of Basin Organizations
INE	Instituto Nacional de Ecología
INEGI	Instituto Nacional de Estadística y Geografía
IRWM	Integrated Water Resources Management
LAN	Ley de Aguas Nacionales
LGEEPA	Ley General de Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente
OCDE	Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico
OD	Oxígeno Disuelto
ONG	Organización No Gubernamental

ONU	Organización de las Naciones Unidas
OOPAS	Organismo Operador de Agua Potable y Saneamiento
OPDAPAS	Organismo Público Descentralizado de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento
PEA	Población Económicamente Activa
PEAO	Población Económicamente Activa Ocupada
PIB	Producto Interno Bruto
PNUD	Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo
PNUMA	Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente
REPDA	Registro Público de Derechos del Agua
SDT	Sólidos Disueltos Totales
SECTUR	Secretaría de Turismo
SEIEM	Sistema de Información Empresarial Mexicano
SEMARNAP	Secretaría del Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca
SERVYTUR	Cámara Mexicana de la Industria de la Construcción
SIG	Sistemas de Información Geográfica
SIMBAD	Sistema Municipal de Base de Datos
UNESCO	Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura
UNDP	United Nations Development Programme
VACB	Valor Agregado Censal Bruto
WMO	World Meteorological Organization
WWB	Banco Mundial
WWC	World Water Council
WWAP	World Water Assessment Programme
WHO	Organización Mundial de la Salud

Introducción

GENERALIDADES

Desde que se desarrollaron las primeras civilizaciones, el progreso de la sociedad ha estado ligado inherentemente al acceso a los recursos hídricos, ya sea para impulsar actividades agrícolas y ganaderas, como para implementar rutas comerciales entre diversas ciudades en todo el mundo. En la actualidad, el acceso a fuentes de agua sigue siendo un factor fundamental para el crecimiento de la sociedad, su expansión territorial y fortalecimiento económico; sin embargo, la disponibilidad de este recurso para el consumo y aprovechamiento ha disminuido considerablemente a través del tiempo.

En décadas pasadas se tenía la concepción de que el agua era un recurso renovable e ilimitado, y que su administración consistía en “dominarlo y controlarlo” (Aboites, 2004) no obstante, en épocas recientes esta concepción ha cambiado; el crecimiento poblacional y la concentración de núcleos urbanos hacen necesario obtener un mayor volumen de agua de fuentes diversas, este suceso ejerce una presión constante sobre dicho recurso.

Ante esta realidad, los gobiernos del mundo han expresado su preocupación por encontrar medidas de control que ayuden a frenar el constante deterioro de los recursos hídricos; una de estas respuestas es la implementación de modelos de Gestión Integrada de Recursos Hídricos (GIRH) a escala nacional, regional y local, que de acuerdo con la Organización de las Naciones Unidas (ONU) son indispensables para frenar la explotación no sustentable del agua (ONU, 2000).

A escala nacional y regional, en México se han adoptado y consumado diversos esfuerzos para conocer el estado de los recursos hídricos, ajustándose a los tiempos y a las situaciones propias de cada región geográfica del país, hasta formular planes y proyectos a largo plazo bastante completos como por ejemplo la Agenda del Agua 2030 (CONAGUA, 2011a), los reportes de estadísticas del agua en México donde se hace un diagnóstico del estado de las aguas nacionales (CONAGUA, 2009a; CONAGUA, 2011b; CONAGUA, 2013), y estadísticas y proyectos por cada una de las regiones hidrológicas (CONAGUA, 2008; Batllori *et al.*, 2006).

Sin embargo, es a nivel municipal donde se cuenta con potencialidades para superar los rezagos en el tema de los recursos hídricos, donde *“las autoridades municipales pueden asumir un papel más activo y protagónico”*, ya que *“hay una corresponsabilidad ineludible entre la sociedad y el estado”* (AGUA.org, 2013).

En la presente investigación se buscó establecer un método que permita identificar y ponderar indicadores de los sistemas ambiental, social y económico del agua, que a su vez puedan ser representados espacialmente a nivel local, esto permitirá realizar diagnósticos integrados con identificación de áreas prioritarias para manejo y toma de decisiones en el municipio de Ixtapan de la Sal, localizado al sur del Estado de México.

JUSTIFICACIÓN

En México se cuenta con diagnósticos y proyectos bastante robustos a nivel nacional y regional sobre el aprovechamiento y cuidado de los recursos hídricos, sin embargo, es en la aplicación a nivel local donde muchos de estos esfuerzos se ven frenados en su desarrollo ya que cada localidad tiene una necesidad y relación diferente con el agua, por ende, requiere planes y acciones específicas.

En contraste, la coordinación entre los distintos niveles de gobierno observada en otros países pone de manifiesto la asignación de las mayores responsabilidades en términos de gestión del agua a los gobiernos locales (Boyd, 2003), tema que en Centroamérica ha ido tomando preponderancia a partir de los procesos de descentralización de gestión ambiental realizados por sus gobiernos (Astorga, 2013).

Una de las barreras para la implementación de la GIRH a nivel local es la falta de indicadores adecuados a esta escala, esto se debe a que una buena parte de la información disponible para su construcción se genera a nivel municipal y no a nivel de localidades. Como resultado, el proceso de diagnóstico de los sistemas ambiental, económico y social no se desarrolla al nivel de detalle deseado, situación que no permite la identificación puntual de los sitios que requieren una atención prioritaria para problemas específicos.

Esta situación deriva en una falta de conocimiento completo sobre el funcionamiento del sistema hídrico en regiones que tienen problemas específicos, tal es el caso del municipio de Ixtapan de la Sal, el cual presenta una relación particular con el agua, ya que su principal fuente de abastecimiento no se encuentra dentro de sus límites administrativos, lo cual ha enfrentado a la población a serias limitantes de acceso al agua en cantidad y calidad; pero a su vez, el desarrollo económico está estrechamente ligado a actividades turísticas recreativas que requieren una abundancia importante de agua.

Debido a lo anterior, surge la necesidad de identificar y ponderar indicadores útiles para la GIRH en Ixtapan de la Sal que permitan llevar a cabo un análisis espacial y temporal a escala local, haciendo uso de información estadística generada por organismos gubernamentales, con el fin de identificar las áreas dentro de los sistemas ambiental, económico y social que requieren atención en aspectos específicos, sirviendo así como herramienta para que los tomadores de decisiones ejerzan acciones dirigidas dentro del municipio.

OBJETIVOS

Objetivo general

Identificar y ponderar mediante lógica difusa los indicadores que expliquen el estado de la Gestión Integrada de Recursos Hídricos a nivel localidad en el municipio de Ixtapan de la Sal considerando los sistemas ambiental, social y económico para identificar espacialmente las zonas que requieran atención prioritaria en términos de gestión.

Objetivos específicos

El objetivo general se desglosa en los siguientes objetivos específicos:

- Recopilar, analizar, depurar y estructurar la información disponible del área de estudio relacionada con la temática de trabajo, para conocer de manera detallada el estado del recurso.
- Identificar a los actores y variables principales que tienen injerencia en el proceso de gestión de los recursos hídricos en Ixtapan de la Sal para generar modelos conceptuales que expliquen la dinámica de los sistemas ambiental, económico y social.
- Definir y jerarquizar indicadores para los sistemas ambiental, social y económico de la zona de estudio mediante la aplicación de métodos multicriterio y lógica difusa.
- Representar espacialmente los indicadores obtenidos mediante el uso de Sistemas de Información Geográfica y así identificar las localidades más vulnerables a contar con recursos hídricos adecuados en calidad y cantidad, para con ello obtener propuestas de manejo del recurso agua.

Capítulo 1 – Marco teórico

En este apartado se muestra la evolución a través del tiempo de los estudios relacionados con la Gestión de Recursos Hídricos, la representación espacial de indicadores hídricos y la lógica difusa para la toma de decisiones.

1.1 GESTIÓN DE RECURSOS HÍDRICOS

De acuerdo con UNESCO (2006), la planificación y gestión hídrica mundial tiene grandes desafíos debido al incremento de presión en los sistemas hídricos. La planificación hidrológica debería ser el camino por el cual llegar a la gestión y un requisito legal en el que se definan los objetivos generales para conseguir el buen estado y la adecuada protección del agua, la satisfacción de las demandas y el equilibrio y armonización del desarrollo regional. Estos objetivos pueden alcanzarse incrementando las disponibilidades del recurso, protegiendo su calidad, economizando su empleo y racionalizando sus usos protegiendo el medio ambiente y los demás recursos naturales (Molina, 2009).

El concepto de análisis integrado de la gestión del agua (IRWM por sus siglas en inglés) emana de los “buenos principios de gestión hídrica” que defienden numerosos organismos internacionales y que han sido refrendados en diversos simposios y eventos internacionales celebrados en diversas partes del mundo como la Conferencia de Naciones Unidas celebrada en Mar del Plata (UNDP, 1977), la Conferencia Internacional sobre Agua y Desarrollo celebrada en Dublín (WMO, 1992) y La Cumbre de la Tierra (UNDP, 1992). Esta serie de eventos termina por darle forma al término GIRH, el cual surge como un intento de resolver e impedir problemas o crisis relacionadas con el agua basada fundamentalmente en cuatro principios (Moriarty *et al.*, 2006):

- I. El agua dulce es un recurso finito y vulnerable, esencial para sostener la vida, el desarrollo y el medio ambiente.
- II. El desarrollo y la gestión del agua debe basarse en un enfoque participativo, involucrando a los usuarios, los planificadores y los responsables de las decisiones a todos los niveles.
- III. La mujer desempeña un papel fundamental en el abastecimiento, la gestión y la protección del agua.

- IV. El agua tiene un valor económico en todos sus diversos usos en competencia y debería reconocérsele como un bien económico.

A partir de estas bases, diversas organizaciones han sido creadas para tratar temas concernientes al manejo del agua y abrir foros de debate al respecto, tal es el caso del Consejo Mundial del Agua (WWC por sus siglas en inglés) y el Banco Mundial (WMB por sus siglas en inglés). Sin embargo, a pesar de los esfuerzos observados en las dos últimas décadas los antecedentes de la GIRH son recientes, lo que implica que el concepto aún se encuentra en desarrollo.

No obstante, la investigación mundial de los planes de GIRH realizada por ONU-Agua arrojó que para el 2008 16 de los 27 países desarrollados y 19 de los 77 países en desarrollo que fueron investigados, habían desarrollado planes de GIRH en forma parcial o total, concluyendo que *"existen buenos indicios de que se está incorporando el enfoque de GIRH en los planes y estrategias nacionales y que los beneficios tangibles son evidentes o bien tienen probabilidad de obtenerse en el futuro cercano"* (GWP e INBO, 2009).

A lo largo del tiempo se han generado diversas definiciones de GIRH, siendo hasta la fecha la elaborada por el Comité de Asesoramiento Técnico de (GWP por sus siglas en inglés) la que ha logrado mayor aceptación (WWP, 2000): *"La Gestión Integrada de los Recursos Hídricos (GIRH) se puede definir como un proceso que promueve la gestión y el desarrollo coordinados del agua, la tierra y los recursos relacionados, con el fin de maximizar el bienestar social y económico resultante de manera equitativa, sin comprometer la sostenibilidad de los ecosistemas vitales"* (WWP, 2000).

La GIRH busca el fortalecimiento de los esquemas de gobernabilidad del agua para promover la buena toma de decisiones en respuesta a necesidades y situaciones cambiantes, al respecto, un concepto que resulta fundamental para la comprensión de la GIRH es el de **"Integración"**, por medio del cual se explica que muchos problemas de la gestión hídrica requieren soluciones holísticas (Prato y Fulcher, 1998), al respecto Anderies *et al.* (2004) estipulan que en un proceso de co-evolución, los sistemas humanos y los ecosistemas se han ido moldeando y adaptando conjuntamente, convirtiéndose en un sistema integrado de humanos en la naturaleza denominado sistema socio-ecológico o **socio-ecosistema**, a partir del cual no se debe entender a los humanos y las especies como entidades independientes, sino como la conformación de un sistema integrado y unitario, teniendo al agua como elemento articulador de dichos sistemas. En definitiva, para alcanzar el equilibrio necesario, los impactos de las decisiones deben ser evaluados de una forma global y del resultado del balance se podrán tomar decisiones con el mayor grado de consenso.

Es debido a lo anterior que en la búsqueda de soluciones adecuadas para la problemática del agua los tomadores de decisiones se ven forzados a considerar tres sistemas fundamentales: el

ambiental, el social y el económico y sus respectivas interrelaciones, ya que no se puede entender un sistema sin la influencia de sus pares, pues una de las principales causas de la alteración de los ecosistemas ha sido la actividad antrópica impulsada por factores económicos, por otro lado, desde el punto de vista social existen también claras evidencias de que los cambios en los ecosistemas están repercutiendo directa o indirectamente sobre el bienestar humano, ya que al comprometerse su funcionamiento se afecta su capacidad de generar beneficios esenciales para la sociedad (Martín *et al.*, 2009), con lo que se pone de manifiesto las estrechas relaciones entre la biodiversidad, el funcionamiento de los sistemas económicos y el bienestar social (EM, 2003).

1.1.1. ¿Cómo implementar la GIRH?

Se puede establecer un marco general basado en los principios de Dublín y en los tres pilares que conducen a la sostenibilidad: **eficiencia económica, sostenibilidad ambiental y equidad social** (Figura 1.1); estas tres áreas de acción son esenciales para implementar la GIRH y promover ajustes en todas las etapas del sistema de gestión y planificación de los recursos hídricos buscando en todo momento un uso sostenible del agua (Cap-Net, 2010).

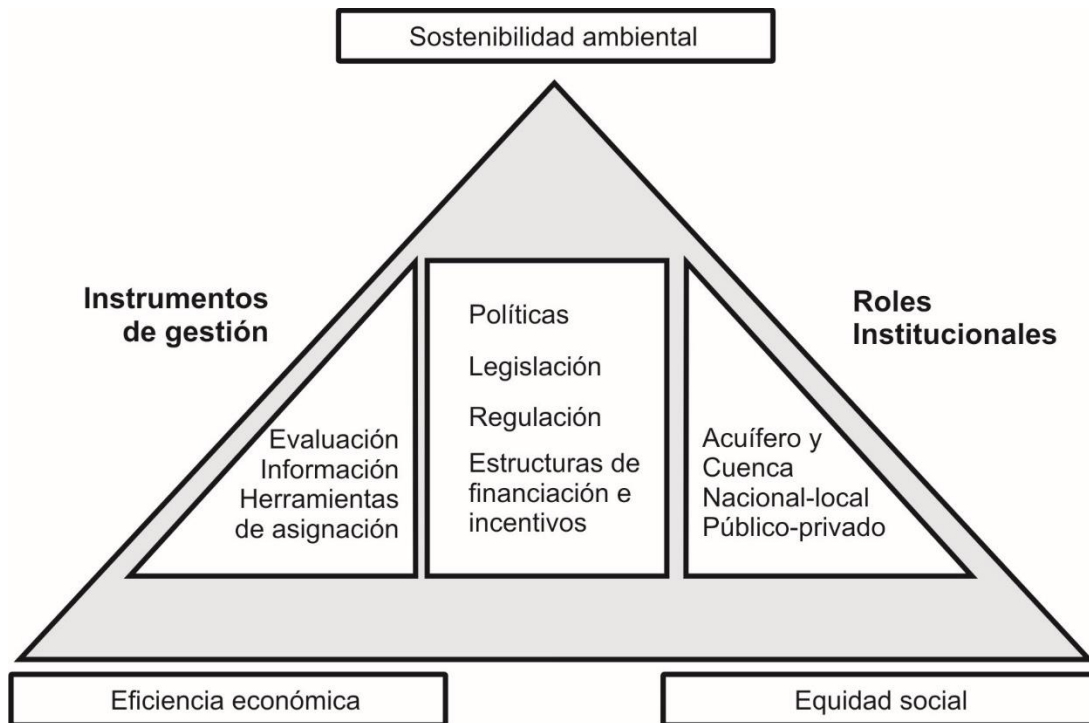


Figura 1.1. Pilares que conducen a la sostenibilidad. **Fuente:** (Cap-Net, 2010).

La implementación de la GIRH se lleva a cabo a través de un proceso gradual que en un principio se concibió como un ciclo continuo de diversas etapas (Figura 1.2) en las que se analizan las problemáticas particulares de una zona de estudio, se desarrolla un plan basándose en los objetivos y estrategias, cuya implementación es evaluada y monitoreada continuamente con miras a lograr proceso que permite la gestión coordinada del agua, el suelo y los recursos asociados dentro de los límites de una cuenca para optimizar y compartir equitativamente el resultante bienestar socio-económico sin comprometer la salud de ecosistemas vitales a largo plazo (GWP e INBO, 2009).

En cada uno de estas etapas, existe una participación activa de los actores que tienen injerencia en el manejo y uso de los recursos hídricos; en este proceso algunos cambios tienen lugar inmediatamente y otros requieren varios años de planeación y creación de habilidades (Cap-Net, 2008).



Figura 1.2. El ciclo de la gestión, planificación e implementación de la GIRH. **Fuente:** (GWP e INBO, 2009).

La visión de ciclo de la GIRH se ha adaptado para concebirse ahora como un proceso de espiral (Figura 1.3) en lugar de un ciclo cerrado (UNESCO e IHP, 2009); en este modelo los principios de la gestión y sus objetivos evolucionan con el tiempo, en función de los cambios que experimenten las características del entono, el surgimiento de nuevas demandas y necesidades que requieren soluciones innovadoras para cada etapa. De acuerdo con los organismos internacionales mencionados, el modelo en espiral refleja una evolución de cambios positivos en el desarrollo temporal del manejo del agua, ofreciendo las siguientes ventajas:

- a) Permite que las acciones de la GIRH comiencen en cualquier punto del proceso.
- b) Construye capacidades a lo largo del tiempo.
- c) Promueve la cooperación y la integración.
- d) Fomenta la búsqueda de soluciones que se adapten a circunstancias cambiantes.
- e) Ilustra la GIRH como un proceso gradual, paso a paso y por lo tanto proporciona un marco para mirar hacia el futuro en las sucesivas “vueltas de espiral”.

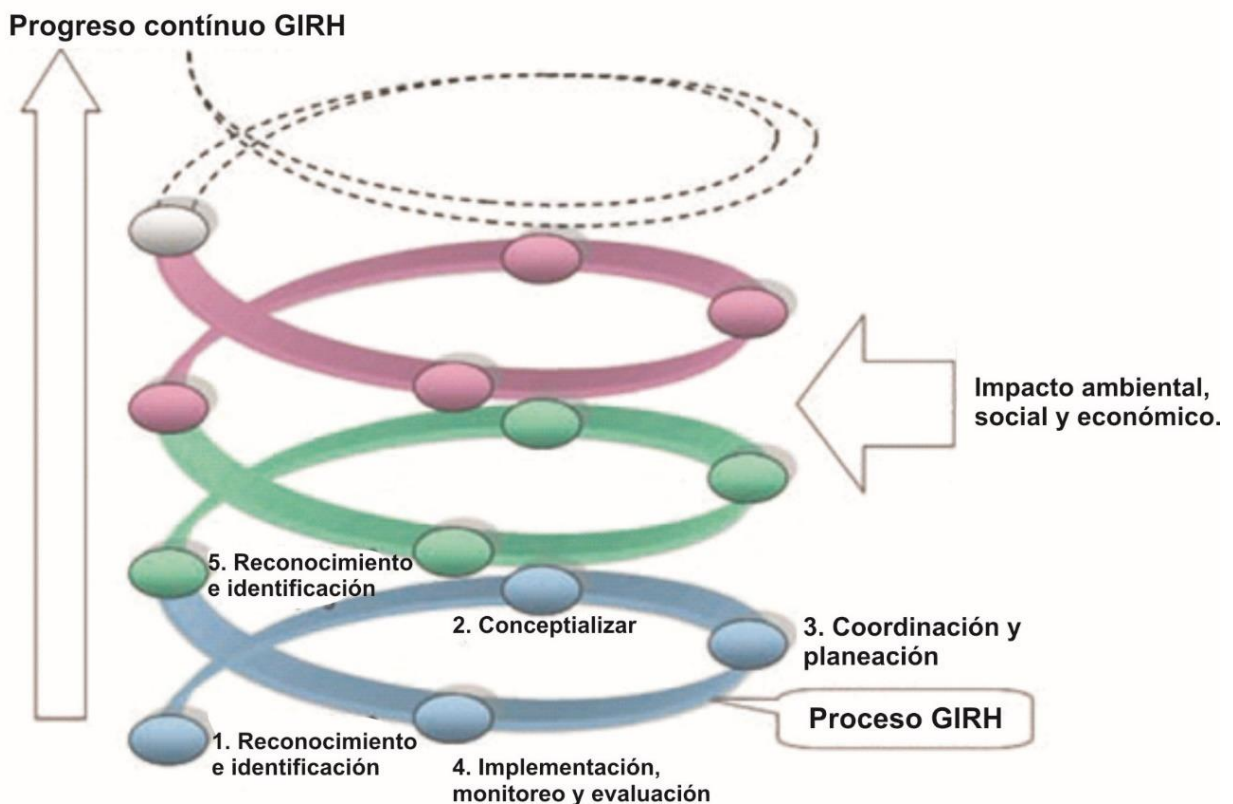


Figura 1.3. El ciclo de la gestión, planificación e implementación de la GIRH. **Fuente:** (GWP e INBO, 2009).

Es así que la GIRH busca el fortalecimiento de los esquemas de gobernabilidad del agua para promover la buena toma de decisiones en respuesta a necesidades y situaciones cambiantes, volviéndose así en un proceso que requiere del esfuerzo de la sociedad en general, ya que los impactos que tienen efectos beneficiosos para un grupo de tomadores de decisiones pueden ser perjudiciales para otros.

1.1.2. La GIRH como herramienta para la salud, equidad y el bienestar social.

En la actualidad la pobreza ya no se ve como una simple carencia de ingresos o como un Producto Interior Bruto (PIB) per cápita reducido, ahora se reconoce que es producto de una situación muy compleja y con múltiples facetas que afectan las condiciones tanto materiales como inmateriales de la vida (WWAP, 2003), en este sentido, el acceso inadecuado al agua constituye una parte esencial de la pobreza de la población, afectando a sus necesidades básicas de salud, seguridad alimentaria y sustento.

Por otro lado, la equidad social requiere que se transmita una participación justa de los beneficios y responsabilidades del agua a mujeres y hombres, ricos y pobres, jóvenes y ancianos. Esto significa oportunidades justas de acceso, uso y control de los recursos hídricos, así como la aceptación equitativa de la responsabilidad de los efectos negativos producidos a fin de evitar cargas mayores a los pobres o a miembros carenciados de la sociedad. Muchos países tienen problemas de equidad con respecto al agua. Los ejemplos más comunes de inequidad son (Cap-Net, 2008):

- a) Falta de acceso al agua potable limpia, generalmente para los pobres y grupos marginados.
- b) Falta de acceso al agua desde el proceso formal de asignación de los recursos hídricos debido a cuestiones de raza, casta, tribu o género.

El adecuado abastecimiento de agua potable a la población puede resultar una actividad normal en países desarrollados o en las grandes ciudades, pero en países que están en proceso de desarrollo y en áreas rurales es una de las demandas más frecuentes por parte de la sociedad, ya que, el suministro de agua en dichos sitios ayuda a mejorar el entorno social (UNESCO e IHP, 2008).

La distribución desigual e inadecuada del agua ha estado en el centro de los debates sociales, ya que las consecuencias sociales, económicas y ambientales de una mala distribución de los servicios provocan serios desequilibrios en el desarrollo de la población, lo que ha llevado a afirmar que mejorar el acceso de los pobres al agua puede contribuir enormemente a la erradicación de la pobreza (GWP e INBO, 2009).

Uno de los Objetivos de Desarrollo del Milenio insta a "reducir a la mitad para 2015, la proporción de personas sin acceso sostenible al agua potable y a servicios básicos de saneamiento haciendo énfasis en que (ONU, 2010):

- a) El acceso seguro a agua y a saneamiento es un derecho legal, más que una mercancía o servicio suministrado en términos caritativos.
- b) Debería acelerarse el compromiso de alcanzar unos niveles básicos y mejorados de acceso.
- c) Se llega mejor a aquéllos con "peor servicio" y por tanto disminuyen las desigualdades.
- d) Las comunidades y los grupos vulnerable se verán capacitados para participar en los procesos de toma de decisiones.

Al respecto, en noviembre de 2002, el Comité de Derechos Económicos, Sociales y Culturales de las Naciones Unidas adoptó su Observación General nº 15 sobre el derecho al agua, estableciendo que *"El derecho humano al agua es el derecho de todas a disponer de agua: suficiente, salubre, aceptable, accesible y asequible para el uso personal y doméstico"*, cumpliendo las siguientes condiciones (ONU, 2010):

- a) **Suficiente:** Los servicios de abastecimiento de agua y saneamiento para cada persona deben ser continuos y suficientes para el uso personal y doméstico. Estos usos incluyen normalmente agua de boca, saneamiento personal, lavado de ropa, preparación de alimentos, higiene personal y limpieza del hogar, indicando que son necesarios entre 50 y 100 litros de agua por persona al día para cumplir con dichas necesidades.
- b) **Salubre:** El agua que necesita una persona tanto para su uso personal como doméstico debe ser salubre, es decir, estar libre de micro-organismos, sustancias químicas y amenazas radiológicas que constituyan un peligro para la salud.
- c) **Aceptable:** El agua debe presentar un color, olor y sabor aceptable para el uso personal o doméstico. Todas las instalaciones y los servicios de agua y saneamiento deben ser adecuados y sensibles a las necesidades culturales, de género, del ciclo vital y de privacidad. Un saneamiento culturalmente aceptable debe garantizar la no discriminación e incluir a los grupos más vulnerables y marginados.
- d) **Físicamente accesible:** Todas las personas tienen derecho a unos servicios de agua y saneamiento físicamente accesibles, que se encuentren dentro o en las inmediaciones de su hogar, su lugar de trabajo o las instituciones educativas o de salud. "Según la OMS, la fuente de agua debe encontrarse a menos de 1.000 metros del hogar y el tiempo de recogida no debe superar los 30 minutos.

- e) **Asequible:** Las instalaciones y servicios de agua y saneamiento deben estar disponibles y ser asequibles para todo el mundo, incluso para los más pobres. Los costes de los servicios de agua y saneamiento no deberían superar el 5% de los ingresos del hogar.

Los medios y mecanismos disponibles en el sistema de Naciones Unidas en materia de derechos humanos son las herramientas necesarias para realizar un seguimiento del progreso de los países en la implementación de mecanismos que busquen un derecho al agua y al saneamiento, estos medios también permitirán asignar responsabilidades a los gobiernos.

En los últimos años, a nivel mundial, se ha logrado un importante incremento en el acceso de la población a los servicios de agua potable y saneamiento, sin embargo, aún persisten profundas inequidades en su distribución, tanto entre regiones del mundo como hacia el interior de los propios países, siendo las poblaciones vulnerables las más perjudicadas (Maceira *et al.*, 2007). Es por ello que la gestión del recurso agua (entendido como un recurso vital) en este sentido es esencial, en la medida en que afecta directamente al bienestar de la ciudadanía, puesto que la desigualdad social se expresa también en la desigualdad en el acceso al agua potable (Günther, 2010).

Como se ha mencionado, uno de los pilares dentro del marco general de la GIRH es la equidad social, ya que, si es aplicada adecuadamente, la GIRH permitiría llevar seguridad del agua para las personas pobres y desabastecidas del mundo Cap-Net (2008). La implementación de las políticas basadas en la GIRH significaría mayor seguridad para los suministros de agua domésticos, además de costes reducidos de tratamiento porque la contaminación se trataría de una forma más efectiva.

En México, según datos del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), alrededor de 24 millones de personas carecen de servicio de agua potable, mostrando una cobertura del servicio desigual, puesto que en las ciudades de más de 50 mil habitantes la cobertura es en promedio del 98%, mientras que en poblados rurales de menos de mil habitantes apenas supera al 45% (Vargas, 2010). Aunado a esto, se reconoce que en general los servicios son de baja calidad ya que se calcula que el 16% de las aguas domiciliarias no cumplen con los niveles mínimos de potabilidad. Además, el servicio es deficiente e irregular, está sujeto a interrupciones que afectan a cerca del 55% de los hogares y el 35% del agua se pierde por fugas (Monroy, 2004).

1.2 EL PAPEL DE LOS INDICADORES EN LA GIRH

Los indicadores juegan un papel importante en el proceso de gestión de recursos hídricos simplificando la información y facilitando la comunicación entre diferentes actores y usuarios del

agua (planificadores, tomadores de decisiones, científicos, sociedad en general); son una herramienta útil para valorar y mejorar las políticas de manejo en una unidad hidrológica a través de la identificación de problemas críticos y sus causas, sentando las bases para comparar estos elementos con unidades espaciales similares. Su función principal es la simplificación, cuantificación, comunicación mediante la traducción de los datos colectados en información fácilmente entendible. De acuerdo con Cap-Net (2008) los indicadores son útiles para:

- a) Medir el progreso a través del tiempo con respecto a varios objetivos de la gestión de los recursos hídricos que proporcionan información relevante para la política.
- b) Medir el rendimiento con respecto a un objetivo para evaluar el efecto de las medidas y de los planes de la política.
- c) Presentar la información al público o a los grupos de interés de un modo simplificado.
- d) Identificar áreas para una mayor atención por parte de una organización.

En este sentido, los indicadores hídricos proveen información concentrada acerca del estado actual y futuro de los sistemas hidrológicos, facilitando la comunicación y la participación ciudadana en el marco de un proceso de planeación. Y dado que los desafíos ambientales y de sostenibilidad para los países en vías de desarrollo son diversos, y que los recursos económicos y técnicos con que se cuenta son limitados, los indicadores constituyen una buena inversión para generar evidencias críticas dentro de los procesos de monitoreo, decisión e intervención (Quiroga, 2009). De esta manera, el uso de indicadores en la GIRH se puede entender como un proceso que proporciona información para ayudar a la planificación, desarrollo y gestión de los recursos hídricos (GWP e INBO, 2009), relacionándose así con las metas de los planes de acción de la gestión de los países, estados o cuencas.

De acuerdo con Fasciolo *et al.* (2011) los indicadores son parte de un esquema creciente de agregado de información, compuesto por datos crudos, datos procesados, indicadores e índices, cada uno de estos agregados de información es utilizado por diversos actores, en función del nivel de síntesis de la información (Figura 1.4). Los datos son un conjunto de valores numerales que se observan, registran o estiman respecto de determinada variable en algún punto del espacio y del tiempo, que habitualmente resultan de la aplicación de algún tipo de levantamiento estadístico (como una encuesta o la explotación de un registro administrativo), medición en terreno u otra forma de medición u observación como son por ejemplo los diversos instrumentos de percepción remota (Quiroga, 2009).

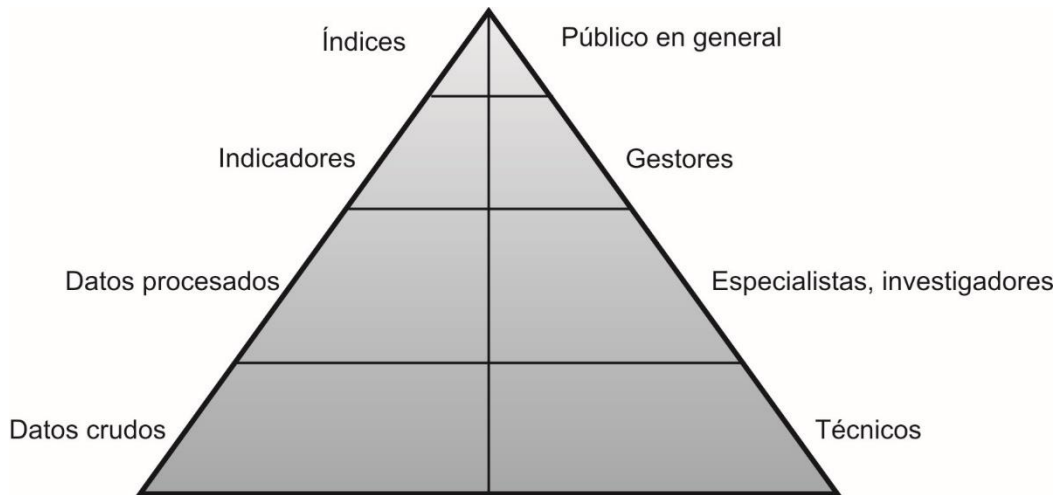


Figura 1.4. Nivel creciente de agregado de información. Fuente: Fasciolo *et al.* (2011).

Los datos que originan las mediciones pueden ser brutos o procesados. Siendo los datos crudos o semiprocesados utilizados por investigadores y expertos, mientras que los usuarios de los indicadores son los gestores, líderes políticos, líderes comunitarios y público en general quienes los utilizan para mostrar/interpretar situaciones y tendencias.

Con respecto a las variables, en términos técnicos se pueden clasificar en (Fasciolo *et al.*, 2011):

- a) Cualitativas: categóricas u ordinales.
- b) Cuantitativas: provienen de conteos o mediciones propiamente dichas.

Por su parte, y siguiendo la secuencia de estructura piramidal, Quiroga (2009) menciona que los indicadores son estadísticas seleccionadas por su capacidad de mostrar un fenómeno importante, los cuales a menudo resultan de procesar series estadísticas en formas de agregación, proporción, tasas de crecimiento (entre otras), para poder mostrar el estado, la evolución y las tendencias de un fenómeno que interesa monitorear.

Un indicador, que comprende un dato único (una variable) o un valor resultante de un conjunto de datos (agregación de variables), describe un sistema o proceso que tiene significado más allá del valor literal de sus componentes (WWAP, 2003).

Alcanzando el nivel más alto de agregación figuran los índices o indicadores complejos que están formados por dos o más indicadores simples. De acuerdo con (Fasciolo *et al.*, 2011), el índice es una agregación de variables o indicadores, en general con diferentes unidades de medida, por lo que suele ser adimensional; por lo que se lo ha denominado también, indicador complejo. La agregación de variables, requiere de procesos de ponderación en donde deben participar expertos estadísticos y referentes calificados.

Llegando a este punto, Quiroga (2009) diferencia los indicadores ambientales de los indicadores de desarrollo sostenible, definiendo a los primeros como aquellos que se ocupan de describir y mostrar los estados y las principales dinámicas ambientales, es decir el estatus y la tendencia. Por su parte, los indicadores de sostenibilidad corresponden a un estadio superior, que se puede ilustrar mediante la analogía del conjunto intersección entre indicadores económicos, sociales y ambientales, es decir, intentan mostrar las dinámicas económicas, sociales y ambientales y sus interrelaciones (Figura 1.5).

Al respecto el autor menciona que para la construcción de indicadores de desarrollo sostenible se requiere integrar al menos dos de estos componentes dentro de cada uno de los indicadores resultantes, con lo que se obtiene un conjunto o Sistema de Indicadores de Sostenibilidad que son integradores, y transversales y que capturan las interrelaciones entre lo económico, lo social y lo ambiental en las escalas y desgloses posibles. Esta visión se ajusta de manera muy clara en la estructura de la GIRH, donde se busca encontrar las relaciones intrínsecas entre los indicadores pertenecientes en los sistemas ambiental, social y económico de un área de estudio dada.



Unión IA+IE+IS = Indicadores de Desarrollo Sostenible

Intersección $IA \cap IE \cap IS$ = Indicadores de Sostenibilidad

Figura 1.5. Integración entre indicadores sociales, económicos y ambientales. Fuente: (Fasciolo *et al.*, 2011).

1.2.1. Indicadores de gestión de recursos hídricos en México.

El uso de indicadores para el manejo hidrológico en México se remonta a la década de los noventa, cuando el país se adhirió al Programa de Acción para Desarrollo Sustentable o Agenda 21, suscrito por los jefes de estado asistentes a la Cumbre de la Tierra en Río de Janeiro en 1992 (INEGI y SEMARNAP, 2000), la importancia que tuvieron a los indicadores para las instituciones gubernamentales a partir de ese evento fue preponderante, viéndose esto reflejado en la Ley General de Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (LGEEPA), definiendo en el año de 1996 en su Artículo 3°, Inciso XI al Desarrollo Sustentable como: *“El proceso evaluable mediante criterios e indicadores de carácter ambiental, económico y social que tiende a mejorar la calidad de vida y la productividad de las personas, que se funda en medidas apropiadas de preservación del equilibrio ecológico, protección del ambiente y aprovechamiento de recursos naturales, de manera que no se comprometa la satisfacción de las necesidades de las generaciones futuras”*.

Fue a partir de este punto que se desarrollaron los objetivos del desarrollo sustentable en México, los cuales se publicaron en el *Plan Nacional de Desarrollo 1995-2000*, a partir del cual se fueron diseminando a distintos programas nacionales, destacando en particular el *Programa Nacional Hidráulico 1995-2000*, contemplando así diferentes áreas de interés para el desarrollo sustentable, como son: Contención del deterioro del medio ambiente y de los recursos naturales, defensa de la biodiversidad y de los ecosistemas, recuperación de ecosistemas, prevención y control de la contaminación, infraestructura hidroagrícola, servicios hidráulicos básicos, entre otros; desarrollando para cada caso, indicadores que se ajusten a las necesidades de cada área de interés.

El impacto que tuvieron estas modificaciones en la legislación con respecto a los organismos encargados de gestionar los recursos hídricos en el país fue evidente de forma inmediata, primero, con la Ley de Aguas Nacionales de 1992 (LAN, 1992), se establece la figura del consejo de cuenca como una entidad de carácter consultivo, establecida para las grandes regiones hidrológicas. Se reconoce también el papel de los usuarios del agua subterránea para lograr los planes de extracción y de las asociaciones de agricultores creadas para recibir el manejo de los módulos de riego que se proponen en cada distrito de riego, se crearon comisiones estatales de agua, alcantarillado y saneamiento (CEAS) y se consolidaron los organismos operadores de agua potable y saneamiento (OOAPAS), expandiéndose por todo el país (Vargas, 2010).

Para los fines de GIRH, el marco regulatorio en México tiene diversos niveles de jerarquía e importancia (Figura 1.6). En primer término, la Constitución Política como Carta Magna, de la cual se derivan las Leyes Federales con sus respectivos Reglamentos. Los convenios o tratados internacionales suscritos por México han de prevalecer sobre las leyes locales en cualquier materia.

Por otro lado, se encuentran las Normas Oficiales Mexicanas de cumplimiento obligatorio a nivel nacional, las cuales establecen especificaciones, reglas y atributos de una actividad o servicio u operación. Finalmente, a los municipios se les reconoce la facultad de crear tanto normas generales como individualizadas, a las cuales de manera genérica se les denomina Bandos (CONAGUA, 2008b).

Esta base normativa e institucional ha permitido que tanto organismos del gobierno como ONGs desarrollen indicadores relacionados con los recursos hídricos, tal es el caso de Consejo Consultivo del Agua A. C. que tras una serie de esfuerzos ha definido cinco conceptos base conformados por variables representadas con datos numéricos reales para fortalecer la gestión del agua en ciudades mexicanas. En total se han incluido 20 variables, que a su vez fueron la base para definir indicadores como lo muestra el Cuadro 1.1 (Consejo Consultivo del Agua A.C., 2011).

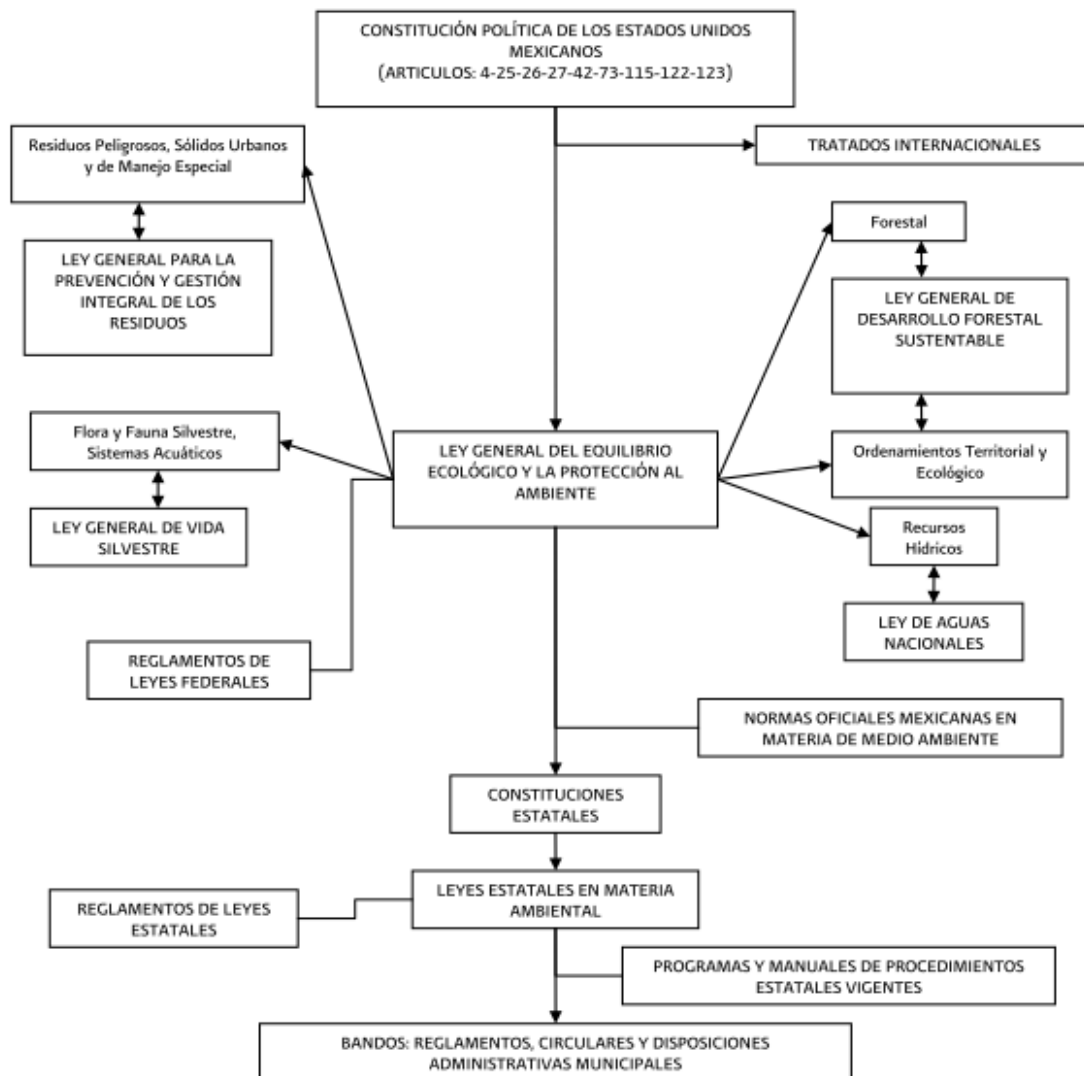


Figura 1.6. Marco jurídico y normativo relacionado con la GIRH en México. Fuente: (CONAGUA, 2008b).

Cuadro 1.1. Indicadores para la GIRH en 50 ciudades mexicanas.

CONCEPTOS	INDICADORES	
CALIDAD	Cobertura de agua potable	1. Porcentaje de la población total conectada a los sistemas de agua potable.
	Cobertura de drenaje o alcantarillado	2. Porcentaje de la población total conectada al sistema de alcantarillado.
EFICIENCIA	Continuidad y extensión en el servicio	3. Continuidad y extensión (porcentaje de tomas con servicio de agua potable 24 horas y 7 días a la semana).
	Productividad	4. Número de tomas por empleado.
	Micro-medición	5. Número de medidores en operación como proporción del total de tomas.
	Eficiencia física	6. Volumen de agua facturada como proporción del volumen de agua producida al año.
	Eficiencia comercial	7. Volumen de agua cobrada como proporción del volumen de agua facturada al año.
FINANZAS PÚBLICAS	Resultado operativo (Subsidios implícitos)	8. Ingresos por servicios de agua potable, alcantarillado y saneamiento con relación a los gastos totales de operación.
MEDIO AMBIENTE	Tratamiento de aguas residuales	9. Volumen de agua residual tratada como proporción del volumen de agua residual generada al año.
INSTITUCIONALIDAD	Institucionalidad	10. Suma de calificaciones binarias (0,1) con respecto a la existencia o no de cada una de las siete variables institucionales consideradas.

Fuente: Consejo Consultivo del Agua A.C., 2011

Estas, entre otras medidas, han fortalecido gradualmente el conjunto de indicadores de gestión de los recursos hídricos en México, involucrando en el proceso a los actores que de una u otra manera tienen injerencia en el manejo y aprovechamiento del agua en el país, sin embargo, en muchos casos no es posible darle continuidad al proceso de medición de ciertas variables por falta de infraestructura, financiamiento, personal técnico, etc. (Cotler, Helena, 2009), además de que la gran diversidad cultural y la dispersión de la población requiere procesos que se ajusten a cada situación (Sandre y Murillo, 2008).

Debido a estas problemáticas particulares Vargas (2010) concluye que sin lugar a dudas, el principal desafío que enfrentan los gobiernos -desde los niveles municipales o microrregionales hasta los niveles nacionales, es el de saber diseñar y aplicar sistemas de gestión capaces de fomentar y conciliar tres grandes objetivos que, en teoría, llevarían al desarrollo sustentable: el crecimiento económico, la equidad (social, económica y ambiental) y la sustentabilidad ambiental.

1.2.2. Selección de indicadores.

La literatura muestra diversos métodos para el desarrollo de indicadores (Bockstaller *et al*, 2008; Niemeijer y Groot, 2008; WWAP, 2003), teniendo en común algunos aspectos que deben cumplirse en esta fase (Pires, 2015):

- a) Un proceso de selección transparente.
- b) Un marco conceptual para la organización de los indicadores.
- c) Procedimientos de validación de la calidad de los indicadores.

Sin duda, uno de los modelos más aceptados por la comunidad científica para la ordenación de los indicadores es el modelo Presión - Estado - Respuesta (PER) propuesto en primera instancia por la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE) (Vrba y Lipponen, 2007) y posteriormente adoptado por el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA), el cual se ajustan a un modelo de pensamiento secuencial, lineal, que usa información de tipo vectorial, es decir: origen - dirección - destino, y que intenta establecer una secuencia coherente entre el diagnóstico de una situación sectorial y la manera como éste es enfrentado (Polanco, 2006).

De acuerdo con (Royuela, 2001), el modelo PER obedece a una lógica según la cual las actividades humanas ejercen presiones sobre el entorno y los recursos ambientales y naturales, alterando, en mayor o menor medida, su estado inicial. La sociedad en su conjunto identifica estas variaciones y puede decidir (objetivos de política) la adopción de medidas (respuestas) que tratarían de corregir las tendencias negativas detectadas (Figura 1.7).

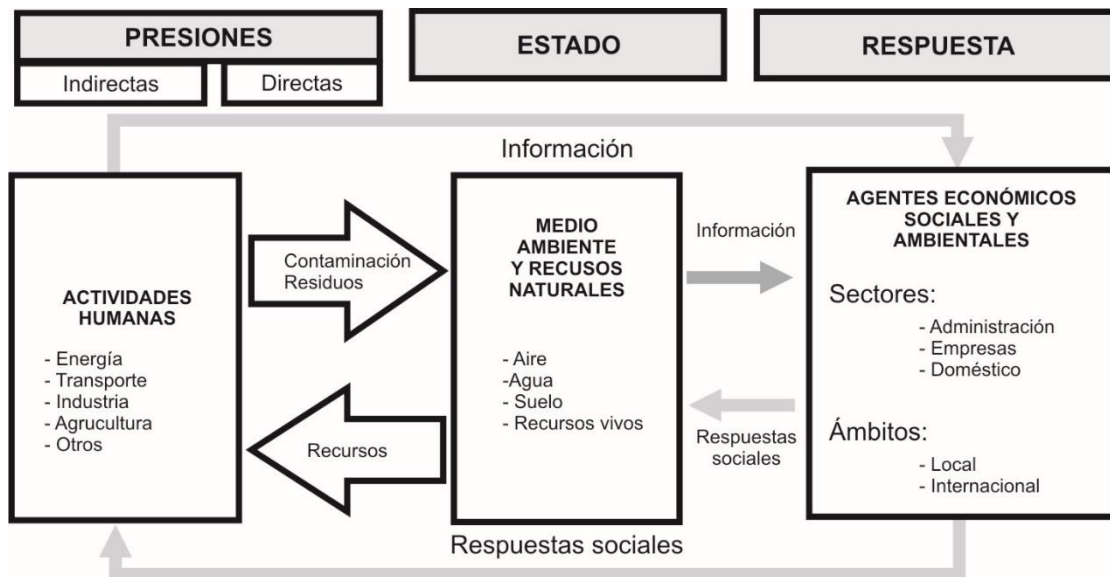


Figura 1.7. Modelo Presión – Estado -Respuesta. Fuente: (Royuela, 2001).

A partir de este marco ordenador comenzaron a generarse variantes, introduciendo categorías en función del efecto que podría tener una o más variables sobre alguno de los sistemas prioritarios de los modelos de gestión (ambiental, social y económico). Cada una de estas categorías tiene ventajas y desventajas en su aplicación. Los modelos identificados y analizados por Polanco (2006) se muestran a continuación:

- a) Presión - Estado - Respuesta (PER).
- b) Fuerza Motriz- Estado - Respuesta (FER).
- c) Fuerza Motriz - Presión - Estado - Impacto - Respuesta (FPEIR).
- d) Modelo- Flujo - Calidad (MFC).
- e) Presión - Estado - Impacto/Efecto - Respuesta (PEI/ER).
- f) Presión- Estado - Impacto/Efecto - Respuesta - Gestión (PEI/ERG).

Conseguir ordenar los indicadores y variables en estas estructuras propuestas no es un objetivo en sí, lo que se pretende es encontrar mecanismos de coordinación entre diversas agencias para así compartir información y conocimiento (Vrba y Lipponen, 2007).

A pesar de esta diversidad de enfoques se considera que en el tema de GIRH existe una serie de variables esenciales que deben tomarse en cuenta en la caracterización, diagnóstico y plan de manejo de un área de estudio (Cap-Net, 2008), dichas variables se muestran en la Figura 1.8.



Figura 1.8. Variables a considerar en el proceso de la GIRH. Fuente: (Cap-Net, 2008).

Estas variables han sido consideradas en diferentes indicadores desarrollados en diversos países del mundo, destacando la labor realizada por Canadá, Nueva Zelanda, Suecia, Reino Unido y más recientemente España, así como agencias europeas y de institutos de investigación en Holanda y Alemania entre otros. En América Latina y el Caribe países como México, Brasil, Argentina, Panamá, Nicaragua, Perú, Chile, Costa Rica y República Dominicana ya han publicado sus conjuntos de indicadores que siguen esta estructura considerando dichas variables (Quiroga, 2007).

De esta forma se ha reconocido a través del tiempo una guía que permita unificar criterios para la ordenación y selección de indicadores en diferentes países y agencias tanto nacionales como internacionales, logrando así categorizar los componentes que de una u otra forma influyen en la dinámica de los sistemas hídricos.

Sin embargo una de las trabas principales que enfrentan los países subdesarrollados y aquellos que se encuentran en vías de desarrollo es la disponibilidad de información (Niemeijer y De Groot, 2008; Quiroga, 2007), y en el caso de que esta exista, puede presentar limitantes tanto en el aspecto de la escala temporal, como en la escala espacial.

De esta forma, la disponibilidad de información se convierte en muchas ocasiones en un marco para seleccionar indicadores de gestión o en uno de los factores más importante al momento de elegirlos, presentándose en algunos casos (Pires, 2015) una combinación de varios enfoques al momento de seleccionar indicadores sólidos científicamente, útiles y medibles.

1.2.3 El tema de las escalas en los indicadores hídricos

La selección de la escala espacial óptima es un aspecto importante en el desarrollo y uso de los indicadores (WWAP, 2006). En función de la escala, los indicadores pueden tener significados distintos para los tomadores de decisiones (Pires, 2015), o incluso carecer de sentido si aumenta o disminuye la escala espacial ya que en general, una fracción importante de indicadores son desarrollados para cierta escala en concreto, con fuentes de información específicas.

A lo anterior hay que agregar que las escalas no corresponden exclusivamente a temas de carácter espacial, si no que existen acepciones temporales, administrativas, institucionales, entre otras, que están asociadas directamente al tema de las escalas (Figura 1.9).

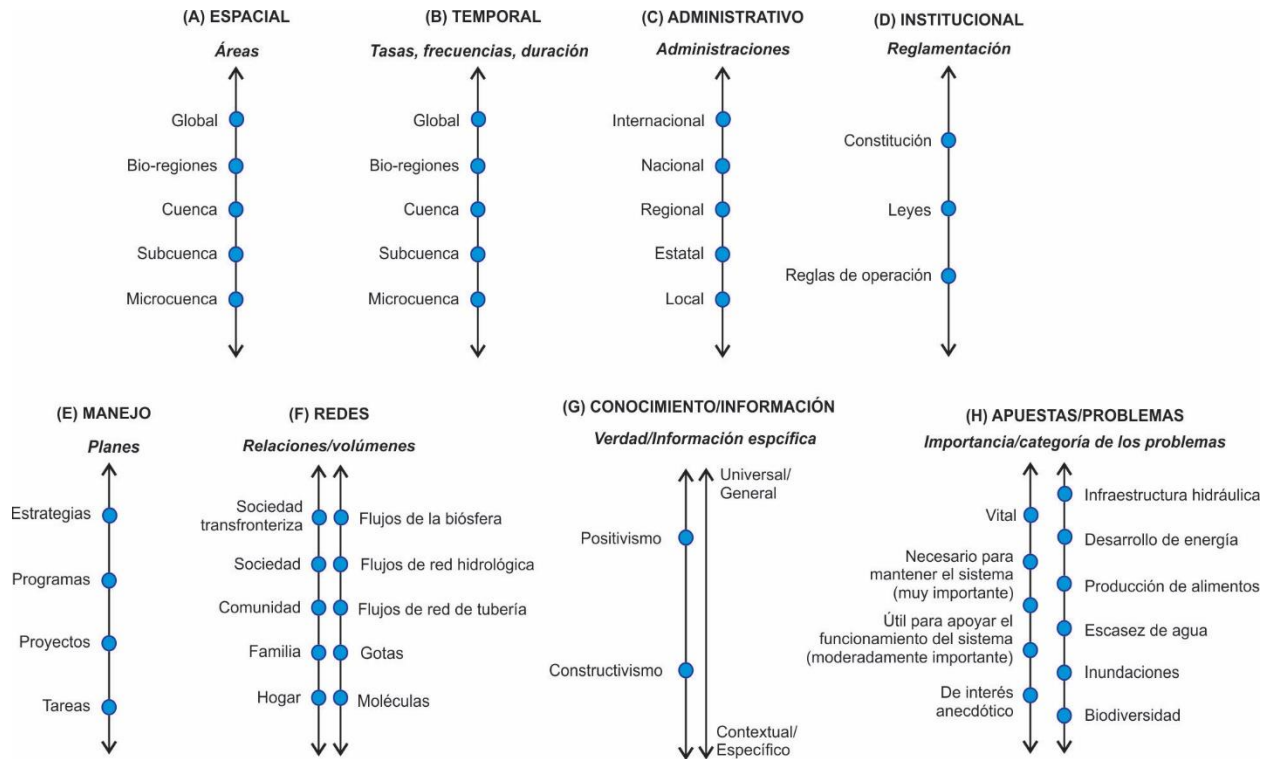


Figura 1.9. Escalas y niveles internos relevantes en la GIRH. Fuente: Daniell y Barreteau, 2014.

En relación con la escala espacial, desde que se acogió por parte de las naciones el uso de indicadores para el desarrollo sustentable, la ONU declara en el capítulo 18 de la Agenda 21 que *“La Gestión Integrada de los Recursos Hídricos se debería implementar a un nivel de cuenca o de subcuenca”*, del mismo modo El Programa de Acción de la CIAMA, Dublin 1992, señala que en cuanto a la Solución de conflictos derivados del agua, que *“la entidad geográfica más apropiada para la planificación y gestión de los recursos hídricos es la cuenca fluvial, incluyendo aguas de superficie como subterráneas”*. (Aguirre, 2011).

A nivel de cuencas hidrográficas, la GIRH puede definirse como un proceso que permite la gestión coordinada del agua, la tierra y los recursos asociados dentro de los límites de una cuenca para optimizar y compartir equitativamente el resultante bienestar socioeconómico sin comprometer la salud de ecosistemas vitales a largo plazo (GWP y INBO, 2009). Pero incluso, considerando a la cuenca como unidad básica de gestión, los impactos humanos y naturales adquieren mayor o menor relevancia en función del tamaño de las cuencas (Figura 1.10). Al respecto, de acuerdo con (FAO, 2009), las cuencas hidrográficas se pueden clasificar, por su magnitud, en “micro” (menos de 50 km²), “meso” (de 50 a 20 000 km²) y “macro” (más de 20 000 km²).

Si bien son arbitrarios los límites superior e inferior de estas tres categorías, la clasificación sirve para evaluar en el ámbito de una cuenca las repercusiones potenciales de las actividades

humanas (como la agricultura, la explotación forestal, el pastoreo, etc.) en comparación con los efectos de los fenómenos naturales (como los movimientos geológicos o fenómenos meteorológicos extremos). en las cuencas de escala micro los efectos de las actividades humanas en los procesos de las cuencas tienden a ser mayores que los de los fenómenos naturales. En las unidades de escala media los procesos naturales son tan decisivos como los factores humanos, lo que hace a las mesocuenas particularmente vulnerables a la degradación ambiental.

Por último, en las macrocuencas (las cuencas fluviales), la magnitud de los procesos naturales supera los efectos de las intervenciones humanas percibidos específicamente en el sitio. En particular, las inundaciones y otros acontecimientos extremos que se producen en las llanuras de aluvión dependen de procesos geológicos y climáticos de gran envergadura y no deberán atribuirse a prácticas inadecuadas de ordenación de la cuenca río arriba (FAO, 2009).

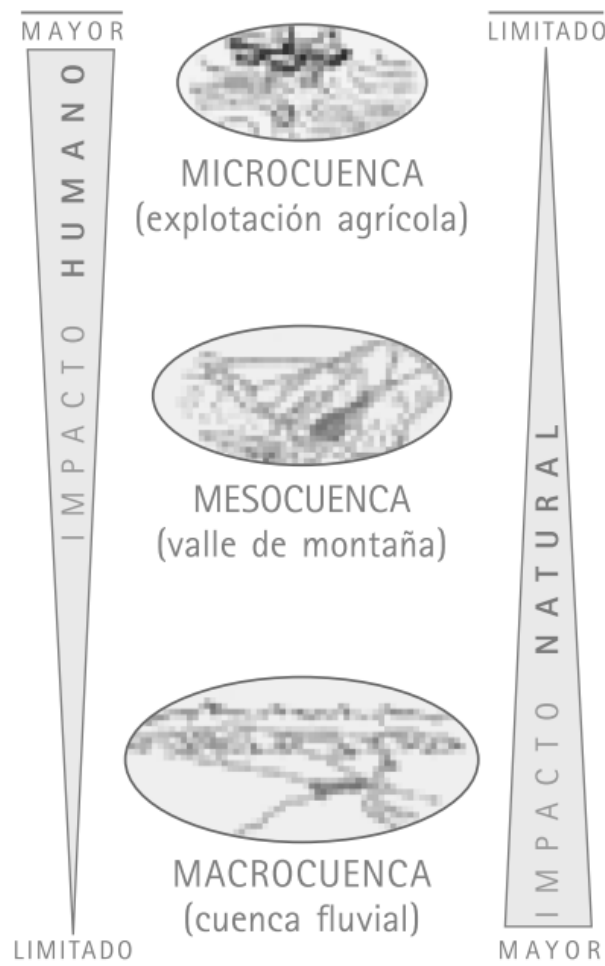


Figura 1.10. Impacto natural y humano en función de la escala de las cuencas. Fuente: Daniell y Barreteau, 2014.

Sin embargo, en gran medida el desarrollo de información necesaria para la elaboración de indicadores de gestión (ambientales, sociales y económicos) tiene diversas resoluciones espaciales, que en muchos casos no son aplicables a un nivel de cuenca o de subcuenca. Por un lado, una cantidad importante de la información socioeconómica se genera a nivel de regiones administrativas, nacional o estatal, mientras que, por otro lado, cierta información social y ambiental se genera en el ámbito local.

Aunado a esto, los límites de las cuencas y subcuencas pocas veces corresponden con los límites administrativos (Pires, 2015), lo cual provoca inconsistencias por el grado de compromiso adquirido por los diferentes gobiernos locales y diferencias producto de los intereses propios de las administraciones locales. Es por ello que autores como Daniell y Barreteau (2014) consideran que las diferencias en escalas de la información es uno de los retos que se deben encarar por parte de los actores, investigadores e instituciones gubernamentales para generar indicadores de calidad en la GIRH.

A una escala local, la microcuenca es una alternativa de organización que puede estar integrada por una base comunitaria y liderada por un conjunto de municipios, ya que los límites político administrativos de los municipios no responden en general a los límites de la cuenca hidrográfica, en ocasiones suele suceder que un solo municipio puede estar en más de una cuenca y en otros casos la cuenca o microcuenca hidrográfica está en más de un municipio (Astorga, 2013).

En un sentido práctico, la integración local de la gestión de los recursos hídricos puede llevar por ejemplo a la reducción significativa de costes en la provisión de servicios de agua para usos domésticos, o ayudar a diseñar más esquemas de riego (Cap-Net, 2008).

No obstante, en la región de América Latina y el Caribe, casi la totalidad de los países que están elaborando sistemas de indicadores, ya sean ambientales o de DS, lo hacen desde una perspectiva nacional, en el caso de Argentina y Chile también se han elaborado sistemas de indicadores en forma nacional-regionalizada, adoptando la estructura Canadiense (Quiroga, 2007).

Es por ello que en diversos países de América Latina y el Caribe se ha desarrollado un marco sistémico para la medición y evaluación del progreso de los países de la región hacia el desarrollo sostenible, el cual busca:

- a) Identificar indicadores a escala nacional.
- b) Generar indicadores georeferenciados a niveles administrativos (insatisfacción de necesidades básicas, densidad poblacional, usos de tierras, y otros), y en el caso de algunas variables ambientales conseguir resoluciones de hasta “1x1 Km” obtenidas a partir de imágenes de satélite (Quiroga, 2007).

De esta manera, los esfuerzos por generar indicadores a nivel local han tenido cada vez más relevancia, ya que se ha puesto en el panorama internacional que la GIRH a escala local o municipal, responde más directamente a las necesidades y prioridades de los actores y usuarios locales y por lo tanto logra ser más efectiva y sostenible para la protección del recurso hídrico y del manejo equitativo del agua. Es también en esta escala, en donde se facilita la participación efectiva de los usuarios y de los sectores y se logra la integración para trabajar de forma coordinada (Astorga, 2013).

Sin embargo, existe un hueco importante en la disponibilidad de indicadores a escala municipal, lo cual frena el proceso de gestión a nivel microcuenca, subcuenca y consecuentemente afecta el manejo de recursos hídricos a nivel cuenca.

Es ampliamente reconocido que el o los municipios o en su caso la mancomunidad de municipios o el Consejo de Cuencas, pueden crear un ambiente propicio, a través de la promulgación de políticas regionales y locales, regulaciones propias y estructuras organizativas, que estén en función de la microcuenca, así como iniciativas financieras e instrumentos económicos y de gestión que contribuyan con la gobernabilidad eficaz del agua (Astorga, 2013), para ello es necesario dotar de información a los tomadores de decisiones a nivel local, permitiéndoles contar con información homogénea, confiable y que pueda ser obtenida en cada una de estas unidades administrativas.

1.3. EL ANÁLISIS MULTICRITERIO PARA LA TOMA DE DECISIONES EN LA GIRH

Uno de los principios de la GIRH indica que la distribución equitativa de los recursos hídricos implica un proceso optimizado de toma de decisiones, el cual, resuelva conflictos de carácter técnico y científico y al mismo tiempo facilite la resolución de conflictos sobre temas polémicos, equilibrando los aspectos ambientales, sociales y económicos (Calizaya *et al.*, 2010).

Antes de la proliferación de los métodos de toma de decisiones que se conocen en la actualidad, el procedimiento de la toma de decisiones estaba basado fundamentalmente en la intuición y la experiencia. Los primeros intentos para modelar los procesos de decisión se basaban en la programación por metas, la cual requiere que se encuentre una solución para un problema multicriterio mediante la toma de una decisión que optimice todos los criterios, en palabras de Bellman y Zadeh (1970) se establece que "Una decisión adecuada deberá satisfacer tanto las metas como las restricciones, y éstas deberán ser tratadas de igual manera.

A medida que la complejidad de los problemas considerados ha ido creciendo por la inclusión de otras variables como son el dinamismo, la incertidumbre, la existencia de múltiples escenarios,

criterios (habitualmente en conflicto) y actores, y, en especial, la necesidad de incorporar en la toma científica de las decisiones la opinión (visión de la realidad) de los diferentes participantes en la resolución del problema (actores); el binomio seguido ha sido el de información-razonamiento, aunque en los últimos años se está considerando el de conocimiento-razonamiento.

Estos dos últimos términos sintetizan los aspectos más destacados a la hora de buscar la solución a problemas complejos en los que la incorporación del factor humano en el proceso de resolución, es fundamental para su correcta solución (Moreno *et al.*, 1998), ya que los conflictos ambientales, entre ellos los relativos al agua, se caracterizan por la interacción de la complejidad ecológica y social. Ya que como mencionan Martín y Vecino (2007) uno de los principales mecanismos para abordar los conflictos ambientales atendiendo a su complejidad sociales la participación pública.

En el mismo sentido, Perry *et al.* (1997) consideran que la política de aguas debe formularse en términos de decisión multiobjetivo, reconociéndose que la importancia de sus distintos valores es susceptible de variar sustancialmente en condiciones de tiempo y espacio distintas. Mientras que para Wittmer *et al.* (2006) el soporte multicriterio, aunque no necesariamente implica una participación pública en la decisión, sí es flexible y queda abierto a la misma.

El marco de la decisión multicriterio permite ordenar mediante un sistema de jerarquía el funcionamiento de un conjunto de posibles decisiones teniendo en cuenta diversos criterios que comúnmente se miden en diferentes unidades. En este sentido, el análisis multicriterio tiene entre sus funciones la de aumentar la transparencia y la legitimidad de la gestión del agua y ofrecer cauces de diálogo entre usuarios que faciliten la resolución de conflictos (Mesa, *et al.*, 2008).

En la actualidad existen diversos métodos para la toma de decisiones, sin embargo el Proceso Analítico Jerárquico y la lógica difusa destacan por amoldarse a los procesos del pensamiento humano y a los términos que utiliza para expresarlo (Hajkowicz y Higgins, 2008). A continuación, se describe cada uno de ellos.

1.3.1 El Proceso Analítico Jerárquico para la toma de decisiones

La toma de decisiones en la GIRH precisa obtener alguna medida o magnitud resumen que permita ponderar la importancia relativa de cada una de las variables o indicadores que entran en juego en la descripción y análisis de una problemática dada. El Proceso Analítico Jerárquico (AHP por sus siglas en inglés), también conocido como Saaty, propuesto por Thomas Saaty en 1977 (Saaty, 1990), se trata de un procedimiento de comparación por pares de los criterios que

parte de una matriz cuadrada en la cual el número de filas y columnas está definido por el número de criterios a ponderar.

Para ello, en lugar de pretender conseguir una comparación simultánea de todos los factores participantes en cada nivel, se interroga a los encuestados sobre la comparación de elementos por pares, expresando así el agente decisor la importancia relativa de cada elemento respecto a cada uno de los demás, dos a dos, mediante una escala de importancia propuesta, generalmente considerando los valores del Cuadro 1.2 (Martín y Vecino, 2007).

Cuadro 1.2. Escala básica de comparación por pares en AHP.

GRADO	DEFINICIÓN
1	Ambos criterios tienen la <i>misma</i> importancia
3	El criterio preferido tiene una importancia <i>ligeramente superior</i> al otro
5	El criterio preferido tiene una importancia <i>moderadamente superior</i> al otro
7	El criterio preferido tiene una importancia <i>muy superior</i> al otro
9	El criterio preferido tiene una importancia <i>absoluta</i> respecto al otro

Posteriormente se determina el vector principal, el cual establece los pesos (w_j) que a su vez proporciona una medida cuantitativa de la consistencia de los juicios de valor entre pares de factores (Ramírez, 2004). Esto se genera ya que cada encuestado genera una matriz (Ecuación 1) en la que a_{ij} representa el valor de la comparación entre el criterio i y el criterio j . Según la metodología de Saaty, los valores de las comparaciones por pares representan los *ratios* entre las ponderaciones concedidas a los correspondientes criterios por parte del agente decisor de modo que a_{ij} representa el valor de la comparación entre los pesos o importancia relativa que el decisor concede a los criterios (W_i y W_j).

Ecuación 1.1.

$$\begin{matrix}
 a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1a} \\
 A = & a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2a} \\
 & \dots & \dots & a_{ij} & \dots \\
 & a_{a1} & a_{a2} & \dots & a_{au} \\
 & & & & a_{ij} = w_i/w_j
 \end{matrix}$$

Estas etapas generales se pueden concretar en una serie de pasos, los que se resumen en el diagrama flujo de la Figura 1.11

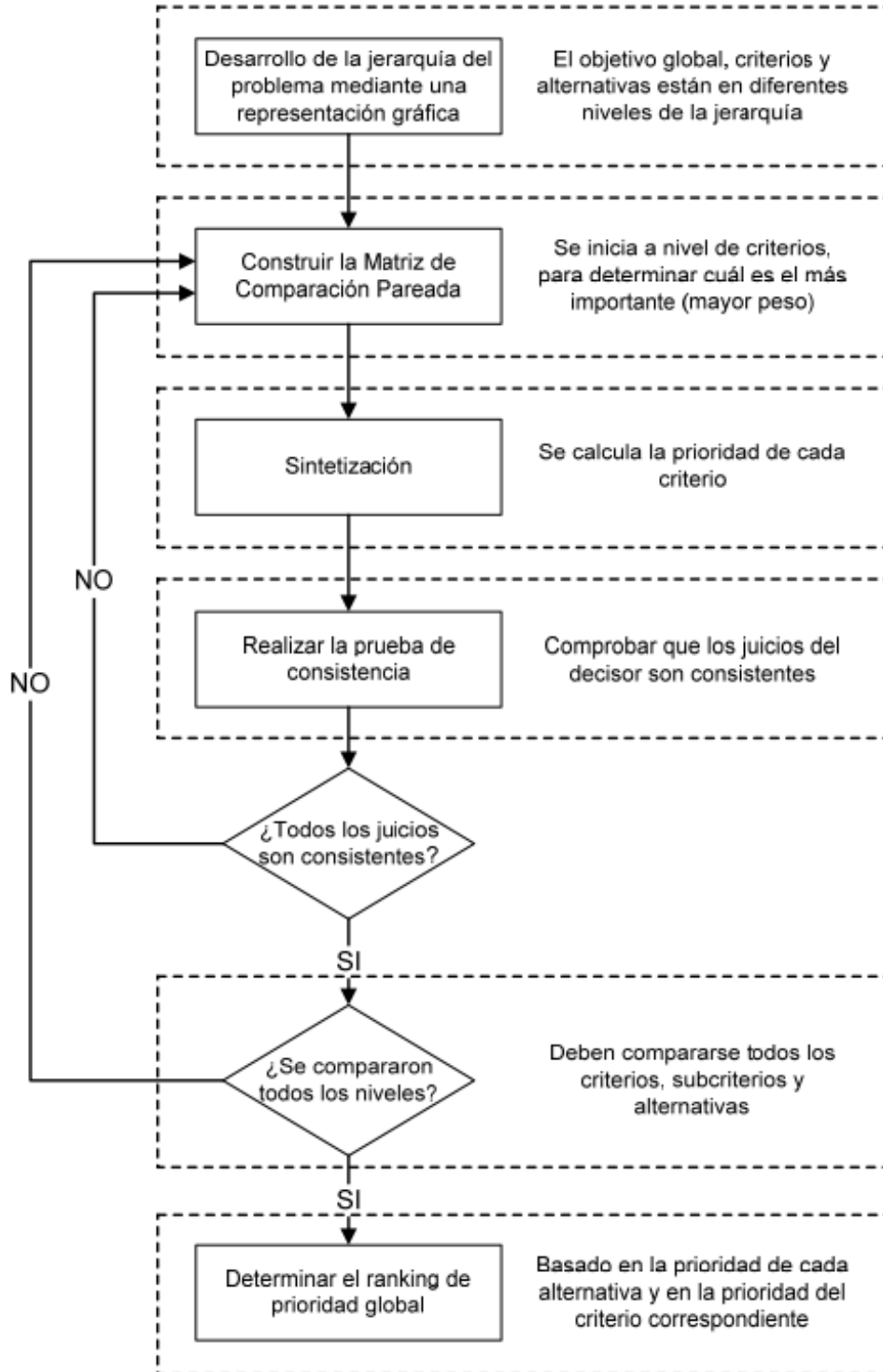


Figura 1.11. Diagrama de flujo de Proceso Analítico Jerárquico. Fuente: Ho, 2008.

De acuerdo con (Moreno, 2002), esta estructura le permite al Proceso Analítico Jerárquico, contar con las siguientes propiedades que le otorgan ciertas ventajas:

- a) Ser simple en su construcción.
- b) Ser adaptable a las decisiones individuales y en grupo.
- c) Estar en consonancia con nuestros pensamientos, valores e intuiciones.
- d) Estar orientada a la búsqueda del consenso.
- e) No requiere una especialización suprema para su aplicación.

El método analítico jerárquico se ha utilizado con anterioridad en la toma de decisiones en la planificación de los recursos naturales y recursos agrarios (Martín y Vecino, 2007). En cuanto a su aplicación a casos de gestión del agua, existen antecedentes de trabajos elaborados por Srdjevic et al. (2002) (Mesa *et al.*, 2008), (Calizaya *et al.*, 2010), (Feás, 2008), (Karnib, 2004), (Martín y Vecino, 2007) quienes aplican esta metodología para evaluar las estrategias de gestión del agua principalmente a escala de cuenca.

Una de las ventajas de Proceso Analítico Jerárquico es que puede ser integrado con otras técnicas lo que permite no solo considerar factores cualitativos y cuantitativos, si no que se poder realizar modelaciones de condiciones reales, esta característica le otorga al método una robustez mayor que si se utilizara de manera individual. Estas propiedades han permitido el surgimiento de nuevos enfoques de aplicación de esta herramienta (Ho, 2008), un ejercicio que sobresale es el realizado por autores como Liberatore y Nydick (2008) quienes consideran que la lógica difusa puede fortalecer los resultados arrojados por el Proceso Analítico Jerárquico. En el caso de la presente investigación, se busca integrar el uso del método AHP y la lógica difusa para ponderar indicadores de gestión de recursos hídricos y representarlos espacialmente, esta unión

1.3.2 El uso de lógica difusa para la toma de decisiones

En la actualidad existen diversos métodos para la toma de decisiones, sin embargo, la lógica difusa destaca por amoldarse a los procesos del pensamiento humano y a los términos que utiliza para expresarlo (Medina, 2006).

La introducción de los conceptos básico de la lógica difusa se dio en 1965, cuando el matemático y profesor de la Universidad de Berkley, Lofti Zadeh publicó un artículo titulado "Fuzzy Sets" en la revista "Information and Control", el cual sentó las bases para la aplicación de este modelo en diversas áreas del conocimiento. Las primeras aplicaciones básicas de la lógica difusa se enfocaron principalmente en sistemas de control industrial, básicamente en predicción de series de tiempo. En la década de los 70, los estudios de aplicaciones específicas de lógica difusa

comenzaron a crecer en número, hasta que en el año de 1978 se crea la revista "Fuzzy Sets and Systems, generando así mayor interés en esta temática.

Fue hasta 1980 que Baptistella y Ollero implementaron la teoría de conjuntos difusos en un proceso de toma de decisiones mediante el análisis multicriterio, lo cual fundamentó el trabajo de Hipel (1982), quien bajo la misma premisa aplicó esta teoría en la gestión de recursos hídricos. A raíz de estos eventos la toma de decisiones mediante lógica difusa comenzó a diversificarse en campos como la planeación regional (Rietveld, 1980; Czyzak, 1990), planeación ambiental (Sommer y Pollatschek, 1978; Nijkamp, 1979; Sakawa y Seo, 1980).

Con estos antecedentes, las aplicaciones en recursos hídricos encontraron nuevas vías para la toma de decisiones, abarcando temas desde programación multiobjetivo en acuíferos kársticos afectados por depósitos mineros (Bogardi et al, 1983), hasta la propuesta de programación multicriterio difusa para el desarrollo de sistemas de abastecimiento publicada por Slowinski en 1986.

En esta misma dinámica, Kindler (1992) aplicó la programación lineal para la racionalización del uso del agua, obteniendo el uso óptimo del agua de acuerdo con su disponibilidad. Otras aplicaciones fueron la gestión de embalses (Fontane *et al*, 1997; Tilmant *et al*, 2001), análisis de sequías a escala regional (Pongracz *et al*, 1999), el transporte de solutos en acuíferos (Dou *et al*, 1999) y modelos de escurrimiento (Ertunga *et al*, 2001; Chung *et al*, 2002), entre otros. Estos tópicos se fueron incluyendo en los procesos de tomas de decisiones y el análisis multicriterio (Vito et al, 2004; Fassio *et al*, 2005; Chaves y Kojiri, 2007; Chen y Chang, 2010; Wang y Huang, 2011) contribuyendo al crecimiento exponencial de la lógica difusa en la gestión de recursos hídricos en la última década.

La lógica difusa o borrosa es una parte de las Matemáticas que amplía el significado de la teoría de conjuntos, haciendo notar que la pertenencia o no de un elemento a un conjunto no siempre es sí o no, si no que puede tener un grado de pertenencia. El concepto "difuso" o "borroso" se comenzó a desarrollar por Zadeh (1965) como "un sistema que proporciona una vía natural para tratar los problemas en los que la fuente de imprecisión es la ausencia de criterios claramente definidos de tipos de pertenencia", partiendo de la premisa de que conforme la complejidad de un sistema aumenta, nuestra capacidad para ser precisos y construir instrucciones sobre su comportamiento disminuye hasta un umbral más allá del cual, la precisión y el significado son características excluyentes.

La lógica difusa encuentra numerosas aplicaciones en otras disciplinas: la psicología, la física, la economía, la geografía, la inteligencia artificial, etc. Debido al carácter integrador de la gestión hídrica es necesario considerar la inclusión de todos los elementos que interactúan con el recurso, sectores sociales, gobierno y los elementos naturales. En este sentido los conjuntos

difusos pueden ser muy efectivos en un proceso de toma de decisiones, en especial, cuando se tienen en cuenta características vagas e inciertas en la formulación del problema con múltiples criterios (Correa, 2004). La cuantificación de criterios cualitativos complejos, una necesidad que se produce en ocasiones en la gestión de recursos hídricos, es un ejemplo típico en el cual la teoría difusa presenta un funcionamiento satisfactorio (Sorribes, 2012).

1.4.1. Conjuntos difusos

Un conjunto clásico sobre un universo se define de tal forma que se puede decir si un elemento del universo pertenece o no a ese conjunto, no hay dudas ni situaciones intermedias y la frontera es nítida. Pero en el pensamiento humano hay conceptos en que no siempre se puede determinar si un elemento los cumple o no, o predicados que no siempre son verdaderos o falsos, y que no pueden ser representados con un Álgebra de Boole.

La idea de Zadeh fue considerar una nueva definición de conjunto en los que la pertenencia de un elemento al conjunto queda especificada con un grado de pertenencia de los elementos del universo al conjunto en cuestión. Un conjunto borroso μ sobre un universo X es una función que asigna a cada elemento del universo X un grado de pertenencia en el intervalo $[0, 1]$ (Figura 1.12).

$$\mu: X \rightarrow [0, 1]$$

Ecuación 1.2

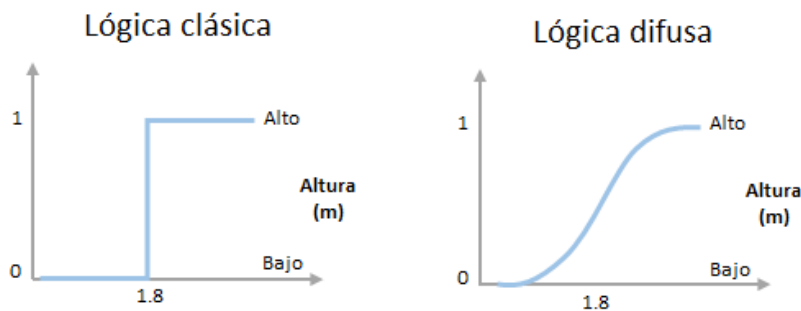


Figura 1.12. Diferenciación entre lógica clásica y lógica difusa.

El **conjunto difuso** es un valor lingüístico junto a una función de pertenencia. Se dice que un conjunto es nítido si su función de pertenencia toma valores en $\{0,1\}$, y difuso si toma valores en $[0,1]$.

1.4.2. Funciones de pertenencia

La lógica difusa permite definir variables lingüísticas mediante conjuntos difusos. La función de pertenencia proporciona un grado de pertenencia para cada término lingüístico, permitiendo “computar con palabras”. Como ejemplo se muestra el siguiente caso:

Para el universo del discurso “Ruido”, cuyos valores comprenden el intervalo $[0, 500]$ dB, se definen varios términos lingüísticos, de los cuáles uno es “mucho ruido”. Pero ¿que se considera “mucho ruido”? ¿A partir de cuantos decibelios? Esta variable lingüística queda definida con los conjuntos borrosos y los grados de pertenencia (Figura 1.13). Según este ejemplo, 90 dB tiene un grado de pertenencia de 1 al conjunto borroso identificado por el término “mucho ruido” y para menos de 50 dB el grado de pertenencia es 0.

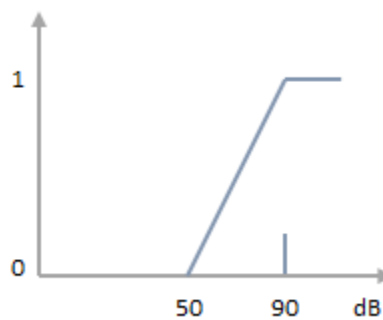


Figura 1.13. Conjunto borroso del término lingüístico “mucho ruido”.

Según Martín (2011), la función de pertenencia, en principio, puede ser cualquiera, aunque las más usadas son las mostradas en la Figura 1.14. Dependiendo del tipo de información que se quiere representar y su interpretación humana es más adecuado un tipo de función u otra para que dicha función del grado de pertenencia a un conjunto lo más correcto posible.

Se puede usar combinación de cualquiera de ellas, o incluso otras distintas. Los tipos A y D se suelen usar para términos lingüísticos de extremos inferiores, como “despreciable”, “mínimo”, etc. son valores desde el valor ínfimo del universo del discurso hasta el primer punto de inflexión. Los tipos C y F, por el contrario, representan valores máximos: “ardiendo”, “máximo”, etc. con valores desde un punto del universo hasta el infinito (o extremo superior del universo). B1, B2 y E son valores intermedios, con su principio y fin, y con su subida y bajada del grado de pertenencia. Con todos los conjuntos difusos se debe abarcar el universo del discurso para que todo valor quede bien definido.

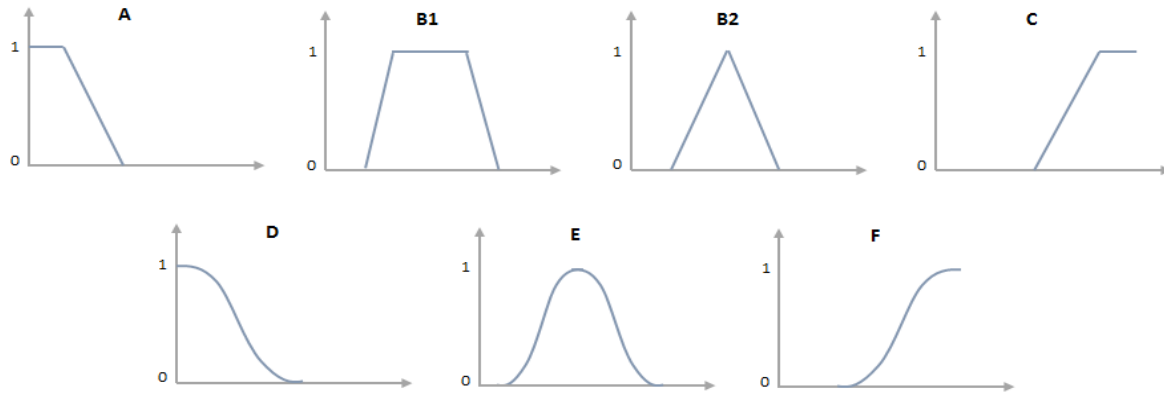


Figura 1.14. Funciones de pertenencia más comunes en lógica difusa.

1.4.3. Variables lingüísticas

Se llama **variable lingüística** a una variable en la que los valores que puede tomar son palabras, que no admiten valores numéricos y no se pueden introducir en un cálculo o una fórmula matemática, es decir a aquella noción o concepto que se califica de forma difusa, por ejemplo: la altura, la edad, el error, entre otras. Se le aplica el adjetivo "lingüística" porque define sus características mediante el lenguaje hablado. De esta forma, una variable lingüística sirve para representar cualquier elemento que sea demasiado complejo, o del cual no tengamos una definición concreta; es decir, lo que no podemos describir en términos numéricos (González, 2011).

1.4.4. Términos lingüísticos

Se le llama término lingüístico (también llamado etiqueta lingüística o valor lingüístico) a las diferentes clasificaciones que se efectúan sobre la variable lingüística: en el caso de la altura, se puede dividir el universo de discurso en los diferentes valores lingüísticos: por ejemplo bajo, medio y alto. Cada variable que interviene como hipótesis en una regla tiene asociado un dominio; cada dominio puede estar dividido en tantos conjuntos borrosos como el experto considere oportuno; cada una de estas particiones tiene asociada una Etiqueta Lingüística. Los símbolos terminales de las gramáticas incluyen:

- **Términos primarios:** "bajo", "alto", ...
- **Modificadores:** "Muy", "más", "menos", "cerca de", ...

Los modificadores pueden asociarse a adverbios como "muy", "ligeramente", "un poco", etc. (Figura 1.15). Estos modificadores pueden aplicarse a oraciones completas, verbos, adjetivos, etc. Normalmente se definen los conjuntos difusos de los términos primarios y, a partir de éstos, se calculan los conjuntos difusos de los términos compuestos (por ejemplo, con "muy" y "alto" se construye el término compuesto "muy alto").

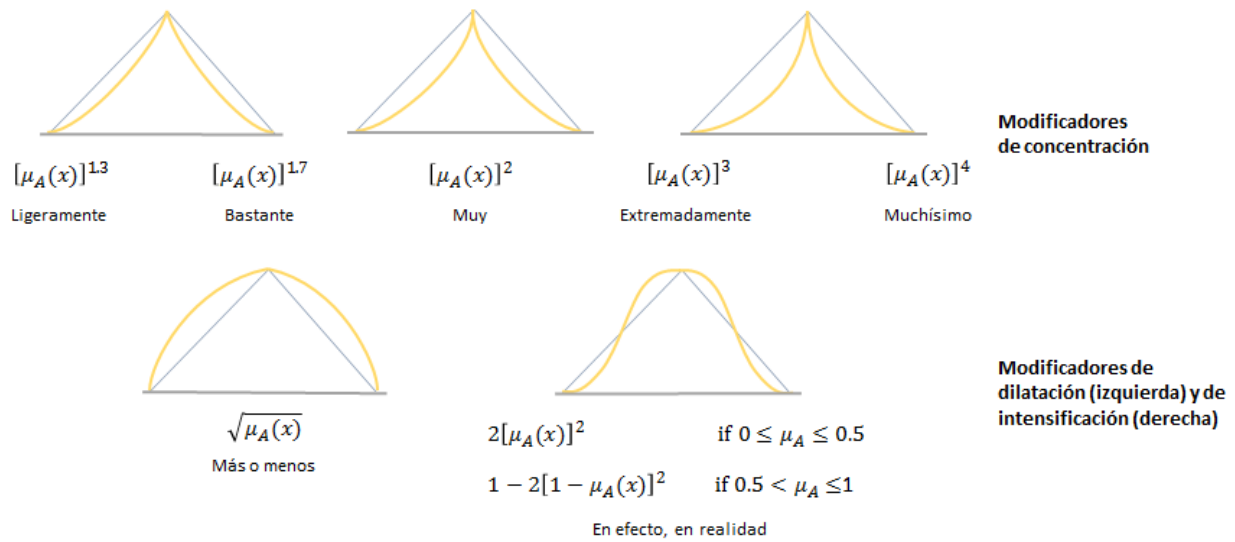


Figura 1.15. Tipo de modificadores lingüísticos.

Como ejemplo se puede analizar la altura de una persona (Figura 1.16) quien es un elemento del conjunto “alto” (con un grado de pertenencia de 0.5) quien es también miembro del conjunto de los “muy altos” (pero con un grado de pertenencia de 0.15, lo cual es razonable).

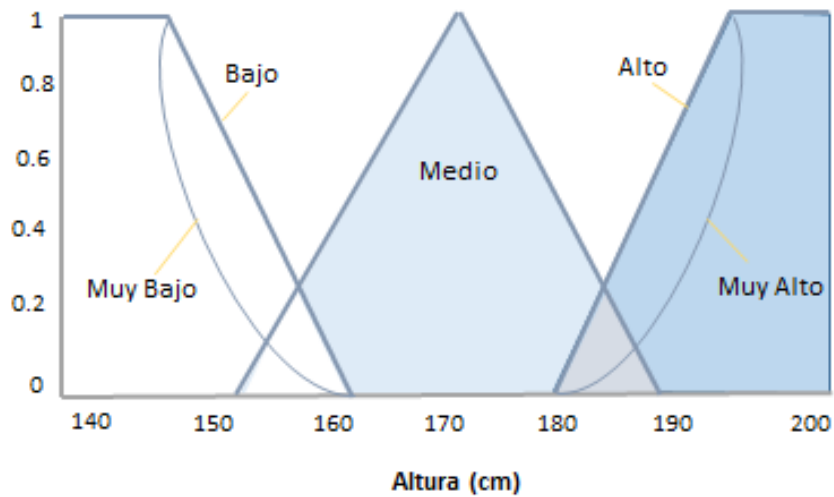


Figura 1.16. Ejemplo del uso de modificadores lingüísticos.

1.4.5. Universo de discurso

El **universo de discurso** es el rango de valores que pueden tomar los elementos que poseen la propiedad expresada por la variable lingüística. En el caso de la variable lingüística 'altura de una persona normal', sería el conjunto de valores comprendido entre 1.4 y 2.3 m.

Suponiendo que se desea representar con conjuntos difusos la variable altura de una persona, en este caso el universo de discurso será el rango de posibles valores de la altura que tenga una persona adulta, se escogerá un rango entre 140 cm y 200 cm, valores por fuera de este rango son posibles pero son muy escasos (Cuadro 1.2). El universo de discurso $U = [140, 200]$, para denominar los conjuntos difusos se suelen trabajar con etiquetas lingüísticas similares a las que se usan de manera coloquial, por ejemplo, en la vida diaria se dice que una persona es Muy Baja (MB), Baja (B), Mediana (M), Alta (A) y Muy Alta (MA) (Figura 1.17).

Cuadro 1.3. Rangos de términos lingüísticos para la variable “Altura de una persona”.

ETIQUETA	RANGO [min, max]
MB	[140, 160]
B	[160, 170]
M	[170, 180]
A	[180, 190]
MA	[190, 200]

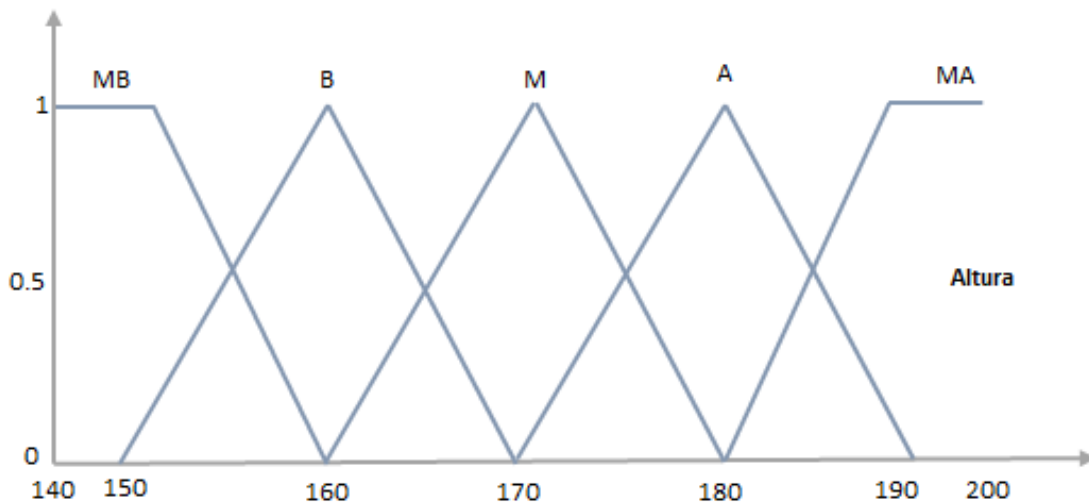


Figura 1.17. Universo de discurso de la variable lingüística “Altura de una persona”.

1.4.6. Otros elementos de los conjuntos difusos

La lógica difusa comprende una serie de conceptos básicos que son necesarios para su aplicación:

- a) Dado un conjunto difuso A, se define como **alfa-corte** de A, al conjunto de elementos que pertenecen al conjunto difuso A con grado mayor o igual que alfa, es decir:

$$A_\alpha = \{x \in X / \mu_A(x) \geq \alpha\}$$

- b) Se define como **alfa corte estricto** al conjunto de elementos con grado de pertenencia estrictamente mayor que alfa, es decir:

$$A_\alpha = \{x \in X / \mu_A(x) > \alpha\}$$

- c) Se define como **soporte** de un conjunto difuso A, al conjunto nítido de elementos que tienen grado de pertenencia estrictamente mayor que 0, o sea, al alfa-corte estricto de nivel 0.

$$\text{Soporte}(A) = \{x \in X / \mu_A(x) > 0\}$$

- d) Se define como **núcleo** de un conjunto difuso A, al conjunto nítido de elementos que tienen grado de pertenencia 1. (alfa-corte de nivel 1).

$$\text{Núcleo}(A) = \{x \in X / \mu_A(x) = 1\}$$

- e) Se define la altura de un conjunto difuso A como el valor más grande de su función de pertenencia.

- f) Se dice que un conjunto difuso está **normalizado** si y sólo si su núcleo contiene algún elemento (o alternativamente, si su altura es 1), es decir:

$$\exists x \in X \quad \mu_A(x) = 1$$

- g) El elemento x de U para el cual $\mu_F(x) = 0.5$ se llama el **punto de cruce**.

- h) Un conjunto difuso cuyo soporte es un único punto x de U y tal que la función de pertenencia de x es 1 (es decir, el soporte coincide con el núcleo y tienen un único punto) se llama un **conjunto difuso unitario** (singleton).

Ejemplo:

Considerando la variable lingüística “Altura de los seres humanos”, que toma valores en el universo de discurso $U = [1.4, 2.50]$. Se hace una clasificación difusa de los seres humanos en tres conjuntos difusos (o valores lingüísticos): bajos, medianos y altos (Figura 1.18). En este diagrama se observan 3 conjuntos difusos sobre la variable lingüística altura, cuyos valores lingüísticos asociados son bajo, mediano y alto respectivamente. Las funciones de pertenencia son de tipo L para bajo, Lambda o Triángulo para el mediano y Gamma para el alto. De este modo si Luis mide 1.80 metros, la lógica difusa nos dice que es un 0.2 mediano y un 0.8 alto.

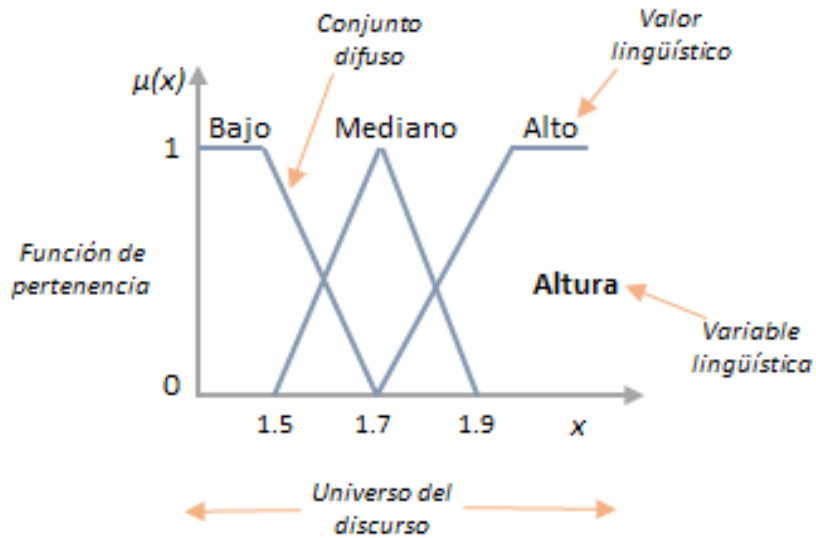


Figura 1.18. Elementos de conjuntos difusos.

De este modo se expresa que mientras un elemento puede estar dentro de un determinado conjunto, puede no cumplir las especificaciones de dicho conjunto al cien por ciento (en el caso de una persona, a la vista del resultado se puede afirmar que es poco mediano y más bien alto).

2.3.7. Reglas difusas

Las reglas difusas son afirmaciones del tipo **SI-ENTONCES**, respondiendo a sentencias del tipo (Sorribes, 2012):

Si x es A entonces y es B

Donde la condición A (o condiciones si existe un antecedente con múltiples entradas) se debe expresar en forma de número difuso y denotar, habitualmente, con palabras. La consecuencia B (o consecuencias si se define la regla con múltiples salidas) se expresa de idéntica forma a la parte condicionante. La práctica totalidad de las sentencias difusas presentan la estructura anterior, al contrario que en la lógica clásica, en la cual se tiende a expresar sentencias de desigualdad (mayor que, menor que, etc.). La lógica difusa no admite, en general, otra forma de expresión que no sea de igualdad mediante la forma “si x es A”, o semejante, ni lo precisa.

Las reglas difusas son proposiciones que permiten expresar el conocimiento que se dispone sobre la relación entre antecedentes y consecuentes. Los conjuntos borrosos del antecedente se asocian mediante operaciones lógicas borrosas AND, OR, etc. Para expresar este conocimiento normalmente se establecen varias reglas que se agrupan formando lo que se conoce como base de reglas, que determinan cuál será el comportamiento del controlador difuso basado en el conocimiento o experiencia del operario y la correspondiente estrategia de control. Junto a cada

regla puede estar asociado un valor entre cero y uno que pesa a tal regla, esto puede ser importante cuando una regla tiene menor fuerza que otras de la base de reglas.

Las reglas difusas de Mamdani son las más antiguas y son las que se utilizan en mayor medida para la toma de decisiones ya que es el sistema más simple conceptualmente, más flexible, generalizable y sobre el que se tiene más experiencia (Sorribes, 2012). Las reglas difusas de Mamdani se estructuran bajo las sentencias:

IF x_1 is A AND x_2 is B AND x_3 is C THEN u_1 is D, u_2 is E

Donde x_1 , x_2 y x_3 son las variables de entrada, A, B y C son funciones de membresía de entrada, u_1 y u_2 son las acciones de control (una acción) en sentido genérico son todavía variables lingüísticas (todavía no toman valores numéricos), D y E son las funciones de membresía de la salida, y AND es un operador lógico difuso (podría ser otro). La primera parte de la sentencia “IF x_1 is A AND x_2 is B AND x_3 is C” es el antecedente y la restante es el consecuente. Un ejemplo es:

IF Población is Aumenta AND Abastecimiento is Disminuye THEN Escasez is Aumenta

Si una regla tiene múltiples antecedentes, se utiliza el operador AND u OR para obtener un único número que represente el resultado de la evaluación. Este número (el valor de verdad) se aplica al consecuente.

El resultado de la evaluación del antecedente se aplica al consecuente, haciendo un recorte o escalado según el valor de verdad del antecedente. El método más comúnmente utilizado es el **recorte** (clipping) que corta el consecuente con el valor de verdad del antecedente. El **escalado** proporciona un valor más preciso, preservando la forma original del conjunto difuso (Figura 1.19). Se obtiene multiplicando todos los valores por el valor de verdad del antecedente (González, 2011).

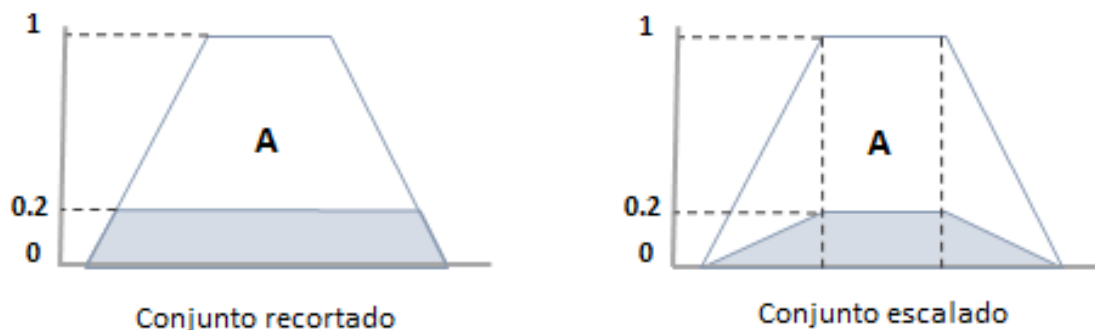


Figura 1.19. Corte y escalado de una regla difusa.

1.4.7. Agregación de las salidas y Defuzificación

La **agregación de las salidas** es el proceso de unificación de las salidas de todas las reglas; es decir, se combinan las funciones de pertenencia de todos los consecuentes previamente recortados o escalados (habitualmente se suele utilizar la operación lógica unión), combinando para obtener un único conjunto difuso por cada variable de salida (Figura 1.20), donde el resultado no resulta afectado por las reglas cuyo seguimiento es nulo.

La última fase de operación del sistema de inferencia difusa consiste en la **defuzificación**, o conversión del dato de salida difuso agregado en no difuso. En esta etapa se toma como entrada el conjunto difuso anteriormente obtenido para dar un valor de salida. Existen varios métodos de defuzificación, pero probablemente el más ampliamente usado es el centroide; que calcula el punto donde una línea vertical divide el conjunto en dos áreas con igual masa (Figura 1.21).

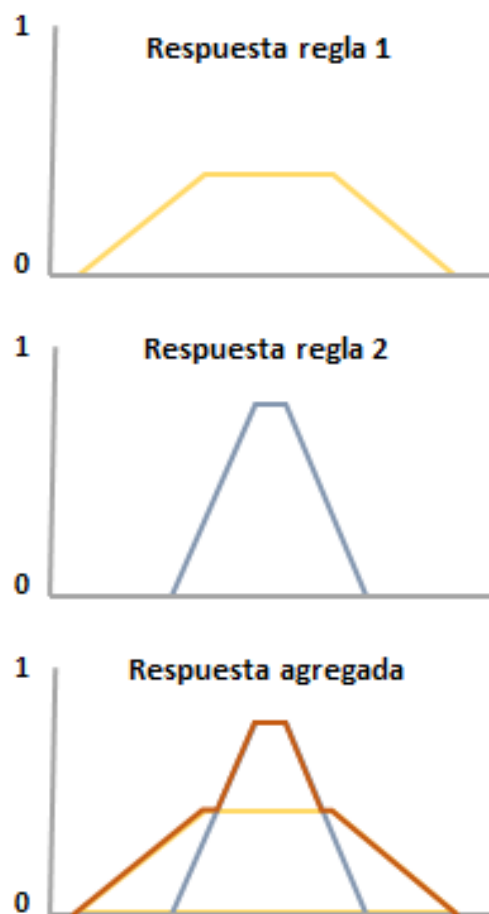


Figura 1.20. Agregación de respuestas en lógica difusa.

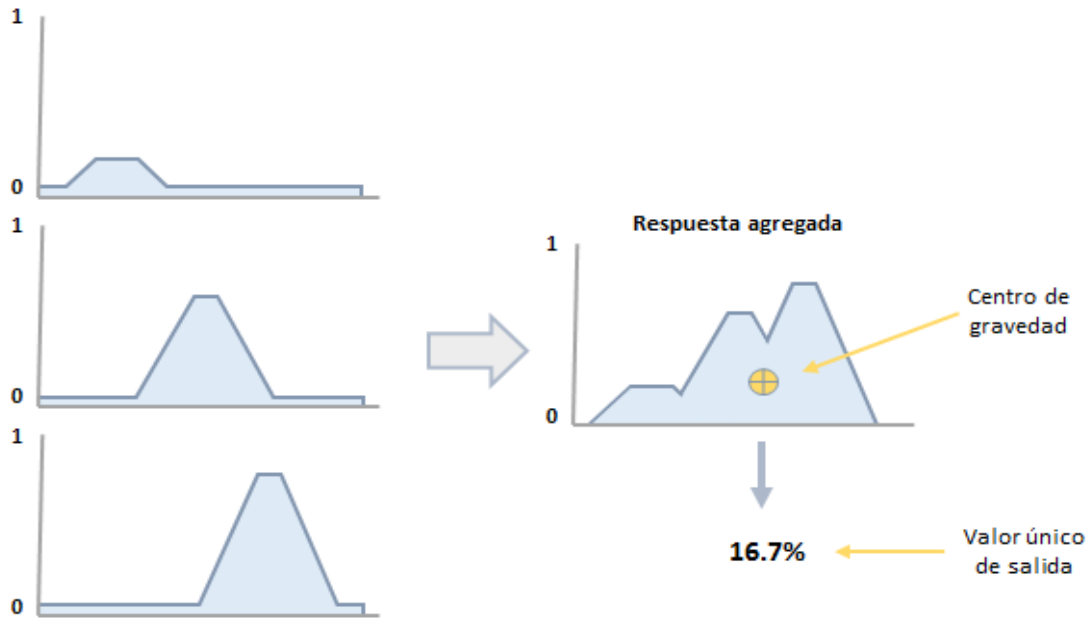


Figura 1.21. Proceso de defuzificación para la obtención de un valor único de salida.

Capítulo 2 – Metodología

La metodología utilizada en la presente investigación se enmarca dentro de los procesos de Reconocimiento, Identificación y Conceptualización que componen la estructura de Gestión Integrada de Recursos Hídricos, la cual se describe como un proceso cíclico y de mejora continua (UNESCO, 2009) que a su vez tiene un fuerte fundamento metodológico de la planeación estratégica (Figura 2.1).

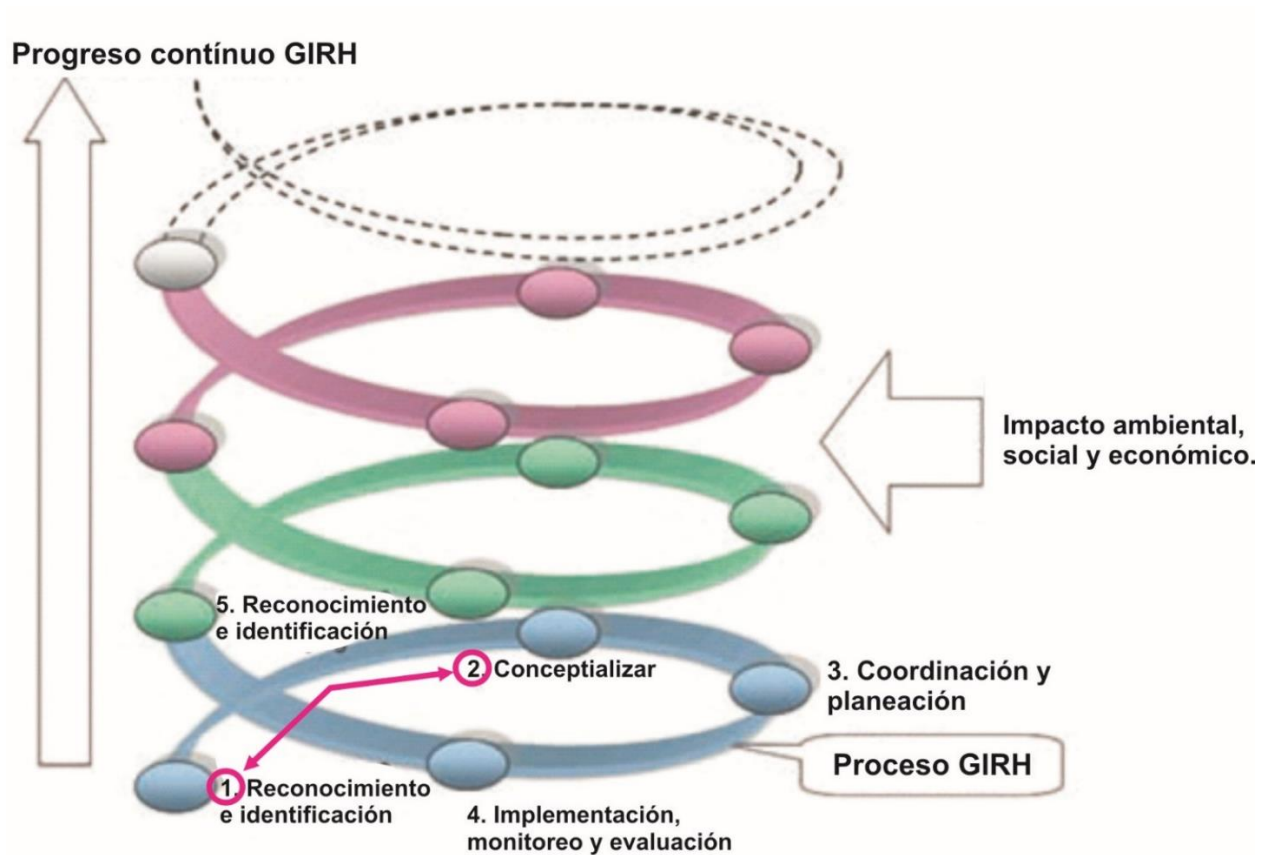


Figura 2.1. Etapas de Reconocimiento, Identificación y Conceptualización en el ciclo de la gestión, planificación e implementación de la GIRH. **Fuente:** (GWP e INBO, 2009).

Tanto la planeación estratégica como la GIRH establecen que el primer paso para abordar una problemática dada es la elaboración de un diagnóstico, el cual requiere de la búsqueda de información documental y de trabajo de campo en conjunto para caracterizar los componentes del sistema hídrico, esta recopilación de información permite identificar los problemas prioritarios y definir variables, las cuales a su vez son la base para la generación de indicadores, que tienen un papel fundamental para conocer el comportamiento de un sistema y evaluar la efectividad de las medidas tomadas para la solución de sus problemáticas.

Dados estos fundamentos y con la finalidad de alcanzar los objetivos planteados, se han propuesto los pasos metodológicos mostrados en la Figura 2.2., estos pasos fueron agrupados en tres fases: La primera de ellas se enfoca en la caracterización de los sistemas ambiental, social y económico; la segunda en la selección de indicadores, la identificación de sus interrelaciones y su representación cartográfica; y la tercer fase, que está orientada en la ponderación de los indicadores mediante la aplicación de lógica difusa, lo que permitió generar cartografía ubicar las zonas que requieren una atención prioritaria para la mejora del estado de los recursos hídricos dentro del municipio.

El procedimiento que se siguió para cada una de las etapas consideradas en el esquema metodológico se describe con detenimiento en los incisos posteriores.

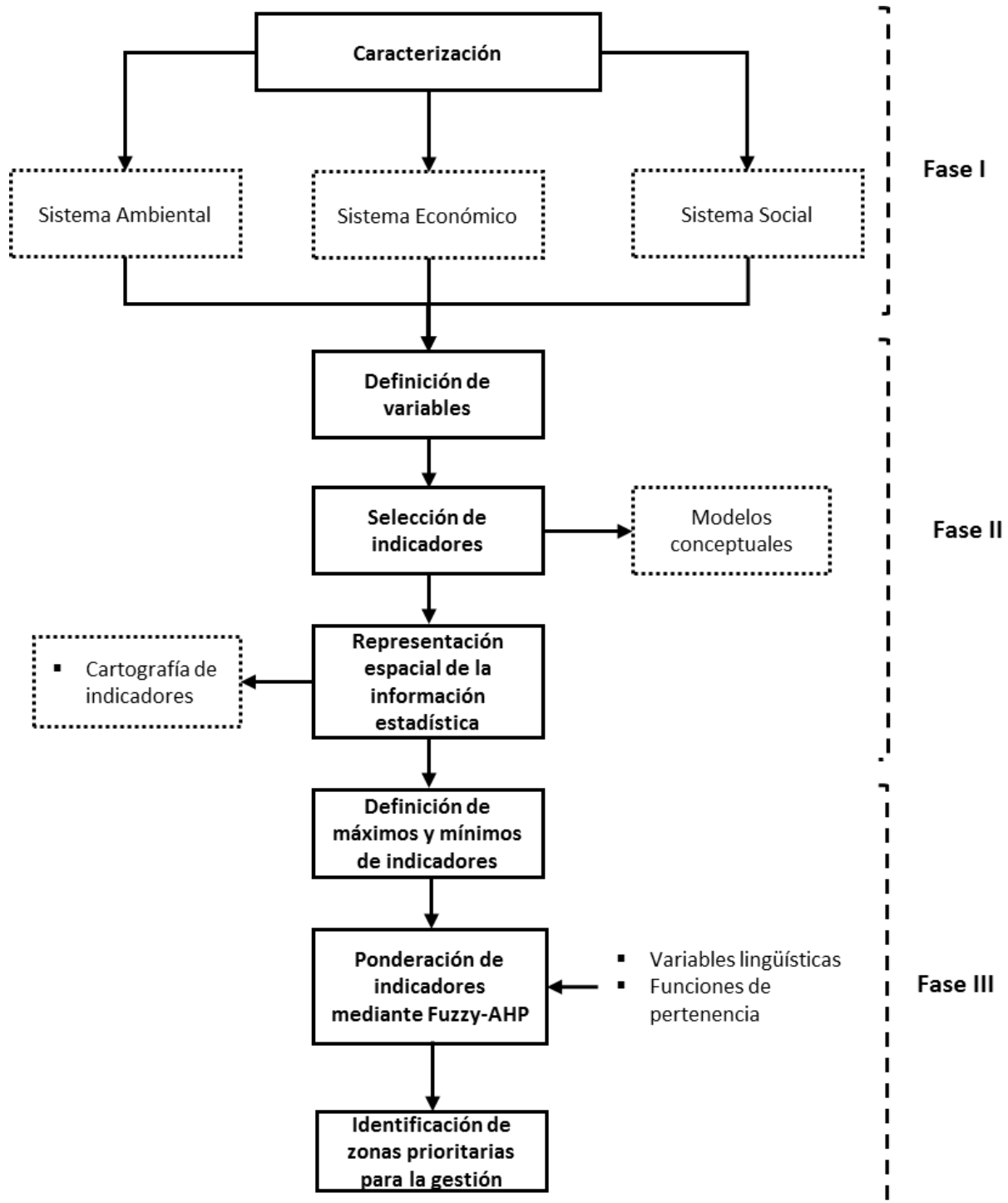


Figura 2.2. Esquema metodológico.

2.1 CARACTERIZACIÓN DE LOS SISTEMAS AMBIENTAL, ECONÓMICO Y SOCIAL

Para esta etapa, el sistema de los recursos hídricos de Ixtapan de la Sal se dividió en tres componentes principales, favoreciendo el análisis de las variables y actores que intervienen en la configuración de la dinámica hídrica del área de estudio, y está cimentada en la propuesta Common y Perrings (1992) de un modelo de asignación de recursos que comprenda tanto el concepto económico como el ecológico de sostenibilidad, pensando que la economía y el medio ambiente son componentes de un sistema global y que inciden directamente sobre la estructura social.

Esta forma de abordar la problemática de los recursos hídricos comenzó a gestarse con la aparición del concepto de desarrollo sostenible, el cual fue popularizado a partir de la publicación del Informe Brundtland en 1987, el cual estuvo a cargo de la Comisión Mundial para el Medio Ambiente y el Desarrollo (CMMAD), y en el cual se señala que “El desarrollo sostenible implica un énfasis mucho mayor en la conservación de la base de recursos naturales, del que depende todo el desarrollo, y más atención a la equidad en la sociedad y entre las naciones más ricas y pobres, con un enfoque que va más allá de las generaciones actuales”.

Para la CMMAD, medio ambiente y desarrollo no son elementos contradictorios, sino que están unidos inexorablemente. El desarrollo no puede subsistir sobre una base de recursos deteriorada desde un punto de vista medioambiental, y el medio ambiente no puede protegerse cuando el crecimiento no tiene en cuenta los costes de la destrucción del entorno natural. Es así que la CMMAD considera que, aunque en el pasado las políticas económica y medioambiental se mantenían separadas, con conexiones apenas reconocidas, el desarrollo sostenible insiste en su integración, ya que estos problemas no pueden tratarse por separado mediante instituciones y políticas fragmentadas. A partir de estos postulados, autores como Barbier (1989) hablan de desarrollo económico sostenible refiriéndose al nivel óptimo de interacción entre los sistemas biológico, económico y social a través de un proceso dinámico y adaptativo de intercambios. De la misma forma Daly y Gayo (1995) entienden que la sostenibilidad es la capacidad de continuar en el futuro siempre y cuando exista una integración entre los sistemas ecológico, económico y social.

Entendiendo que la economía pretende maximizar el bienestar humano dentro de las limitaciones del capital y tecnología existentes; la ecología hace especial hincapié en preservar la integridad de los subsistemas ecológicos con el fin de asegurar la estabilidad del ecosistema mundial, y la sociología resalta que los agentes clave son los seres humanos, siendo su esquema de organización social fundamental para encontrar soluciones viables que permitan alcanzar el desarrollo sostenible (Serageldin, 1993), es necesario comprender las relaciones que se llevan a cabo entre estos tres sistemas para poder explicar la problemática y proponer estrategias de gestión.

En este sentido, se caracterizaron tres sistemas (ambiental, económico y social) para abordar la problemática de los recursos hídricos en el municipio de Ixtapan de la Sal mediante una exhaustiva investigación y recopilación de datos de tipo documental, de bases de datos, geográfica (mapas impresos, archivos vectoriales y raster), perteneciente a instituciones gubernamentales, universidades y empresas, analizando, depurando y estructurando toda aquella información que esté relacionada con la temática de estudio tanto del punto de vista ambiental como socioeconómico.

Sin embargo, una parte importante de los datos requeridos no se encuentran documentados, por lo cual fue preciso recurrir a entrevistas abiertas, conversaciones, cuestionarios y registros de observación directa, las cuales son algunas de las herramientas utilizadas por el método etnográfico el cual busca un entendimiento en la organización de distintos grupos y sociedades (Fetterman, 1989). Para ello se requirió realizar trabajo de campo en el cual se incluyeron visitas a diferentes actores y organizaciones que tienen injerencia en el manejo de los recursos hídricos. A continuación, se describen las actividades realizadas para la caracterización de los tres sistemas.

2.1.1 Sistema ambiental

La caracterización de este sistema se enfocó en analizar y describir los recursos hídricos subterráneos y superficiales, ya que ambos tienen un peso específico en la configuración de los sistemas de manejo del agua en el municipio.

a) Recursos hídricos subterráneos

Para el caso de los recursos hídricos subterráneos, se homogenizó e interpretó la información correspondiente a geología, estructuras, fallas, lineamientos, uso de suelo, topografía, vegetación, red de drenaje y precipitación, solicitada a instituciones gubernamentales como el INE, la CAEM, la delegación estatal de CONAGUA, el INEGI y el OPDAPAS del municipio de Ixtapan de la Sal, entre otros. Aunado al trabajo de gabinete se realizó trabajo de campo con la finalidad de ubicar las fuentes de abastecimiento del agua subterránea, para posteriormente analizar las propiedades físicas y químicas de los manantiales tanto de agua dulce, como de agua termal.

La caracterización de las aguas de los manantiales se consideró fundamental para poder determinar su composición, propiedades, origen y cambios en el tiempo, y así definir si existe o no algún grado de vulnerabilidad intrínseca, para de esta forma establecer procesos de gestión que puedan mantener la cantidad y calidad de este recurso. Para determinar los parámetros físicos del agua se realizaron mediciones *in situ* mediante el uso de un equipo Thermo Scientific Orion Star A329 (Figura 2.3) con tres sondas que miden pH, oxígeno disuelto, sólidos disueltos, salinidad y temperatura. Las mediciones se tomaron lo más cercano al punto de emergencia de las aguas termales, debido a que este factor influye directamente en los valores de temperatura.

De igual manera, con el objetivo de cuantificar la presencia de los elementos químicos mayores y elementos traza en el agua, se tomaron muestras para analizarse en laboratorio, para tal fin se enviaron al laboratorio de Geoquímica Ambiental, perteneciente al Centro de Geociencias de la Universidad Autónoma de México.



Figura 2.3. Equipo utilizado en mediciones de campo.

Para determinar los parámetros químicos del agua se tomaron muestras de 200 ml en los manantiales y se analizaron mediante dos métodos:

1. Método HPLC que determina los aniones: F^- , Cl^- , NO_3^- , Br^- , PO_4^{2-} y SO_4^{2-}
2. Método ICP-Óptico que determina los cationes: Al^{+3} , As^+ , Ba^+ , Be^+ , Bi^+ , Ca^{2+} , Cd^+ , Co^{2+} , Cr^{2+} , Cu^+ , Fe^+ , K^+ , Mg^{2+} , Mn^{7+} , Mo^+ , Na^+ , Ni^{2+} , Pb^{2+} , Sb^{3+} , Se^+ , Si^+ , Sr^{2+} y Zn^{2+} .

Para dicho análisis se tomaron dos muestras en cada sitio visitado, una para cationes filtrada a $0.45\mu m$ y con HNO_3 concentrado como preservador; y otra muestra para aniones filtrada a $0.45\mu m$, sin preservadores (Figura 2.4). Asimismo, durante las visitas de campo se muestreó la geología en cada punto, con el propósito de relacionar la presencia de ciertos minerales en el agua y las rocas con las que ha estado en contacto. Esta información fue la base para definir el modelo conceptual hidrogeológico de la zona de estudio, lo cual permitió conocer el sistema acuífero y sus interacciones con el entorno.

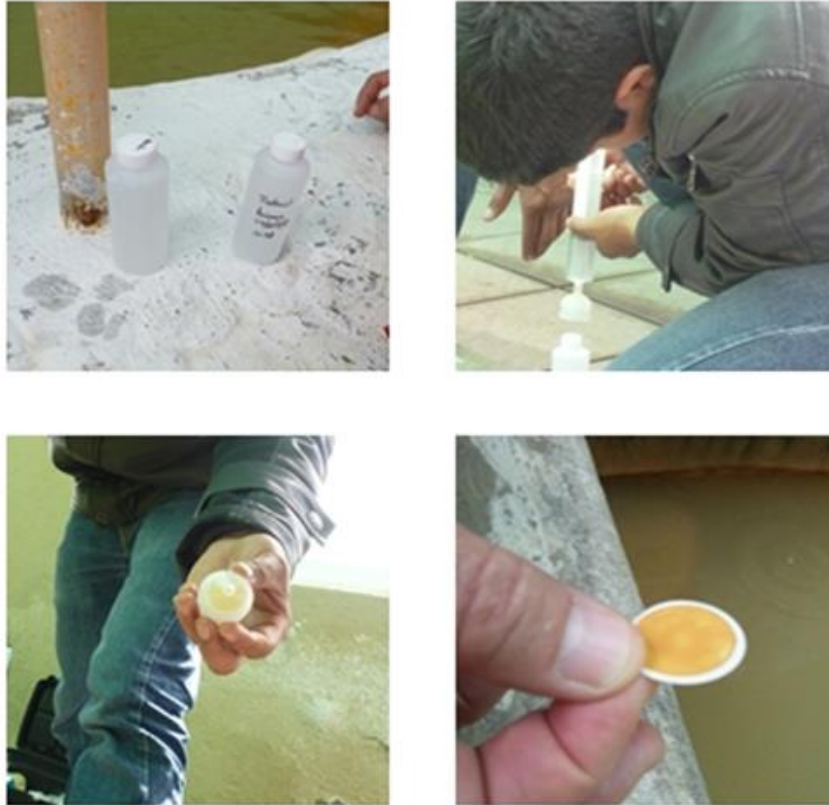


Figura 2.4. Muestreo del agua termal.

b) Recursos hídricos superficiales

En relación a los recursos hídricos superficiales, se definieron las entradas y salidas del sistema con sus respectivos caudales, así como los puntos de distribución, y almacenamiento del agua. El primer acercamiento se basó en el análisis de la cartografía hidrológica disponible, en la cual se ubicaron los principales escurrimientos y cuerpos de agua presentes en el municipio; posteriormente, en trabajo de campo, se recorrieron los puntos claves de la infraestructura con la que cuenta el municipio para la potabilización, el abastecimiento y tratamiento de los recursos hídricos.

La ubicación de los puntos visitados en campo se registró en un Sistema de Información Geográfica y mediante el uso de imágenes de satélite se digitalizó el canal federal por el cual llega el agua concesionada a Ixtapan de la Sal desde la ladera sur del volcán Nevado de Toluca.

La representación de estos resultados se basó fundamentalmente en mapas y diagramas, en los que se muestra la estructura, secuencia y relación de estos componentes.

2.1.2 Sistema social

En este rubro se analizó la dinámica poblacional, su crecimiento, distribución y su interacción con los recursos hídricos a través de los diversos órganos de manejo del agua y su aprovechamiento.

En primer término, se recopiló y analizó la información relacionada con la distribución de la población por tamaño de localidad, marginación, índice de desarrollo humano, acceso a servicios de salud, agua y drenaje, entre otros.

En segundo término, fue necesario identificar a los actores sociales que tienen injerencia en el aprovechamiento del recurso, para ello se realizó trabajo de campo con apoyo del OPDAPAS, el cual ayudó a identificar a las personas e instituciones que tienen peso en la toma de decisiones de los recursos hídricos en el municipio.

Se visitaron comunidades donde se registran conflictos sociales relacionados con el agua, se observó la participación social y las razones que dieron origen a tales conflictos, así como las acciones tomadas por las autoridades encargadas del tema para darles solución.

Asimismo, se realizaron entrevistas abiertas y se aplicaron encuestas a usuarios del agua y a dichos actores con el fin de conocer la problemática presente en el municipio y la relación jerárquica entre estos. El diseño de las encuestas para la caracterización socioeconómica del municipio de Ixtapan de la Sal estuvo enfocado en obtener información sobre el abastecimiento y la percepción que tienen los usuarios del agua sobre las problemáticas del municipio asociadas a los recursos hídricos.

Con respecto al abastecimiento las preguntas están dirigidas a conocer si la población conoce las fuentes de abastecimiento de agua en el municipio, si el agua que le es suministrada es suficiente para cubrir sus necesidades y si consideran que el costo por este servicio es justo; también se buscó conocer si percibe que algún sector en particular tiene mayores privilegios en el abastecimiento del agua, y conocer su opinión sobre el Organismo Operador de Agua Potable, si tiene canales de comunicación adecuados con los usuarios.

Sobre la problemática, se buscó conocer el impacto del agua termal en la configuración socioeconómica del municipio, si las modificaciones de las actividades económicas han sido beneficiosas para la población, y cuales son a consideración de los usuarios, los sectores que deberían tener preponderancia en la resolución en sus problemas de abastecimiento de agua potable. Dicha encuesta fue aplicada a los usuarios el servicio de agua potable (Ver anexo 1).

La encuesta consta de 24 preguntas cerradas y abiertas agrupadas en tres apartados: Información general del encuestado, Abastecimiento y Problemática, al final se le pide al encuestado que señale en una de las seis AGEB de la cabecera municipal donde se encuentra su vivienda. El Cuadro 2.1 muestra el resumen de la encuesta aplicada en la zona de estudio.

Cuadro 2.1. Contenido resumido de la encuesta aplicada a los usuarios del agua potable.

INFORMACIÓN GENERAL	ABASTECIMIENTO	PROBLEMÁTICA
Nombre del encuestado	¿Cuáles son las fuentes que abastecen de agua a Ixtapan de la Sal?	¿Qué problemas relacionados con el agua ha detectado en el municipio?
Colonia	¿Cuántos días por semana tiene suministro de agua en su casa? 1-2, 3-4, 5-7	¿Ha detectado algún problema relacionado con el manejo del agua termal? Si, No En caso de contestar positivo ¿Cuáles?
Edad	¿El agua suministrada en su casa es suficiente para cubrir sus necesidades? Si, No	¿El agua termal influye de manera directa o indirecta con alguna de sus actividades? Si, No
Ocupación	¿Considera adecuada la tarifa por el servicio del agua? Si, No	¿Qué acciones considera que se deberían tomar para mejorar el estado de los recursos hídricos en su municipio?
	¿Considera que algún sector es mayormente beneficiado con el suministro de agua? Si, No En caso de contestar positivo ¿Cuál sector? Doméstico, Comercial, turístico, Agricultura	¿En qué medida el cambio de actividad agrícola a turística ha beneficiado al municipio? Mucho, Poco, Nada
	¿Cómo califica el desempeño del Organismo Operador del Agua? Bueno, Regular, Malo	¿Qué sector considera que debería tener mayor atención para resolver sus problemas hídricos? (Asigne un valor considerando que 1 tiene mayor peso y 5 menor peso). Doméstico, Comercial, Turístico, Agropecuario, Industrial.
	¿Considera que los canales de comunicación entre la autoridad encargada del manejo del agua y la población funcionan correctamente? Si, No ¿Por qué?	
	Considera que la cantidad de agua que se destina a la actividad turística es: Adecuado, Excesivo, Insuficiente ¿Por qué?	

Otro aspecto que se considera que ha tenido un peso particular a lo largo del tiempo sobre el desarrollo social y económico en Ixtapan de la Sal es el aprovechamiento de los recursos hídricos termales tanto para fines turísticos, como para la extracción y comercialización de sal. Por ello se ha hecho un análisis de información histórica, verificándola con trabajo de campo, donde se destaca el aprovechamiento de este recurso en diferentes etapas de la historia de México y se

pone de manifiesto la importancia y el impacto regional de la zona de estudio debido a estas actividades.

Al igual que en los sistemas anteriores, el análisis y la relación entre las variables identificadas en este sistema se concentraron en diagramas de flujo donde se muestra el peso de cada variable y su injerencia para el aumento o decremento de una cultura del agua.

2.1.3 Sistema económico

Con relación a este sistema, se identificaron los procesos productivos y los servicios relacionados con los recursos hídricos para determinar el grado de dependencia que hay al agua subterránea y sus respectivos indicadores.

En este sentido, se analizaron los reportes emitidos por agencias gubernamentales de los tres niveles de gobierno con respecto al crecimiento económico del municipio (INAFED, INEGI, Censo Económico de Ixtapan de la Sal, PNUD, Sistema Estatal y Municipal de Bases de Datos, Plan de Desarrollo Urbano de Ixtapan de la Sal, Bando Municipal de Ixtapan de la Sal), se recurrió a bases de datos recientes e históricas sobre el Producto Interno Bruto (considerando el consumo, la inversión privada y el gasto público), ingresos y egresos municipales, fondos de inversión, Unidades Económicas (empresas) registradas en el municipio por rubro de actividad económica y número de empleados, se analizaron y compararon las cifras de la Población Económicamente Activa y los niveles de ingresos por grupo de población.

Para la obtención de información de campo se aplicaron encuestas a los usuarios del agua, en las cuales se pregunta la postura de las personas con respecto al costo del servicio y su opinión sobre la distribución que se le da al agua en relación a los sectores económicos (Anexo 1, pregunta 2.4, 2.5 y 2.6).

La distribución de las actividades primarias dentro del territorio municipal se representó cartográficamente mediante el mapa de uso de suelo, en el cual se identifican las zonas dedicadas a la agricultura tanto de temporal como de riego.

Para las actividades secundarias y terciarias se recurrió a información publicada por el Sistema de Información Empresarial Mexicano (SEIEM) en el cual se presentan los giros de los establecimientos registrados ante diversas cámaras de producción (CANACO, Cámara Mexicana de la Industria de la Construcción, SERVYTUR, entre otras), en dichos datos se especifica la dirección de los establecimientos registrados y a partir de ello se localizaron mediante el uso de SIG.

Finalmente, las variables encontradas se relacionaron en un diagrama de flujo en el que consideran los sectores económicos primario, secundario y terciario, y la relevancia de cada

sector en la dinámica municipal, mostrando la relación de estos con el crecimiento y la generación de empleo.

2.2. DEFINICIÓN DE VARIABLES

Una parte importante del proceso de la generación de indicadores para la gestión de recursos hídricos es la definición de variables representativas del sistema que se está analizando (WWA, 2003), este proceso surge de la necesidad de traducir información en información orientada a la política, donde los indicadores toman variables y las condensan en conjuntos de información manejables (Figura 2.5).

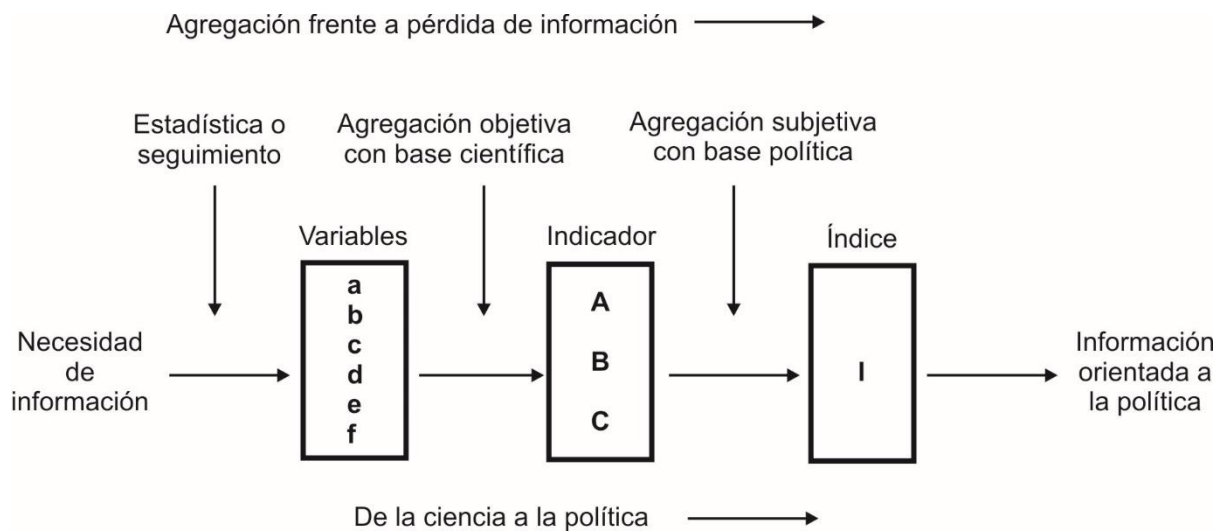


Figura 2.5. Diferencia entre variable, indicador e índice. Fuente: (WWAP, 2003).

A partir del proceso de caracterización de los sistemas ambiental, social y económico se realizó una selección de variables prioritarias en el municipio, para eliminar aquellos componentes que se consideraron de menor relevancia en el manejo de los recursos hídricos y así poder acotar los límites del sistema hídrico de Ixtapan de la Sal.

La organización de las variables se estructuró basado en el análisis de las Fortalezas, Limitaciones, Oportunidades, Amenazas (FLOA) (Thompson y Strikland, 1998), el cual consiste en realizar una evaluación de los factores fuertes y débiles que en su conjunto diagnostican la situación interna de un sistema (fortalezas y limitaciones), así como su evaluación externa; es decir, las oportunidades y amenazas. Esta herramienta puede considerarse adecuada para realizar un diagnóstico general de la situación estratégica de un sistema determinado (Ponce, 2007).

El formato utilizado para ordenar las variables (Cuadro 2.2) cumple el objetivo de ordenar los aspectos observados en campo y en el análisis documental, traduciéndolos en variables. Este formato se utilizó para las variables de los tres subsistemas (Ambiental, económico y Social).

Cuadro 2.2. Formato para la organización de variables.

	POSITIVAS		NEGATIVAS	
INTERNAS	FORTALEZAS		LIMITACIONES	
	Aspectos observados	Variable	Aspectos observados	Variable
EXTERNAS	OPORTUNIDADES		AMENAZAS	
	Aspectos observados	Variable	Aspectos observados	Variable

2.3. SELECCIÓN DE INDICADORES

Una vez establecidas las variables fue necesario realizar un análisis que ayudará a definir una serie de indicadores que expliquen el comportamiento del sistema hídrico a través del tiempo y que a su vez permitieran establecer tendencias futuras.

De acuerdo con la OCDE (Organización para la Cooperación Económica y el Desarrollo) (1998), un indicador puede definirse, de manera general, “como un parámetro o valor que señala o provee información o describe el estado de un fenómeno dado que conlleva, dos funciones básicas:

- a) Reducir el número de mediciones y parámetros que normalmente se requieren para reflejar una situación dada.
- b) Simplificar el proceso de comunicación con el usuario.

El método utilizado para la selección de los indicadores fue el método de sistemas, que a decir de la Comisión Económica de Naciones Unidas para Europa (CEPE) (2003), analiza de forma completa las entradas, las existencias y las salidas de un tema dado, basándose en el concepto de dinámica de sistemas, ofreciendo una guía para avanzar en la comprensión del comportamiento de cada sistema a lo largo del tiempo, argumentando que la mayoría de los sistemas mantienen interacciones con otros sistemas que son importantes para su viabilidad (en este caso los subsistemas ambiental, económico y social).

De acuerdo con CEPE (2003), el método de sistemas se ha aplicado para desarrollar indicadores de sostenibilidad y se basa en indicadores específicos dirigidos al estudio de sistemas humanos (incluyendo desarrollo social e individual, y gobierno), sistemas de apoyo (incluyendo economía e infraestructuras) y sistemas naturales (incluyendo recursos y medio ambiente).

Dadas estas condiciones, se propuso estructurar las variables seleccionadas en modelos conceptuales para cada subsistema que fue analizado en el proceso de caracterización, entendiéndose como modelo conceptual la abstracción verbal o visual de una parte del mundo desde un punto de vista determinado CEPE (2003). La secuencia de estos modelos conceptuales entendida como sistema se presentan en la Figura 2.6.

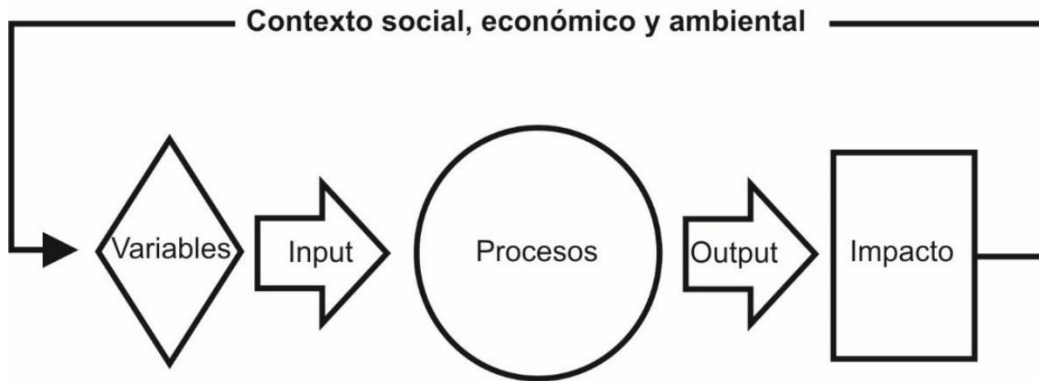


Figura 2.6. Modelo interpretativo de relaciones. **Fuente:** Modificado de Corvalán 2000.

No obstante, presentar de esta manera cada una de las variables mantiene una visión sectorizada de su comportamiento y sus posibles conexiones. Para evitar estos inconvenientes, el diseño de los modelos conceptuales de la presente investigación incluyó a todas las variables de cada sistema, lo que permitió observar de forma simplificada su secuencia temporal y espacial y las diversas conexiones entre ellas.

Aunado a esto, se incluyeron relaciones entre variables que se encuentran en distintos sistemas ya que uno de los principales postulados de la teoría de sistemas (Bertalanfy, 1950) es que en la naturaleza no existen sistemas cerrados; en este sentido, Burton (2003) presenta un proceso metodológico correspondiente a la etapa de documentación de la GIRH, en el cual se destaca que para llegar a un diagnóstico es necesario la identificación de elementos de enlace Figura 2.7.

Basado en lo anterior, además de mostrar en los modelos conceptuales las relaciones de las variables dentro de su respectivo sistema, se señalaron también las conexiones que algunas de ellas tienen con otros sistemas, destacando así la importancia de conocer que los factores considerados no actúan de forma aislada, sino que son producto y/o resultado de una secuencia de procesos interconectados.

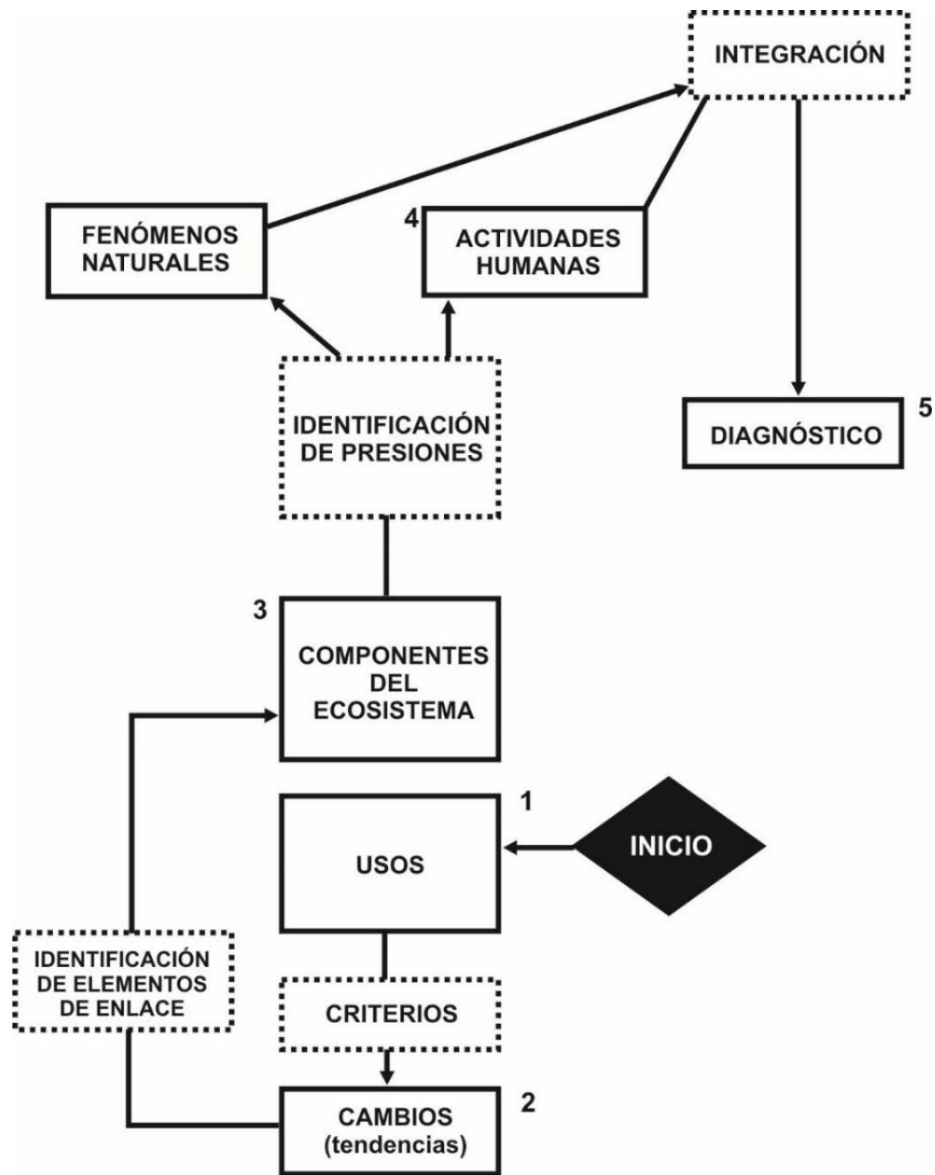


Figura 2.7. Proceso metodológico de la etapa de documentación de la GIRH. **Fuente: Burton (2003).**

Producto de este procedimiento fue posible la identificación de los elementos con más relevancia en los sistemas (basado en la cantidad de relaciones obtenidas y la ubicación estratégica de cada variable), lo que permitió definir aquellos indicadores que serían considerados en este estudio.

El proceso seguido para insertar las variables dentro de los modelos conceptuales se muestra en la Figura 2.8.

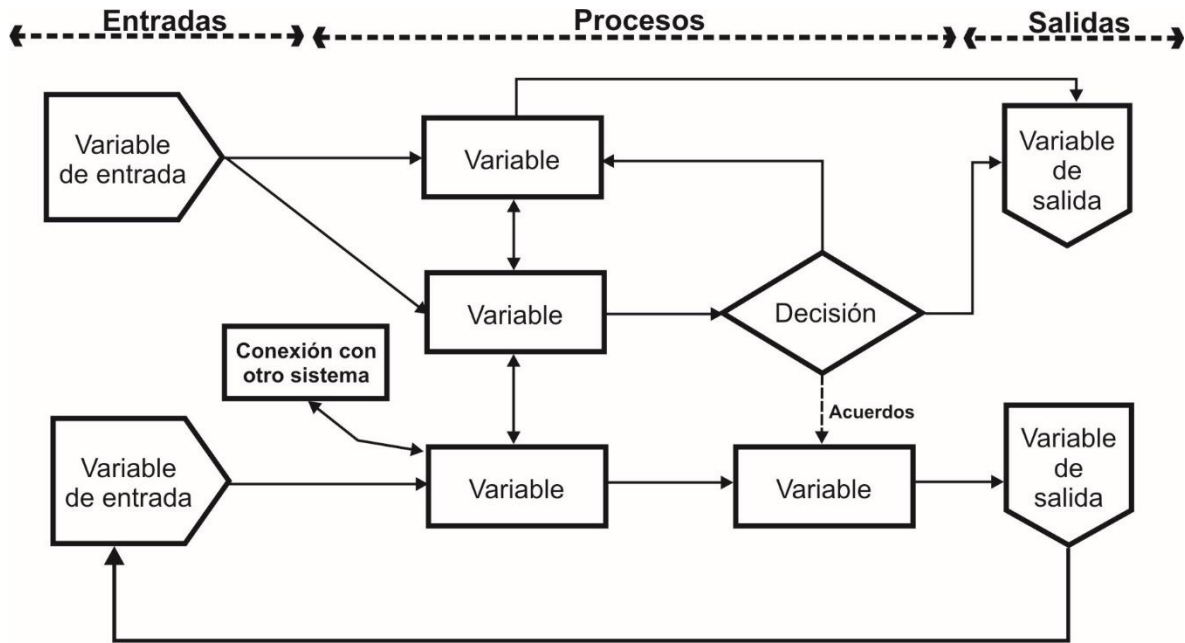


Figura 2.8. Proceso para ordenar las variables dentro de los modelos conceptuales. **Fuente:** Elaboración propia.

Adicionalmente, se consideraron los criterios establecidos por Reygaldas (2003) para la selección de los indicadores para la caracterización del territorio, los cuales deben cumplir con las siguientes características:

- Se basan en metodologías sencillas.
- Para su obtención, existen fuentes de datos accesibles y confiables.
- Pueden actualizarse periódicamente con fines de monitoreo.
- Permiten establecer tendencias.
- Pueden ser representados cartográficamente.

Estos criterios son aplicables en mayor medida a una escala estatal o regional, sin embargo, al tratarse de un estudio que requiere información a nivel localidad, en numerosos casos no se cuenta con datos suficientes para poder desarrollar un indicador, por lo cual es necesaria la recogida de datos en campo, lo que puede presentar cierta debilidad en los criterios de contar con datos accesibles y presentar una actualización periódica. No obstante, es un ejercicio válido para conocer el comportamiento de ciertos elementos que intervienen en el proceso de gestión de recursos hídricos de un sistema municipal.

A modo de resumen se presenta la secuencia de metodológica que se siguió para la selección de indicadores (Figura 2.9).

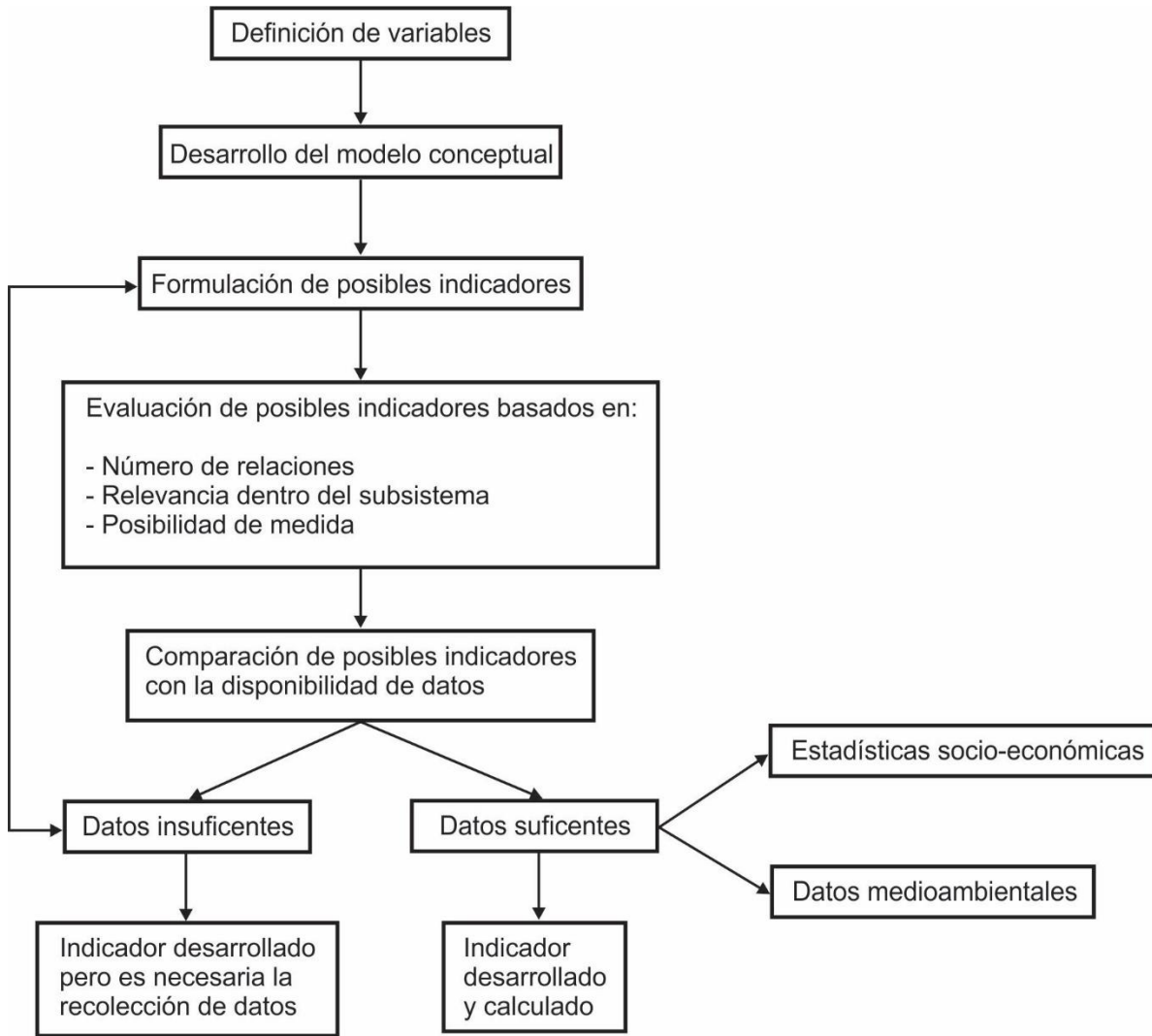


Figura 2.9. Proceso para la selección de indicadores. Fuente: WWA (2003).

2.4 ESPACIALIZACIÓN DE INDICADORES

Uno de los objetivos principales de la presente investigación es representar de manera espacial los indicadores relacionados con la gestión del agua a nivel localidad. Generalmente, los reportes de CONAGUA y CAEM los datos y cifras se presentan a nivel estatal y en el mejor de los casos a nivel municipal, sin embargo, si un gobierno municipal considera dentro de su plan de desarrollo la mejora de la gestión del agua, necesita identificar dentro de su territorio de manera puntual (a nivel localidad o AGEBA), las zonas que concentran la mayor problemática y que necesitan ser atendidas en primera instancia.

Es así que se han representado espacialmente las localidades que se ubican dentro del territorio municipal. Al respecto, un problema detectado es que la información cartográfica proporcionada por el INEGI asigna un punto a cada localidad, lo cual impide conocer el área de influencia de los asentamientos humanos, por lo cual, para la presente investigación se consideró un área de influencia de 1 km² para cada localidad asignado a partir de una malla continua que cubre todo el territorio (Figura 2.10).

La generación de esta malla también permitió representar información ambiental, como uso de suelo, temperatura y precipitación, que se pueden obtener de fuentes de datos como WorldClim, cuyas capas de información tienen una resolución de 1 km², esta información se caracteriza por presentar valores continuos sobre todo el territorio, a diferencia de la información social y económica que únicamente está disponible para los centros de población; sin embargo es posible realizar álgebra de mapas en aquellas celdas en las que coincidan espacialmente y haya disponibilidad de información. Esta malla obliga a dividir las AGEB urbanas en dos o más celdas, según su correspondencia, sin embargo, los valores estadísticos se rrepitieron en las celdas que tenían la misma clave.

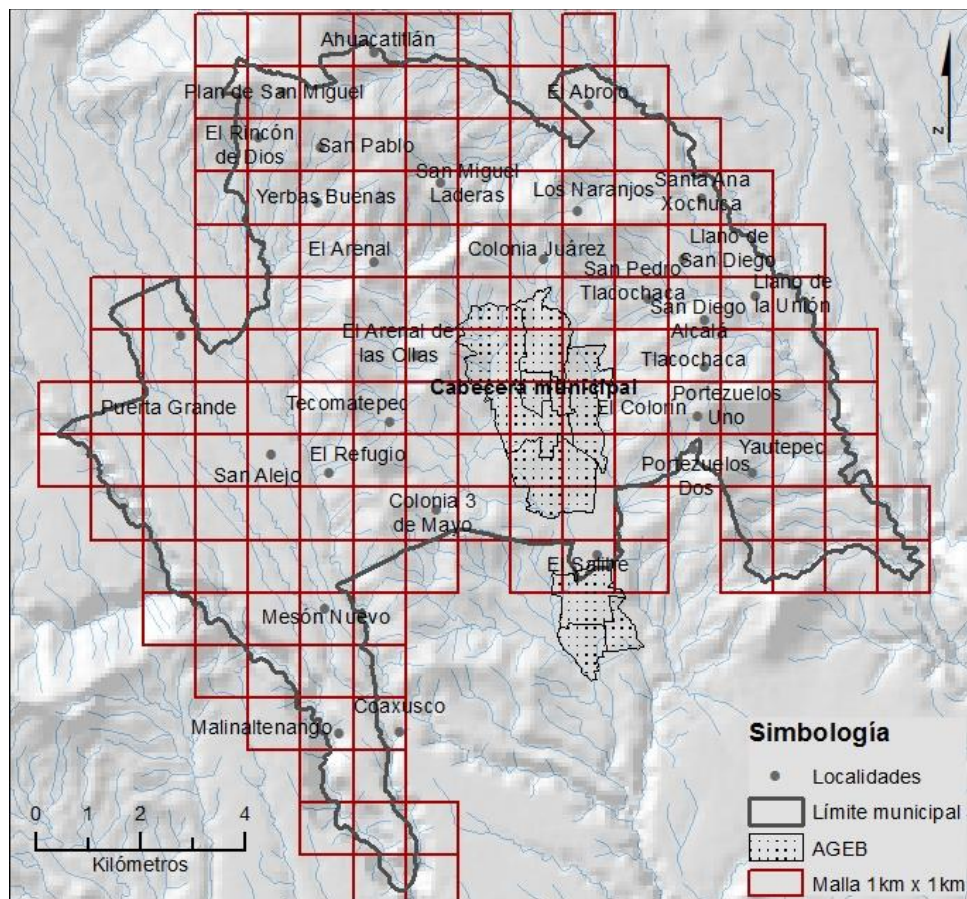


Figura 2.10. Malla de 1 km² para dividir el territorio municipal de Ixtapan de la Sal.

2.5. DETERMINACIÓN DE MÁXIMOS Y MÍNIMOS DE INDICADORES

Dentro de la fase III del proceso metodológico, se comenzó por definir los valores mínimos y máximos de cada indicador. El objetivo de este proceso es conocer los parámetros en los que se puede ubicar un indicador, es decir, tener un rango dentro del cual el valor puede oscilar. A este parámetro que representa de forma gráfica los límites numéricos de los indicadores se le conoce como conjunto difuso (Figura 2.11).

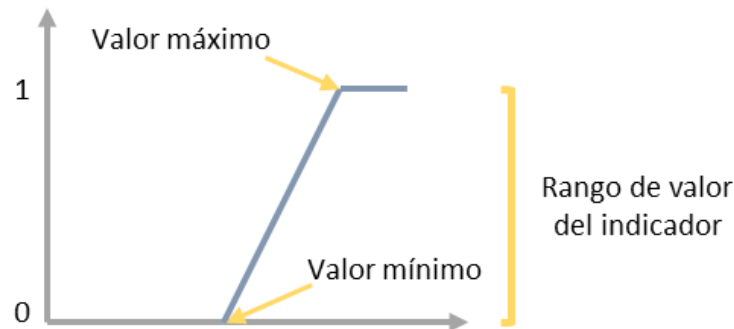


Figura 2.11. Conjunto difuso.

Los valores mínimos y máximos se obtuvieron a partir de cifras publicadas a nivel nacional, lo que permite realizar comparaciones por cada indicador con cualquier otro municipio del país. Para el caso de la información climática, los datos para el periodo 2010 se obtuvieron del sitio <http://www.worldclim.org/>, el cual comparte información a nivel mundial actualizada.

Para el uso de suelo, unidades hidrogeológicas y presencia de fuentes de aprovechamientos se asignó un valor por cada categoría observada en el territorio municipal; en otros casos, las unidades de medida tienen un carácter binario, asignado en función del cumplimiento o no de las condiciones especificadas por el indicador; la información de estos indicadores se obtuvo a partir del trabajo de campo y el análisis espacial.

El conjunto de indicadores se ordenó en una tabla que muestra el nombre del indicador, sus unidades de medida, los valores mínimos y máximos y la función de pertenencia que representa su comportamiento.

2.6. PONDERACIÓN DE INDICADORES

El impacto que ejerce un indicador sobre cada uno de los sistemas de la gestión de los recursos hídricos en Ixtapan de la Sal se obtuvo a través de la aplicación de encuestas a expertos en temas de gestión del agua, principalmente del ámbito académico. En dichas encuestas se listan los indicadores previamente seleccionados y se pidió responder la siguiente pregunta:

¿Cómo evalúa la importancia del indicador del eje de las Y en comparación con el indicador del eje de las X para el sistema (ambiental, social, económico) del agua?

Con este cuestionamiento se compararon los indicadores uno a uno a través de una matriz de decisión en la cual se señala el peso de un indicador con respecto a todo el conjunto, evaluando la importancia de los indicadores del eje de las “Y” con respecto a los indicadores del eje de las “X” (Cuadro 2.3). Para el caso del sistema ambiental se generó una matriz de diez filas por diez columnas, para el sistema social de quince por quince y el sistema económico estuvo conformado por una matriz de once filas por once columnas.

Cuadro 2.3. Diseño de cuadro comparativo de indicadores.

INDICADORES	Indicador I	Indicador II	Indicador III	Indicador “n”
Indicador I	Igual			
Indicador II	Término lingüístico	Igual		
Indicador III	Término lingüístico	Término lingüístico	Igual	
Indicador “n”	Término lingüístico	Término lingüístico	Término lingüístico	Igual

Los términos lingüísticos se definieron buscando cubrir en un listado acotado a cinco posibles respuestas el espectro de importancia tanto positiva como negativa, resultando en dos opciones negativas: “Mucho menos importante” y “Poco menos importante”; una opción neutral: “Igualmente importante”; y dos opciones positivas: “Poco más importante” y “Mucho más importante”. Las respuestas elegidas determinaron los indicadores que tienen más peso en el sistema, es decir, los indicadores críticos.

La representación de los términos lingüísticos correspondientes a su respectiva función de pertenencia dentro del universo de discurso “Grado de importancia” diseñado para la presente investigación se muestra en la Figura 2.12.

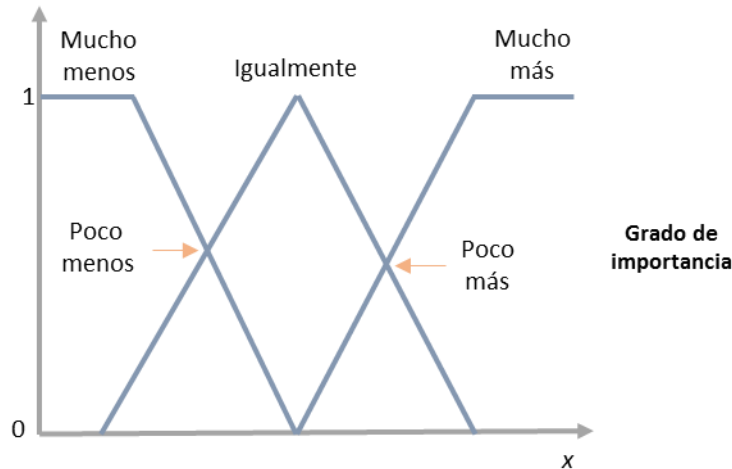


Figura 2.12. Términos lingüísticos del universo de discurso “Grado de importancia”.

Estos términos lingüísticos (posibles respuestas) fueron presentados para el encuestado en el ejercicio de comparación por pares, a las cuales se les asigna un valor numérico cuyo rango (universo del discurso) se encuentra entre -5 y 5. La relación entre los términos lingüísticos y su puntaje se muestran en el Cuadro 2.4.

Cuadro 2.4. Términos lingüísticos y valores asignados en las matrices de decisión.

TÉRMINO LINGÜÍSTICO	VALOR
Mucho menos importante	-5
Poco menos importante	-3
Igualmente importante	1
Poco más importante	3
Mucho más importante	5

Una vez respondidos los cuestionarios, los términos lingüísticos se tradujeron a su respectivo valor numérico para posteriormente condensarlos en un solo archivo a partir del cual se realizó un análisis de consistencia mediante la obtención del *ratio de consistencia* (CR), el cual, de acuerdo con Saaty, en un nivel óptimo debe ser menor al 10%, considerándose aceptable un valor menor al 20% (Martín y Vecino, 2007).

Para el caso de la presente investigación se consideraron las encuestas con un CR menor o igual al 25% ya que en la medida en que aumente la cantidad de indicadores aumenta el *ratio* de consistencia, disminuyendo así, la posibilidad de obtener valores bajos. Las encuestas con un CR mayor al 25% fueron descartadas.

2.7. PROCESO FUZZY-AHP APLICADO A INDICADORES

Una vez obtenidos los parámetros anteriormente descritos, todos los indicadores pertenecientes a cada sistema se congregaron usando el *Spatial Decision Modeler*, lo que permitió ejecutar en conjunto el proceso Fuzzy-AHP, en el cual, con base en los resultados obtenidos previamente, se especificó la función de pertenencia y los valores máximos y mínimos para cada indicador (Figura 2.13).

Este proceso estandariza los valores de los indicadores en un rango entre 0 y 1, lo cual permite realizar operaciones entre indicadores que tienen escalas y unidades distintas.

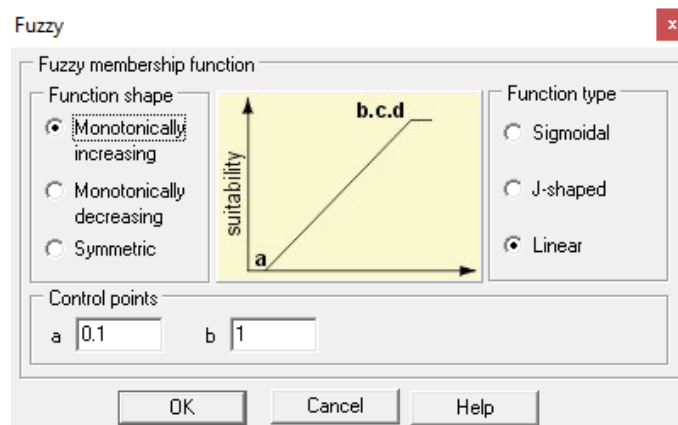


Figura 2.13. Función de pertenencia y rangos máximos y mínimos dentro del módulo *Multi-criteria Decision Making* del software IDRISI.

Los archivos resultantes del proceso de fuzificación se utilizaron como insumos del módulo *Multi-criteria Decision Making* del software IDRISI, en el cual se colocaron los pesos de los indicadores resultantes de la ponderación descrita en el punto 2.6. De esta forma se le indicó al software cuales indicadores son considerados por los expertos como los que más importancia tienen dentro de los sistemas ambiental, económico y social del agua en el municipio de Ixtapan de la Sal.

Nótese en la Figura 2.14 (correspondiente al sistema económico del agua) que los pesos de los indicadores son mayores a 0 y menores a 1, ya que la suma de todos los pesos tiene que ser igual a uno.

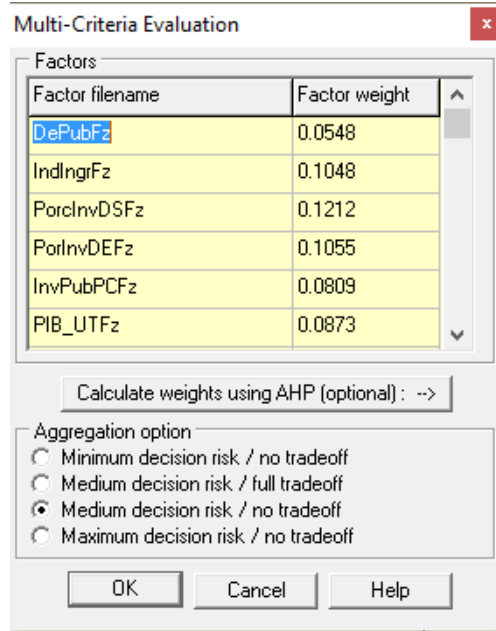


Figura 2.14. Asignación de pesos para cada indicador fuzificado.

La Figura 2.15 muestra de manera esquemática el proceso de la evaluación multicriterio para el sistema económico del agua donde se introducen los indicadores espacializados, posteriormente se fuzifican y sus respectivos resultados se procesan para obtener un solo archivo raster que muestre las zonas más o menos favorecidas según los criterios anteriormente planteados.

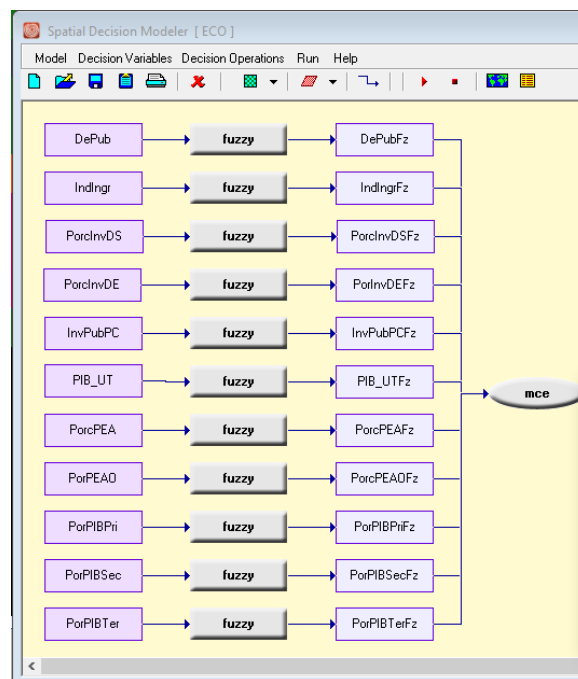


Figura 2.15. Proceso de la evaluación multicriterio para el sistema económico del agua.

Una vez obtenidos los archivos raster de cada sistema, se realizó el mismo proceso, pero esta vez usando como archivos de entrada los resultados de cada sistema, el peso asignado se dividió entre los tres sistemas, sin embargo, a no poder asignar un número cerrado, los pesos de los sistemas social y económico se definieron en 0.33 para cada uno y dejando al sistema ambiental con un valor de 0.34 ya que este sistema define la disponibilidad de agua en el municipio (Figura 2.16).

El resultado permitió representar por medio de mapas los valores correspondientes a cada celda dentro del territorio municipal mostrando las zonas que requieren atención prioritaria en términos de gestión de recursos hídricos.

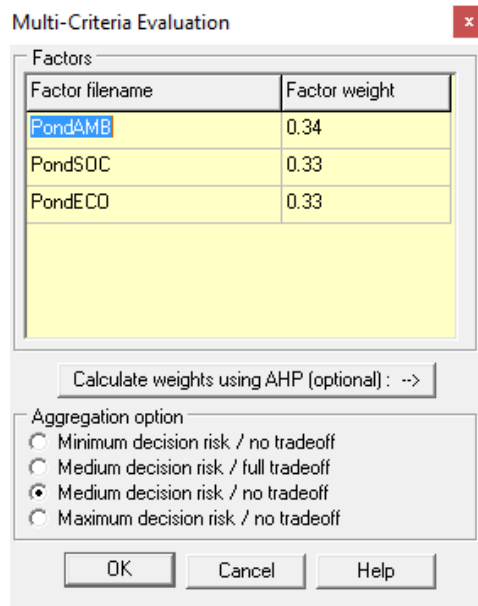


Figura 2.16. Ponderación de los sistemas Ambiental, Social y Económico.

El esquema general del proceso fuzzy-AHP al que se sometieron los indicadores correspondientes a los sistemas ambiental, social y económico del agua en el municipio de Ixtapan de la Sal, ordenados dentro del módulo *Multi-criteria Decision Making* del software IDRISI se muestra en la Figura 2.17.

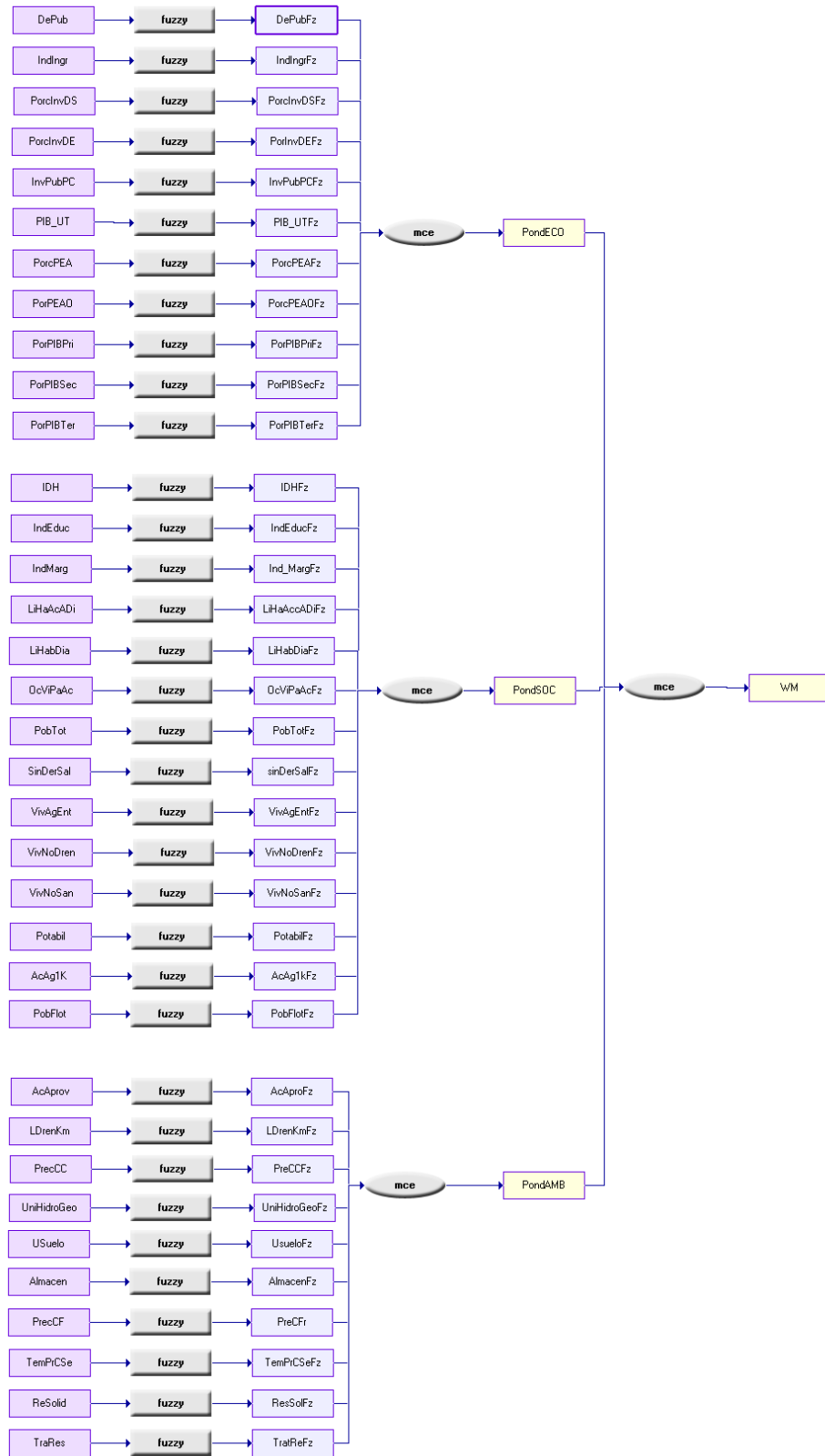


Figura 2.17. Esquema general del proceso fuzzy-AHP aplicado a los indicadores dentro del software IDRISI.

Capítulo 3 – Caracterización del área de estudio

estudio

El área de estudio se localiza en la porción sur del Estado de México, tiene una extensión de 450 km² (Figura 3.1), forma parte de la Región Hidrológica No. 18 Cuenca del Balsas y comprende parte de la región administrativa 1504 “Acuífero de Tenancingo” (CONAGUA, 2009), el cual limita al norte con el acuífero del Valle de Toluca, al oriente con el Estado de Morelos, al poniente con los acuíferos de Villa Victoria –Valle de Bravo, Temascaltepec y Tlatlaya y al sur con el Estado de Guerrero. Respecto a la división municipal, limita al norte con el municipio de Villa Guerrero, al sur con Tonatico, al este con Villa Guerrero y Zumpahuacán, al oeste con Coatepec de Harinas y Zacualpan, cubriendo una extensión territorial de 115.3669 Km² (IGECEM, 2010).

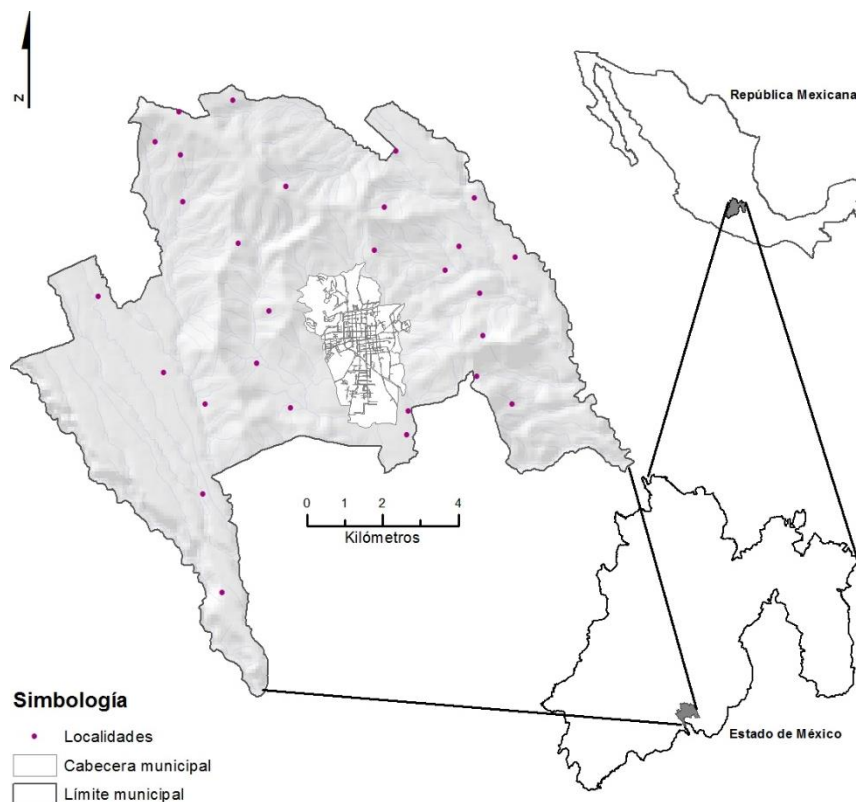


Figura 3.1. Ubicación del área de estudio.

La selección del área de estudio responde a las características particulares que presenta el municipio en términos de escasez de agua debido fundamentalmente a las propiedades hidrogeológicas que predominan en la región; esto ha influido en la configuración de la infraestructura y la organización social para aprovechar los recursos superficiales y distribuirlos en el territorio. Otro aspecto relevante es la presencia de recursos hídricos termales, los cuales han tenido una influencia muy particular en el desarrollo del municipio desde la época prehispánica y han sido un componente fundamental en el desarrollo de Ixtapan de la Sal como uno de los centros turísticos con más relevancia en el Estado de México.

Entre las ventajas que se tienen al trabajar con un municipio de estas características destaca que no cuenta con una extensión territorial muy extensa además de que el número de localidades es reducido, lo que permite obtener información de campo con mayor facilidad, aunado a esto, se pueden identificar más claramente los actores que tienen injerencia en los recursos hídricos de la región. En los apartados subsecuentes se describen la características ambientales, económicas y sociales del área de estudio siguiendo el procedimiento descrito en la metodología, el cual incluyó trabajo de gabinete y de campo, visitando a actores claves en el manejo de los recursos hídricos dentro del municipio.

3.1 CARACTERIZACIÓN AMBIENTAL

En los siguientes incisos se describen los aspectos ambientales que caracterizan al municipio de Ixtapan de la Sal y que influyen en el sistema ambiental del agua.

3.1.1. Clima

Dentro del municipio de Ixtapan de la Sal predomina el clima A(C)w(W)(l')g, clima semicalido, subhúmedo (humedad moderada), con lluvia invernal inferior al 5%; la oscilación térmica es reducida y la temperatura más elevada ocurre antes del solsticio de verano. La temperatura media anual oscila entre 18 ° C y 20 ° C. Al sur del municipio el clima varía a Aw (w) (i) g, clima cálido, subhúmedo, con humedad moderada y con lluvia invernal inferior al 5%; la oscilación térmica es reducida y la temperatura más elevada ocurre antes del solsticio de verano (GEM, 2008).

3.1.2. Hidrología superficial

El área de estudio pertenece a la Cuenca del Río Balsas; con respecto al comportamiento de la red hidrográfica (Figura 3.2) se distinguen los ríos Calderón y Nenetzingo que corren de norte a sur y al unirse dan lugar al río San Jerónimo, conocido localmente como Río Ixtapan, transcurre al municipio de Tonatico y posteriormente en el estado de Guerrero se incorpora al Amacuzac, afluente del Balsas.

El Malinaltenango corre al poniente del municipio, también de norte a sur, prácticamente desde Coatepec Harinas hasta el municipio de Pilcaya en Guerrero, cruza la planicie de Malinaltenango y genera la barranca del mismo nombre. Al sur de la cabecera municipal corre el arroyo El Salado que nace en las fuentes termales de San Gaspar y se prolonga hasta unirse con el arroyo el Salitre y con el nombre de Salado pasa al estado de Guerrero.

En el pie de monte del Nevado de Toluca surgen dos manantiales, uno en el cerro El Pollo y otro en el cerro La Rabia, ambos se unen cerca de Tequimilpan (Villa Guerrero), en el lugar denominado La Junta de los Manantiales, dando origen a la fuente de abastecimiento de agua más importante de la región.

Mediante obras hidráulicas (canal de mampostería), se envía hacia Ixtapan de la Sal, para consumo de su población, sin embargo, en su recorrido parte del caudal es tomado para riego de las tierras agrícolas de las comunidades de El Abrojo, Santa Ana Xochuca, Llano de la Unión, Yerbabuenas, S. José del Arenal y Tecomatepec. También se abastece de este caudal a zonas de los municipios de Villa Guerrero, Zumpahuacán y Tonatico (Gobierno Municipal de Ixtapan de la Sal, 2003).

Todas las corrientes que se encuentran dentro de la zona de estudio son afluentes del río Amacuzac, el cual a su vez es afluente del río Balsas; de estas las más importantes son las siguientes: Texcaltitlán, Ahuacatitlán, Almoloya, Ixtlahuaca (también llamado de las Flores o Meyuca) y Malinaltenango o Salado, que en su conjunto forman el río Chontalcoatlán que es el que descarga al Amacuzac. De la misma manera, las corrientes Tequimilpa, Tintojo, Potrero, Texcaltengo, Zictepec y Tenancingo conforman el río San Jerónimo el cual, también descarga al Amacuzac.

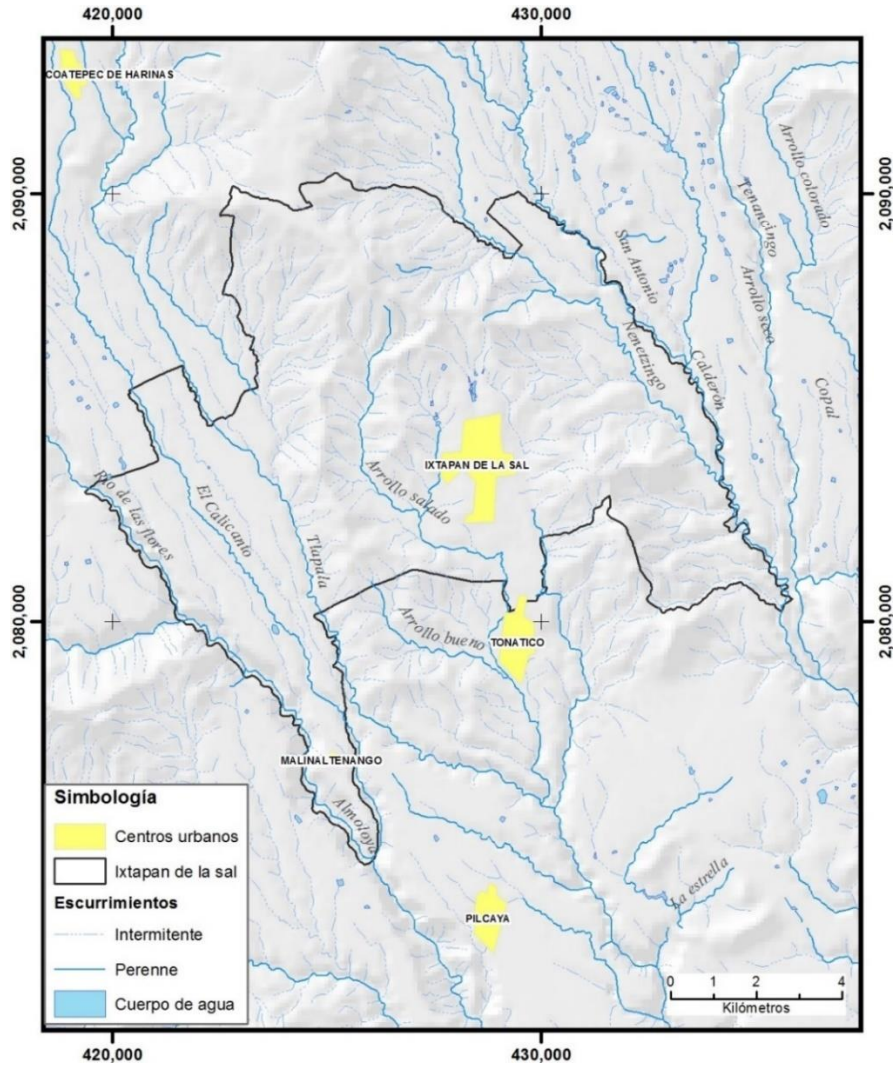


Figura 3.2. Red hidrográfica.

3.1.3. Modelo de aprovechamiento del agua superficial

Como se ha mencionado en los apartados anteriores, las características hidrogeológicas de la zona impiden el aprovechamiento de volúmenes suficientes del agua subterránea para consumo humano. Es por ello que la fuente de abastecimiento de recursos hídricos en Ixtapan de la Sal es el agua superficial.

El aprovechamiento del agua superficial que se hace en el municipio no es de los escurrimientos locales, sino que se obtiene de una cuenca que se encuentra aguas arriba, en la ladera sur del Nevado de Toluca y que da origen al río Tequimilpa (Figura 3.3), el cual, por iniciativa del pueblo, se encausó en un acueducto a cielo abierto de más de 15 kilómetros de largo. La obra se inició en 1808, se interrumpió durante la guerra de independencia, se reanudó en 1828 y se terminó en 1877, año del que data el documento más antiguo del Archivo Municipal de Ixtapan de la Sal.

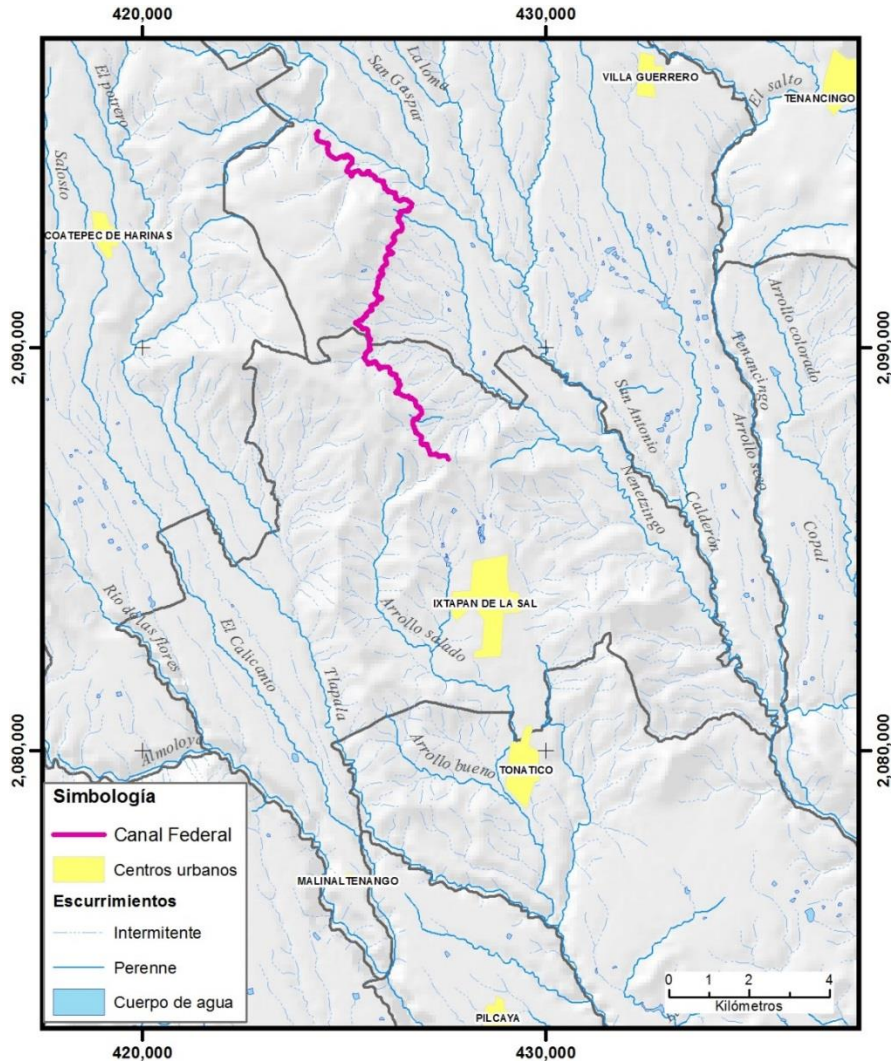


Figura 3.3. Canal Federal para concesionarios del agua.

De acuerdo con las cifras del REPDA (CONAGUA, 2010), el caudal que fluye a través del canal suma un total de 264.9 l/s, y ha sido concesionada dentro del municipio de Ixtapan de la Sal a tres usuarios principales (Figura 3.4):

- a) La empresa Nueva Ixtapan, perteneciente a la familia San Román con 158.7 l/s concesionados.
- b) OPDAPAS con 16.2 l/s concesionados.
- c) Distrito de Riego con 90 l/s concesionados.

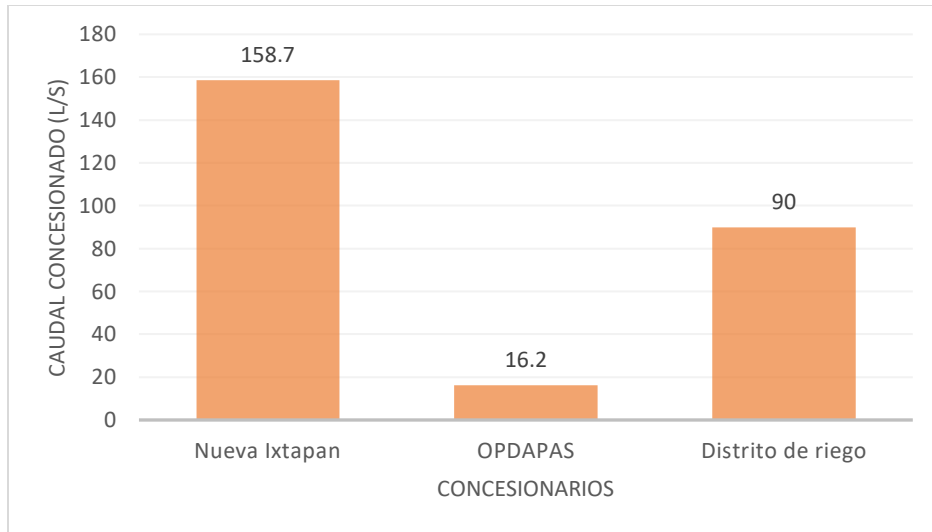


Figura 3.4. Distribución del caudal concesionado en Ixtapan de la Sal.

El canal llega a una caja derivadora, donde se reparte el caudal concesionado a cada uno de los usuarios, el agua concesionada al OPDAPAS pasa a una planta potabilizadora con la capacidad de tratar 40 l/s (Figura 3.5), sin embargo, esta planta opera con procesos que ya no son 100% efectivos, por lo que en ocasiones el agua llega a presentar coloración, debido a la cantidad de sedimentos que son transportados a lo largo del canal.



Figura 3.5. Planta potabilizadora en Ixtapan de la Sal.

Es por ello que el OPDAPAS ha elaborado un proyecto para la construcción de una nueva planta potabilizadora, que opere con técnicas más actualizadas y que tenga la capacidad de tratar un caudal mayor, se ha enviado el proyecto a instancias estatales y federales y se está en espera de la aprobación de dicho proyecto.

Después de la planta potabilizadora, el agua es almacenada en tres tanques con capacidad de 1,300 m³ que se distribuyen en la red municipal (CCVM, 2010). De la planta potabilizadora también se cargan pipas para llevar agua a localidades donde no se cuenta con una red de distribución de agua potable, o a colonias donde no hay servicio por obras de reparación.

Debido a que en época de estiaje no hay exceso en el caudal del canal que abastece de agua a Ixtapan de la Sal, el suministro a los habitantes es muy limitado, llegando a contar con el servicio un día por semana.

Por esta razón, el OPDAPAS planificó y construyó un bordo (Figura 3.6) junto a la planta potabilizadora para almacenar el excedente de agua que llega al sitio en época de lluvias, el bordo tiene una capacidad de 280, 000 m³ y es un apoyo importante para el abastecimiento de agua en el municipio.



Figura 3.6. Bordo para almacenamiento de agua en Ixtapan de la Sal.

Lo anteriormente expuesto, permitió generar el modelo conceptual del agua superficial en Ixtapan de la Sal, en el cual se muestra las etapas de distribución del agua potable desde su origen en el pie de monte del Nevado de Toluca, hasta su desagüe en el río Salado después de su uso (Figura 3.7).

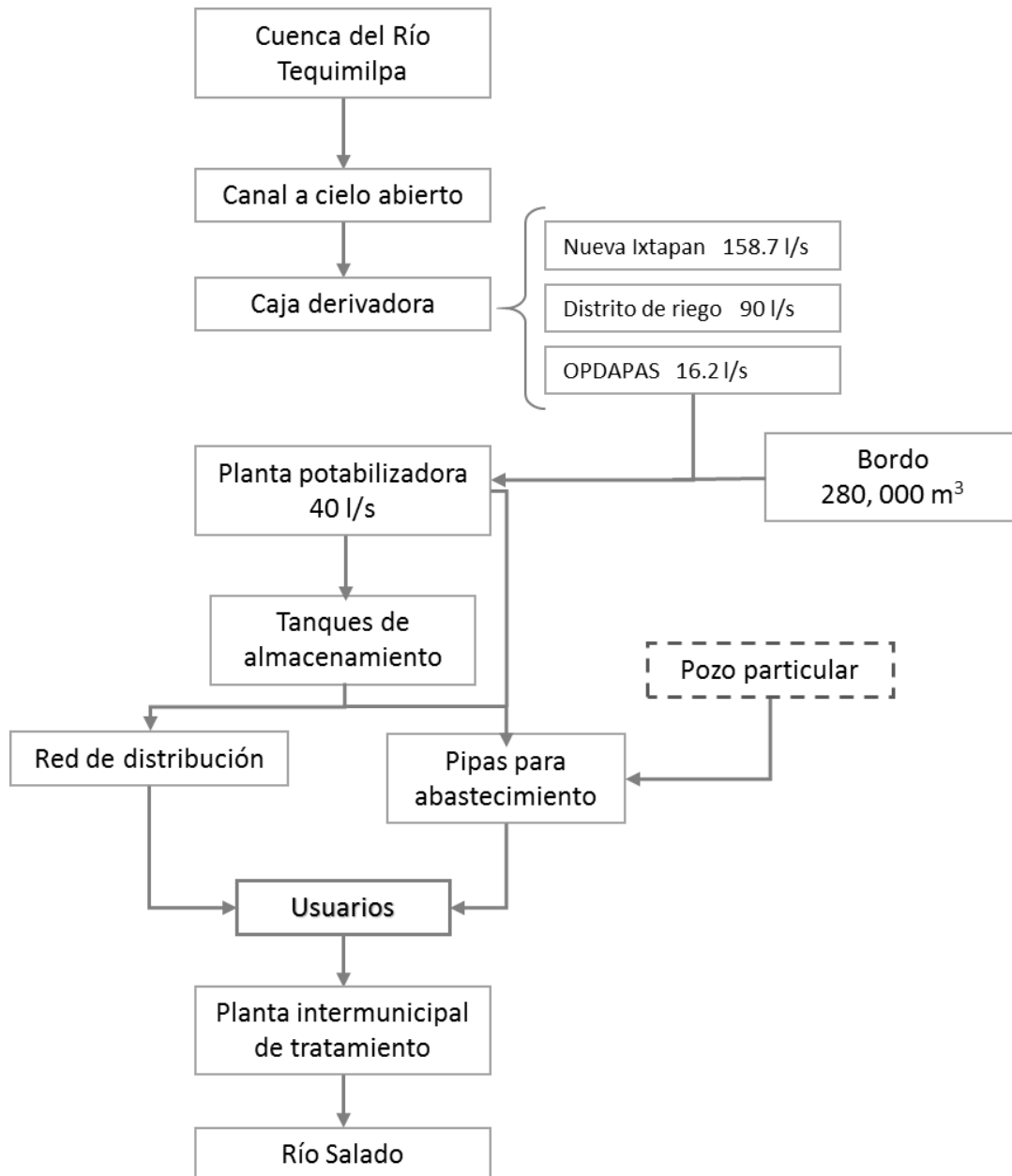


Figura 3.7. Modelo conceptual del agua superficial en Ixtapan de la Sal.

3.1.4. Geología regional y estructural

La zona de estudio, de acuerdo a la clasificación de provincias fisiográficas de López (1980) queda ubicada dentro de la provincia de la Cuenca Morelos-Guerrero, la cual tiene como límites en sus porciones Este-Oeste y Sur a la Sierra Madre del Sur y como límite Norte al Sistema Volcánico Transversal.

La provincia de la Cuenca Morelos-Guerrero, se localiza dentro de una región con alta complejidad estructural, que presenta tres dominios tectónicos yuxtapuestos (Figura 3.8), como el Complejo Mazateco del Paleozoico-Mesozoico, el Complejo Xolapa del Paleozoico-Mesozoico y el Complejo Teloloapa-Ixtapan del Mesozoico. Este último se localiza en la porción occidental de la zona de estudio. Algunos de los afloramientos que constituyen esta provincia están formados por secuencias de rocas mesozoicas, tanto sedimentarias de plataforma como volcánico- sedimentarias de tipo arco insular volcánico-mar marginal.

El elemento más antiguo lo compone el complejo volcánico y sedimentario Teloloapan-Ixtapan que se desarrolla durante el Jurásico Superior-Cretácico Inferior; este elemento se considera como un complejo parcialmente metamorfizado constituido principalmente por una alternancia de rocas sedimentarias y volcánicas; muestra efectos de metamorfismo de bajo grado, en facies de esquistos verdes, con la presencia de clorita, calcita, epidota y cuarzo. La deformación de esta unidad es notable por el desarrollo de pliegues y de foliación en casi todas las rocas que la comprenden. Este grupo de rocas se extiende más allá de la porción suroeste de la zona de estudio. A este complejo se le atribuye un origen resultado de los movimientos de subducción en una margen convergente activa durante el Jurásico Superior y el Cretácico Inferior (Campa, 1978).

El segundo elemento, sobrepuesto de manera discordante al conjunto anterior, consiste de un espesor considerable de rocas carbonatadas y clásticas desarrolladas durante el Cretácico; este paquete se inicia con una secuencia de calizas delgadas, de aguas profundas que corresponden a las Formaciones Acuitlapán y Xochicalco; posteriormente se manifiestan ambientes someros en facies de plataforma, en la que se desarrolla un grueso espesor de caliza definidas por la Formación Morelos.

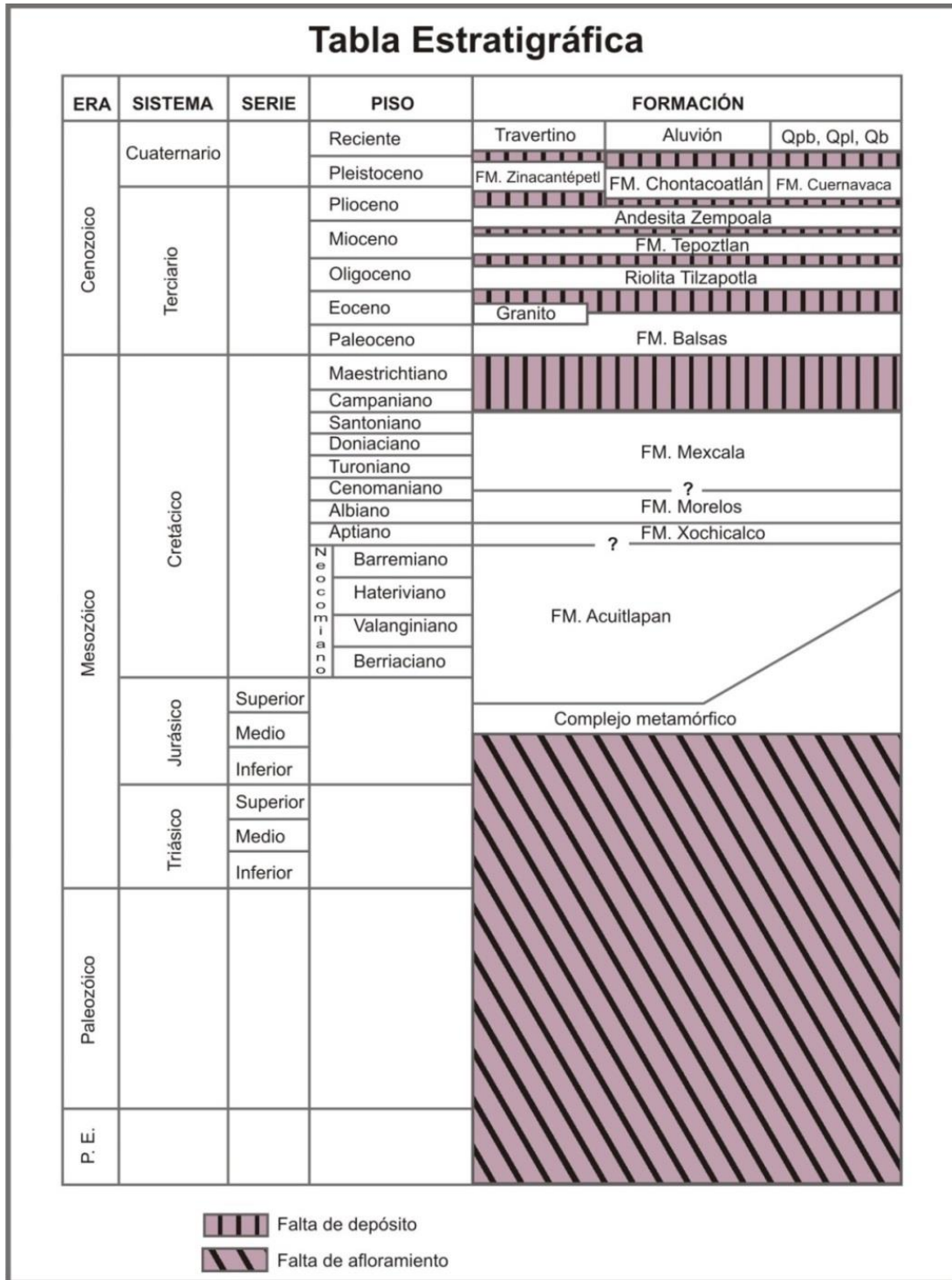


Figura 3.8. Secuencia estratigráfica de la zona de estudio (Juan, 1994).

Después de un periodo de transgresión sobreviene el depósito de un paquete de rocas clásticas en un ambiente tectónico tipo flysch, definido por la Formación Mexcala. Este conjunto se encuentra deformado y da lugar a pliegues amplios que conforman sierras altas, resultado de la competencia de las calizas a la deformación, mientras que las rocas clásticas se encuentran profundamente deformadas en pliegues fuertes y cerrados. Estas rocas se encuentran ampliamente expuestas en la porción sur y sureste del área (Campa, *et al.*, 2012).

Superpuesto a los dos anteriores, se encuentra el tercer elemento constituido por un complejo volcánico heterogéneo, compuesto por la Riolita Tilzapotla, rocas piroclásticas y lahares de la Formación Tepoztlán, así como por derrames lávicos y tobas de la Formación Zempoala; estas unidades se encuentran distribuidas en la porción norte del área conformó los rasgos topográficos más prominentes.

Las rocas volcánicas de la Formación Tilzapotla, se han relacionado con las manifestaciones más alejadas hacia el sur de la Sierra Madre Occidental; las otras unidades tienen sus orígenes en diversos centros eruptivos, como los de Buenavista y Zempoala, que paulatinamente se desarrollaron como eventos volcánicos que forman la parte inicial del Sistema volcánico Transversal.

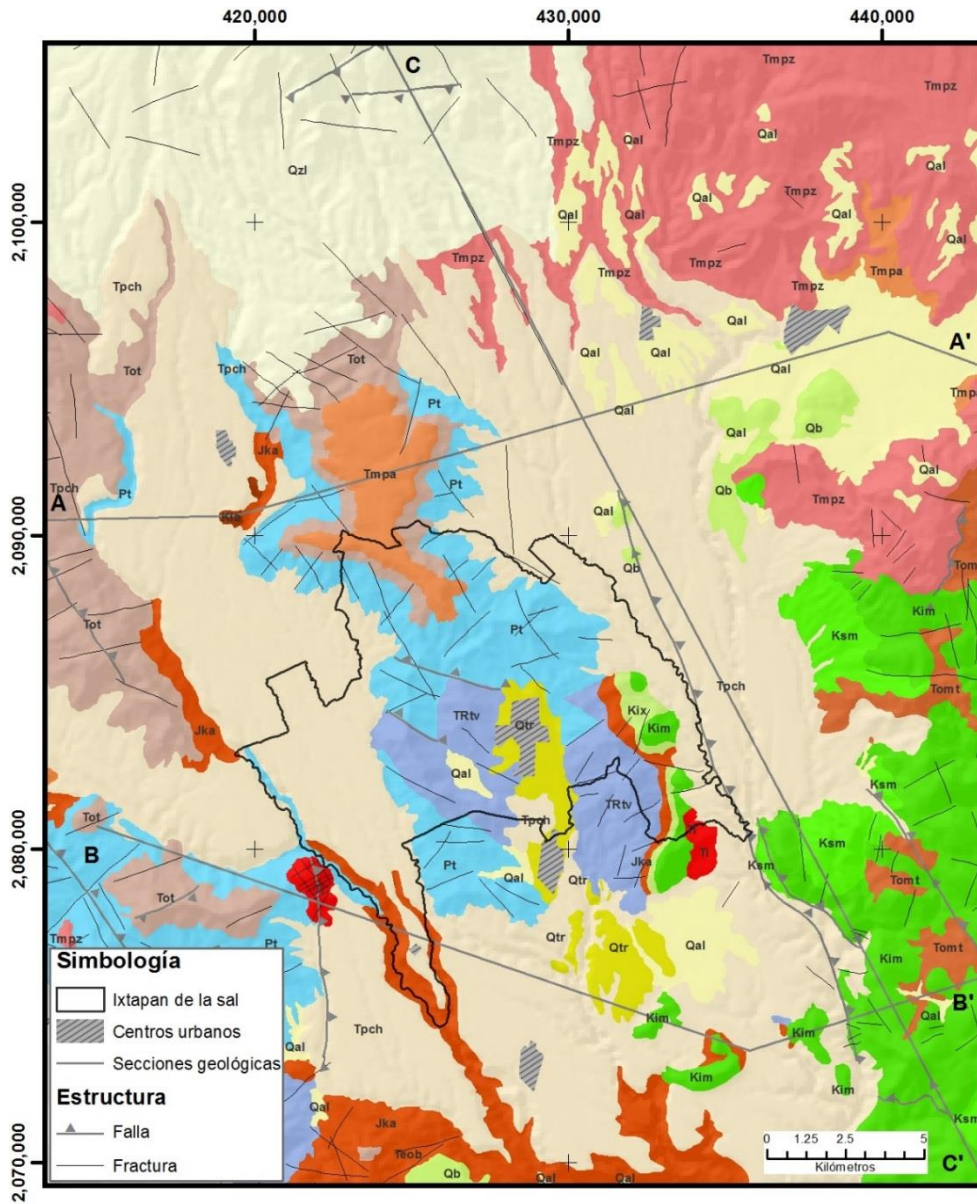
Por su parte, la Formación Zinacantépetl Está constituida por rocas que varían de brechas formadas por fragmentos de dacita hasta pómez, entremezcladas con arenas y gravas de origen fluvial con espesores variables. Esta formación, sobreyace discordantemente a las Formaciones Riolita Tilzapotla, Tepoztlán y Andesita Zempoala; además, en algunas ocasiones sobreyace a la Formación Chontalcoatlán y en otras se encuentra interdigitada con ésta.

Posterior al vulcanismo, predominan procesos exógenos donde las rocas antes mencionadas, fueron la fuente de aporte para acumular un gran espesor de roca clástica, como la Formación Chontalcoatlán, que modificó el paisaje con una morfología de planicies ahora fuertemente disectadas.

De igual forma se observa la presencia de una unidad de Travertino que no ha sido definida formalmente y sólo es mencionada en forma muy breve por Zoltán De Cserna (1981). La unidad está formada por un paquete de rocas evaporíticas carbonatadas. Sus espesores son variables, y en general es muy poroso y no presenta fracturamiento, pero sí huellas de disolución. La extensión de estos afloramientos es reducida a unos 15 Km cuadrados, en los alrededores de las poblaciones de Ixtapan de la Sal y Tonicato. Se encuentra descansando discordantemente sobre el Complejo Metamórfico. Asimismo, se le observó en contacto con la Formación Chontalcoatlán, éste es muy regular y aparentemente concordante. Por su relación estratigráfica con la Formación Chontalcoatlán fechada del Plioceno Superior-Pleistoceno Inferior, se la ha asignado al Travertino una edad Holocénica.

La unidad más reciente se encuentra constituida por depósitos aluviales recientes derivados del intemperismo y erosión de unidades más antiguas; los clastos así originados fueron posteriormente acumulados en pequeñas cuencas, en donde ocurrió la sedimentación debido al bloqueo del drenaje de los valles preexistentes por episodios volcánicos cuaternarios. La granulometría de estos materiales varía de lugar a lugar, en algunos sitios se compone de gravas y arenas y en otros principalmente de arcillas, pero en todos los casos se encuentran mal consolidados y con espesores reducidos, que, de acuerdo a información de la exploración geofísica, no sobrepasan los 20 m.

En general, la configuración de la geología regional de la zona de estudio se observa en la Figura 3.9.



Claves geológicas

 Qal Aluvión	 Tomt Lahares	 Kim Caliza-dolomía
 Qtr Travertino	 Tot Derrames de lava y piroclasto	 Kix Caliza
 Qb Brecha volcánica	 Teob Conglomerados	 Kia Caliza
 Qzl Brecha volcánica	 Ti Rocas ígneas intrusivas	 TRtv Metamórfica
 Tpch Lahares y tobas	 Jka Lutita-arenisca	 Pt Metamórfica
 Tmpa Lahares y tobas	 Jski Lutita-arenisca	
 Tmpz Derrames de lava	 Ksm Caliza-lutita	

Figura 3.9. Geología regional de la zona de estudio.

En relación con el fallamiento normal asociado al área de estudio de la última fase de deformación, es posible que esté vinculado a la gran falla de San Miguel de Allende-Taxco, que se extiende desde San Miguel de Allende, Guanajuato, hasta la Ciudad de Taxco, Guerrero, cuyas trazas se observan hacia el poniente de las ciudades de Querétaro y Toluca, siguiendo una orientación casi N-S. Esta es una de las diversas fallas que dieron origen al vulcanismo pliocuaternario del Sistema Volcánico Transversal.

Las fallas normales que ocurren en el área de estudio y que están asociadas al Sistema San Miguel Allende-Taxco son: la localizada al occidente de Zumpahuacán y otras dos más, importantes por su posible relación con manantiales termales, localizadas al oriente y poniente de Ixtapan de la Sal; la primera con el bloque caído hacia el oriente y las restantes con el bloque caído hacia el poniente y oriente respectivamente, de tal manera que definen un pequeño graben que involucra a las localidades de Ixtapan y Tonalico. La extensión de estas fallas parece ser que son de muchos kilómetros, pero en las fotografías aéreas no es posible continuarlas; el rumbo de las tres estructuras es en términos generales NNW-SSE.

Al respecto, se ha definido que el área de estudio se encuentra dentro del límite de dos provincias geológicas importantes, por un lado la denominada cuenca Guerrero-Morelos con un basamento paleozoico, y por el otro lado el Eje Neovolcánico Transmexicano con depósitos piroclásticos, vulcanoclásticos y derrames, que constituyen las edificaciones más importantes de la porción central del país y las cuales le atraviesan de una manera general en una orientación E-W" (Juan, 1994).

En esta porción limítrofe en donde coexisten ambas provincias, se observa una complejidad estructural muy marcada, sobresaliendo por sus dimensiones una discontinuidad perfectamente bien definida en la Imagen de satélite, dispuesta en una orientación general N-NNW, con una amplitud que varía de 13 kilómetros al norte del área, en el pie de monte del volcán Nevado de Toluca, a 8 kilómetros hacia el sur; su longitud es considerable por lo que puede estar relacionado al sistema de fracturas San Miguel de Allende-Taxco (Demant, 1978) o al sistema de fallas Taxco-Querétaro (Alaniz y Nieto, 2005).

Las implicaciones tectónicas y vulcanológicas en esta región de las fallas San Miguel de Allende-Taxco son de gran importancia, ya que posiblemente son las causantes de la manifestación volcánica que dio origen al Nevado de Toluca. Dicho sistema caracteriza al sector central del Sistema Volcánico Transversal.

Los cortes geológicos de las secciones de la Figura 3.9 se muestran en las figuras 3.10, 3.11 y 3.12, en los tres perfiles se observa el cabalgamiento de las unidades metamórficas (de mayor antigüedad) sobre las unidades sedimentarias (Ksm, Kix y Kim), las cuales presentan plegamientos producto de eventos de compresión y distensión.

Sobre estas formaciones se depositan materiales de origen volcánico de composición diversa. En los perfiles A-A' y B-B' los materiales depositados son de origen terciario y con espesores que oscilan los 100 metros en algunas zonas de depósito, hasta 500 metros en la elevación conformada principalmente por riolita (Tot) al norte del municipio de Ixtapan de la Sal.

En el perfil C-C' además de observarse depósitos volcánicos del terciario, se observan materiales del cuaternario al norte del área de estudio, dichos materiales son producto de la actividad más reciente del nevado de Toluca y alcanzan espesores de 900 metros en las laderas del volcán.

En los perfiles B-B' y C-C' se observan intrusiones de magma (Ti y Qb), lo cual indica la presencia de cámaras magmáticas cercanas a la zona, siendo estas las fuentes de calor del agua termal. En la figura 3.3 se observa el afloramiento de material intrusivo al oriente y al poniente del municipio de Ixtapan de la Sal. Otro aspecto importante son las fracturas que se observan en los tres perfiles, las cuales, en caso de estar cubiertas por depósitos volcánicos no afloran en la superficie, sin embargo, su profundidad llega hasta el basamento, dándole a estos sistemas la propiedad de funcionar como vía preferencial para el flujo de agua termal desde las zonas afectadas por altas temperaturas hasta la superficie en forma de manantial.

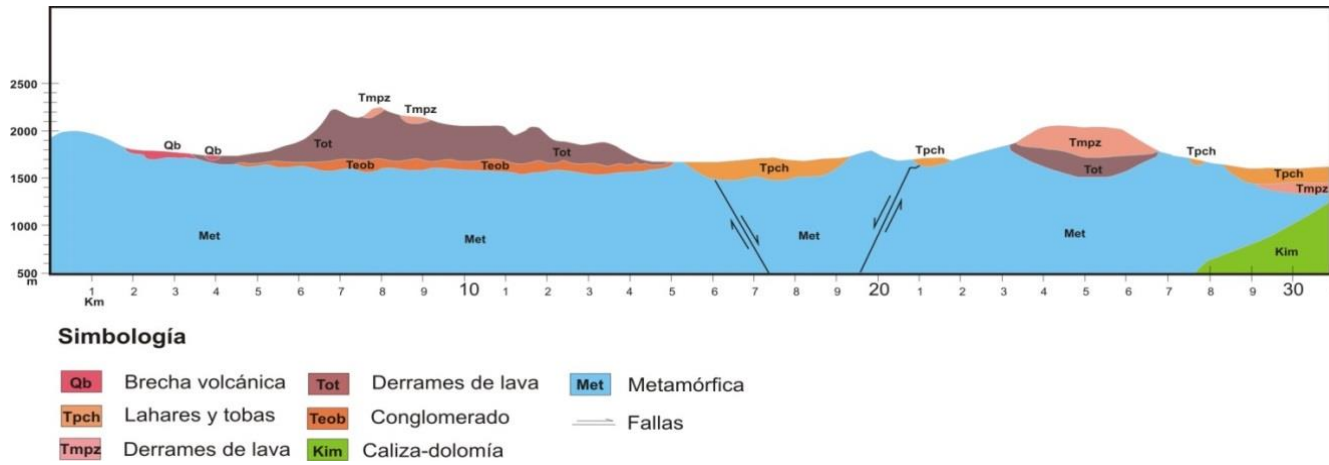


Figura 3.10. Corte A – A' del mapa geológico regional de la zona de estudio.

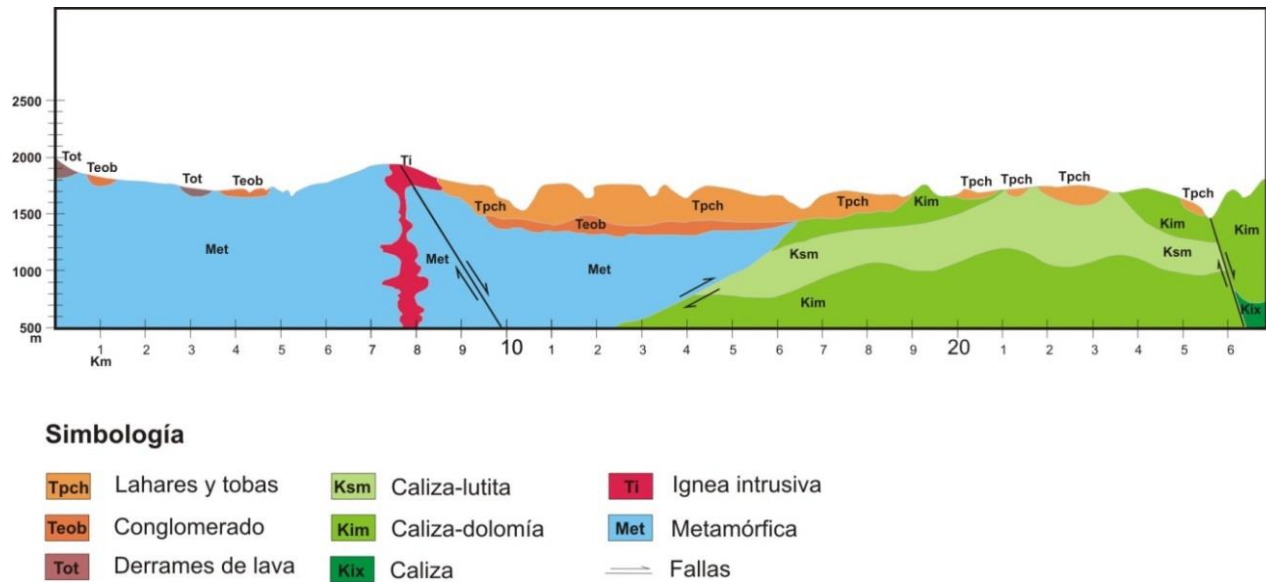


Figura 3.11. Corte B – B' del mapa geológico regional de la zona de estudio.

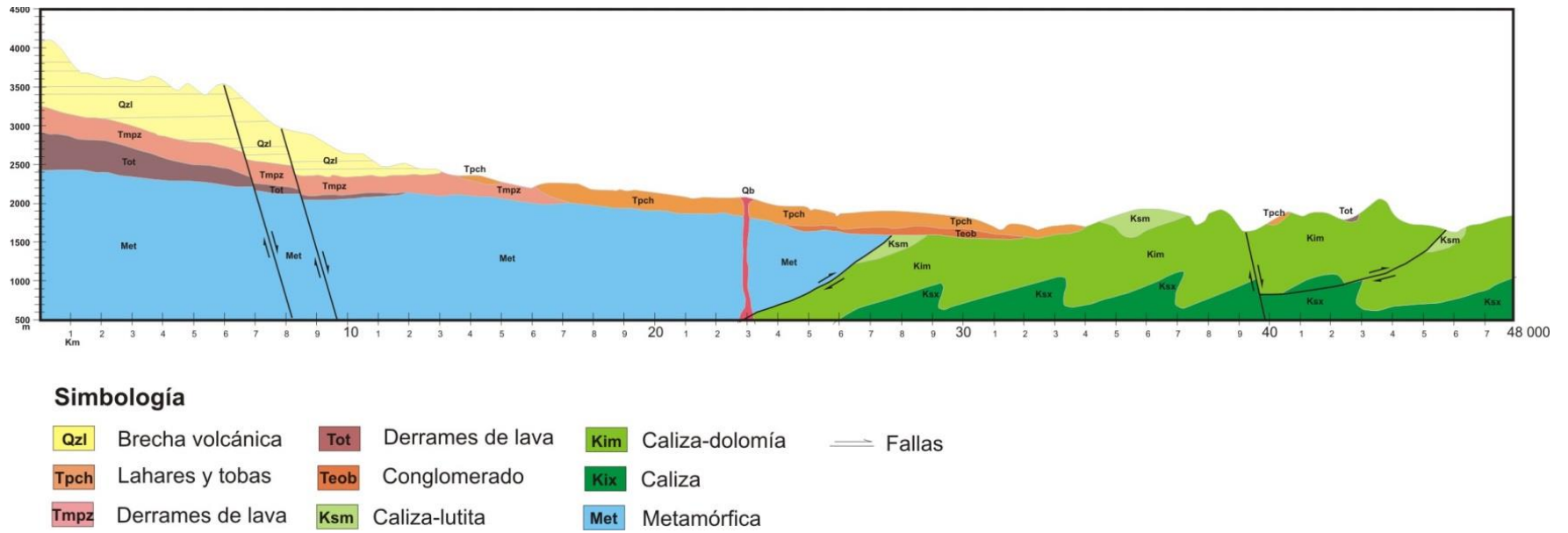


Figura 3.12. Corte C – C' del mapa geológico regional de la zona de estudio.

3.1.5. Unidades hidrogeológicas

En este apartado se mencionan los rasgos geohidrológicos que distinguen a la región, definiendo las unidades hidrogeológicas a través de su permeabilidad, evaluada en función de sus características litológicas y estructurales (SIIMA, 2001).

Para la elaboración del mapa hidrogeológico se aplicó la metodología de la UNESCO, esta metodología se basa en la “Leyenda Internacional para los mapas Hidrogeológicos” publicado conjuntamente en 1970 por la Asociación Internacional de Hidrogeólogos (IAH por sus siglas en inglés), la Asociación Internacional de Ciencias Hidrológicas (IAHS por sus siglas en inglés), UNESCO y el Instituto de Ciencias Geológicas de Londres, la cual fue revisada en 1983(UNESCO, 1970).

a) En materiales granulares con importancia hidrogeológica relativa grande y pequeña.

- a1) Acuíferos continuos de extensión variable, de tipo “libre”. Constituidos por sedimentos clásticos no consolidados. Permeabilidad variable. Calidad química generalmente buena. Posibilidades de explotación a través de pozos someros.
- a2) Acuíferos continuos de extensión regional o regional limitada. Libres y/o confinados, en sedimentos clásticos no consolidados y consolidados. Permeabilidad generalmente alta a media. Calidad química de las aguas generalmente buena.
- a3) Acuíferos continuos generalmente de extensión regional a regional limitada. Libres y/o confinados, constituidos por sedimentos clásticos no consolidados y consolidados. Permeabilidad generalmente media a baja. Calidad química de las aguas generalmente buena.
- a4) Acuíferos locales limitados en capas delgadas o lentes arenosos, libres y/o confinados. Incluyen también acuíferos profundos de difícil explotación debido a la gran profundidad de los niveles de agua. Consisten de sedimentos clásticos no consolidados y consolidados. Permeabilidad generalmente baja. Calidad química de las aguas generalmente buena.

b) En rocas fracturadas o fisuradas con importancia hidrogeológica relativa media a pequeña.

- b1) Acuíferos locales restringidos a zonas fracturadas, libres y/o confinados. Compuestos de rocas ígneas extrusivas. Permeabilidad generalmente alta a media y con agua de buena calidad química.
- b2) Acuíferos locales restringidos a zonas fracturadas ampliados en ciertos trechos debido a la asociación con rocas granulares o zonas de alteración o intemperismo, libres y/

confinados. Constituidos por rocas sedimentarias, metaclásticas y/o carbonáticas. Permeabilidad generalmente media a baja. Calidad química generalmente buena.

b3) Acuíferos de extensión variable restringidos a zonas fracturadas, ampliados en ciertos tramos por la disolución cárstica; libre y/o confinada. Formados por rocas calcáreas con permeabilidad variable, generalmente alta, con aguas químicamente duras.

b4) Acuíferos locales de extensión variable, restringidos a zonas fracturadas, libres y/o confinados. Constituidos por rocas volcánicas y mixtas vulcanosedimentarias. Permeabilidad baja. Calidad química de sus aguas de buena a regular.

c) En materiales granulares o rocas fracturadas con importancia hidrogeológica relativa muy pequeña o nula.

c1) Acuíferos locales a muy locales limitados a capas delgadas o lentes arenosos o limo-arenosos, libres. Constituidos por sedimentos clásticos no consolidados o consolidados. Permeabilidad muy baja. Calidad generalmente buena.

c2) Acuíferos muy locales restringidos a zonas fracturadas, ampliadas en ciertos tramos asociados a zonas de alteración o intemperismo, de tipo libre. Constituidos de rocas metamórficas. Permeabilidad generalmente baja. Calidad química de las aguas generalmente buena.

c3) Acuíferos muy locales en zonas fracturadas, libres y/o confinados en rocas volcánicas y mixtas (vulcanosedimentarias), eventualmente con cobertura discontinua de sedimentos no consolidados. Permeabilidad muy baja a nula. Calidad química generalmente buena de reciente infiltración

c4) Acuíferos prácticamente ausentes. Consisten de rocas ígneas y metamórficas muy compactas y algunas sedimentarias de grano fino (arcillas)

De lo anterior se desprenden una serie de unidades litológicas asociadas a diferentes ambientes geológicos, las cuales pueden integrarse en tres grandes unidades hidrogeológicas (Figura 3.13):

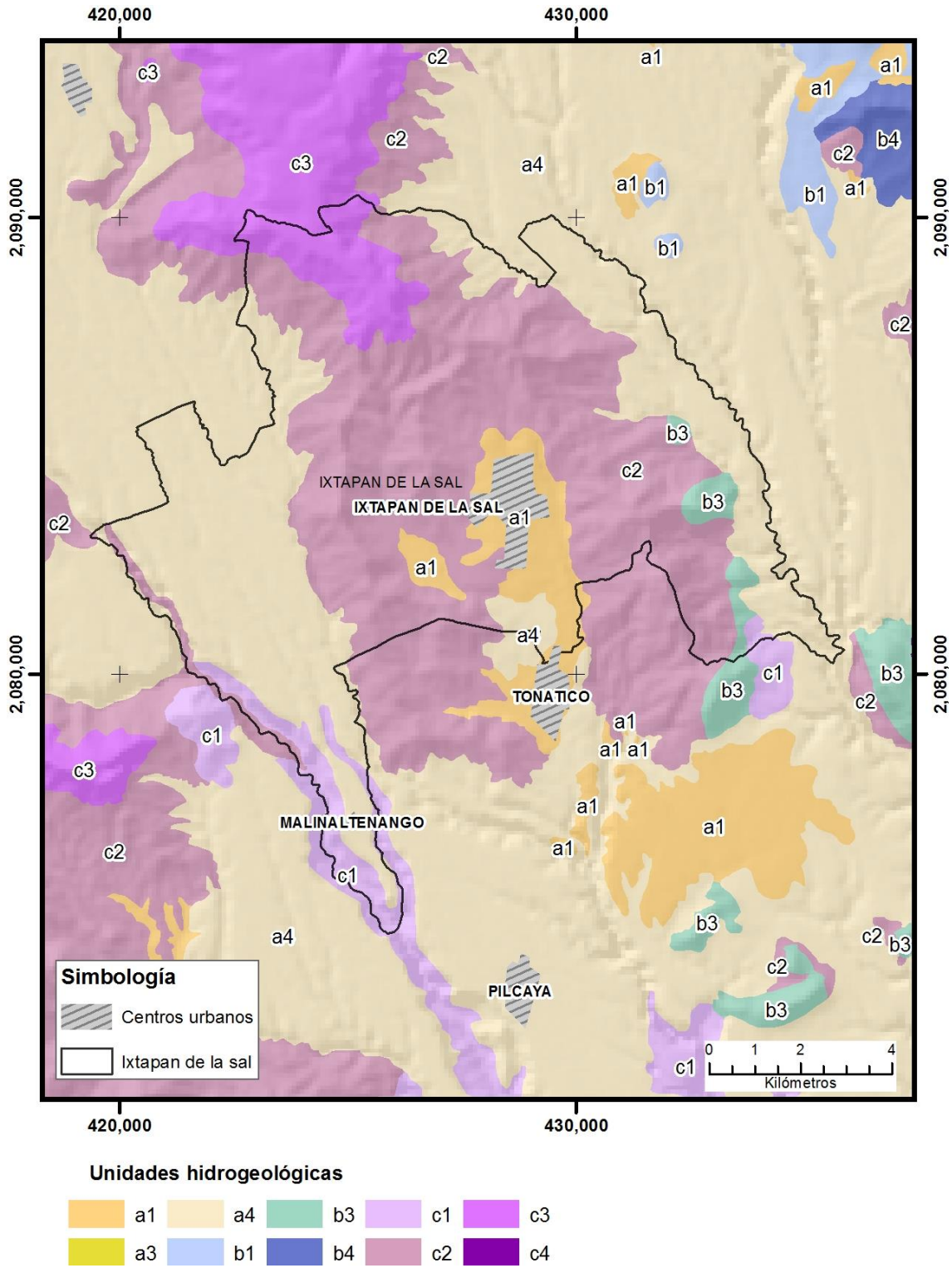


Figura 3.13. Unidades hidrogeológicas.

1. Acuíferos en materiales granulares

Se incluyen todos los sedimentos clásticos no consolidados o consolidados de la columna geológica de la región independientemente de su forma de depósito, ya sean de origen sedimentario o vulcano – sedimentario y que por sus características litológicas y posición topográfica constituyen acuíferos de variado potencial de explotación.

De esta manera se integran en esta categoría, de la más reciente a la más antigua, las siguientes unidades litológicas:

- los depósitos continentales cuaternarios (aluviales: Qal; Talud: Qtv y el Travertino: Qtr);
- los productos piroclásticos de la Formación Zinacantepetl (Qzl)
- la secuencia de depósitos clásticos formados exclusivamente por fragmentos derivados de rocas volcánicas del Nevado de Toluca, denominados Formación Chontalcoatlán (Tpch).

Estas unidades, con base en la metodología de la UNESCO (presentada anteriormente), se clasifican como **a.1, a.3 y a.4**, respectivamente.

Dos de estas formaciones se encuentran íntimamente ligadas ya que una, la Formación Zinacantepetl (Qzl), al ubicarse hacia las porciones topográficamente altas constituye la principal zona de recarga, principalmente de los materiales vulcanoclásticos de la Formación Chontalcoatlán (Tpch), aunque también alimenta a la Andesita Zempoala. Esta relación se aprecia en el mapa hidrogeológico del área de estudio.

2. Acuíferos en rocas fracturadas o fisuradas

Se incluyen a todas las rocas que, por sus características geológicas – estructurales, como fracturamiento y disolución (carsticidad) forman acuíferos de relativa importancia.

De esta manera se integran en esta categoría, de la más reciente a la más antigua, las siguientes unidades litológicas:

- Los basaltos cuaternarios (Qb);
- La andesita Zempoala (Tmpz) y
- Las calizas cretácicas de la Formación Morelos (Kim).

Estas unidades con base en la metodología de la UNESCO (presentada anteriormente) se clasifican como **b.1, b.4 y b.3**, respectivamente.

3. Acuíferos y acuitardos en materiales granulares o rocas fracturadas

Se incluyen los materiales granulares que por su litología (materiales clásticos finos) y las rocas con poco y discontinuo fracturamiento y alta compacidad forman acuíferos y/o acuitardos de importancia mínima.

De esta manera se integran en esta categoría, de la más reciente a la más antigua, las siguientes unidades litológicas:

- Las andesitas Miocénicas de la F. Tepoztlán (Tomt),
- La secuencia volcánica del Oligoceno – Mioceno (F. Tilzapotla y Buenavista);
- Los materiales continentales del Grupo Balsas (Teob);
- La secuencia arcillosa Cretácica de la F. Mexcala (Ksm);
- Las rocas calcáreas y arcillo calcáreas del Jurásico Superior – Cretácico Inferior de las formaciones Xochicalco (Kix) y Acuitlapán (J-Ka);
- Asimismo, se integran el complejo de rocas metavolcánicas y metasedimentarias del Jurásico tardío – Cretácico Temprano asociadas con el Terreno Guerrero y que Ortega (1981) define como “Complejo Tierra Caliente” (J-Kmt).

Estas unidades con base en la metodología de la UNESCO se clasifican como **c.1, c.2, c.3 y c.4.**

La caracterización ambiental de la zona de estudio consistió en la definición de dos modelos conceptuales del sistema hidrológico:

1. El modelo conceptual hidrogeológico basado en la geología regional y local y en la recopilación de datos hidroquímicos del agua termal y fría de los manantiales de la zona.
2. El modelo conceptual del agua superficial a partir de visitas de campo a la infraestructura con la que cuenta el OPDAPAS.

La descripción de cada uno de los modelos y su influencia en los sistemas social y económico se muestra a continuación.

3.1.6. Esquema hidrogeológico

Como se ha descrito anteriormente, Ixtapan de la Sal se caracteriza desde el punto de vista geológico por presentar rocas ígneas, sedimentarias y metamórficas dentro de sus límites político-administrativos, lo cual tiene una influencia directa sobre el aprovechamiento de los recursos hídricos y el desarrollo económico del municipio.

Al no contar con espesores mayores de 100 metros de material poroso en la mayor parte del municipio, la extracción de agua dulce para consumo humano en la cabecera municipal y la mayor parte de las comunidades se ve reducida a algunos pozos particulares de poca profundidad y manantiales.

A pesar de que han existido esfuerzos por parte de las autoridades para extraer agua subterránea de pozos profundos, las perforaciones han resultado negativas, ya que el basamento metamórfico funciona como un acuicludo, haciendo imposible la extracción de agua. Sin embargo, esas mismas características geológicas han permitido que Ixtapan de la Sal destaque en el ámbito turístico, ya que la emergencia de manantiales de aguas termales ha sido un factor importante para el desarrollo económico de la zona.

La caracterización de las aguas termales es fundamental para poder determinar su composición, sus propiedades, su origen y sus cambios en el tiempo, y de este modo definir si existe o no algún grado de vulnerabilidad intrínseca, para de esta forma establecer procesos de gestión que puedan mantener la cantidad y calidad de este recurso.

El proceso de caracterización consistió en visitas de campo a los manantiales ubicados en el área de estudio, localizando 10 manantiales, a 9 de ellos se les realizaron mediciones en campo de pH, conductividad, sólidos disueltos totales y oxígeno disuelto, 8 son manantiales de aguas termales y dos de agua dulce. La distribución de los sitios visitados se muestra en la Figura 3.14.

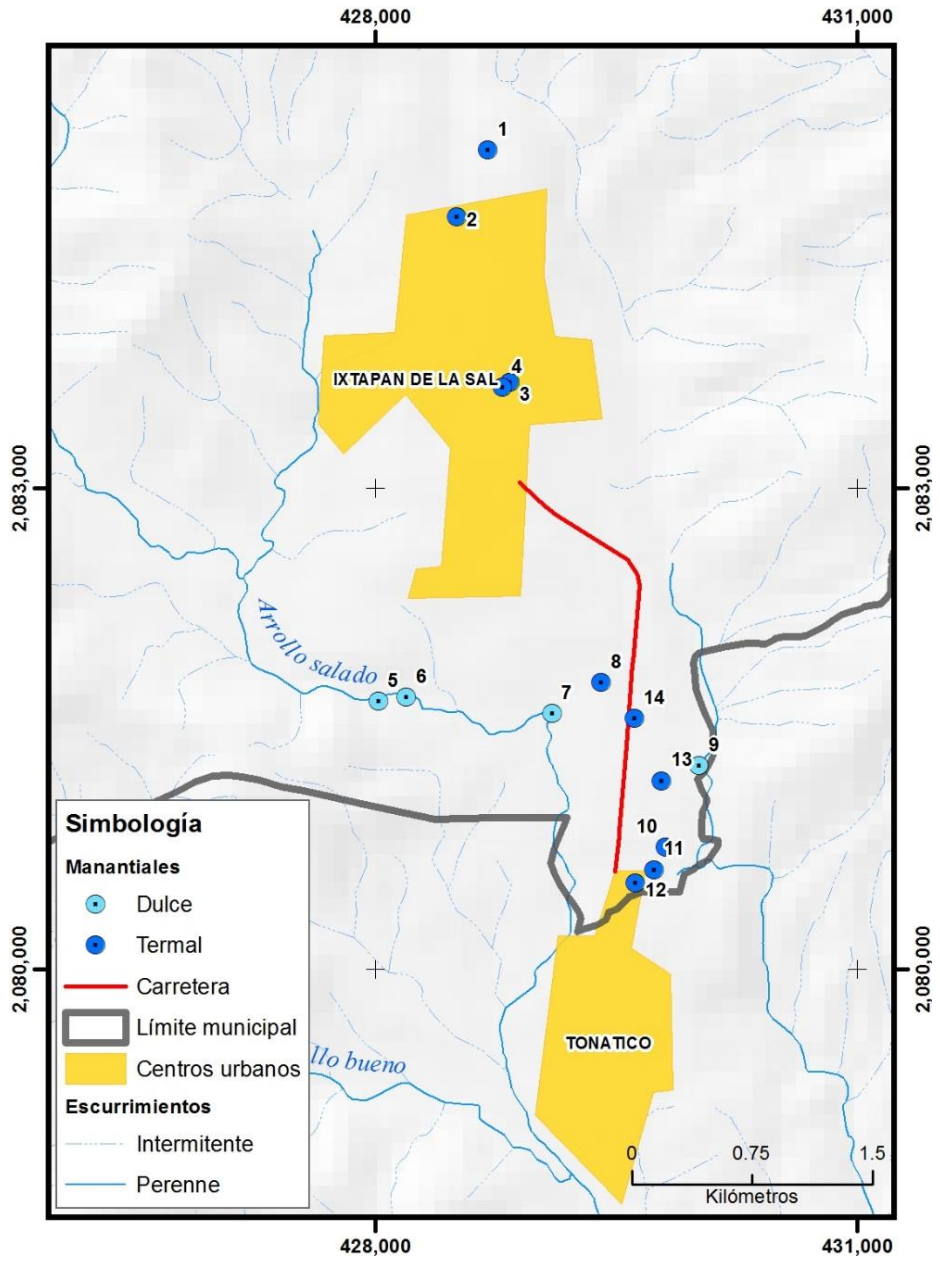


Figura 3.14. Ubicación de manantiales visitados en campo.

Las características de los sitios visitados en campo se describen a continuación:

a) Laguna verde

Sitio ubicado al norte de Ixtapan de la Sal, pertenece a la empresa Nueva Ixtapan. Es un manantial que brota en una hondonada en una zona cubierta de vegetación, la temperatura del agua es de 33°C. Se hicieron dos visitas, una en estiaje y otra en época de lluvias, en las cuales se observan que hubo un aumento el volumen de agua contenida en el embalse, sin embargo, no se pudo determinar si es producto de escurrimientos superficiales de la zona o un aumento en el caudal del manantial. Los materiales que afloran en el sitio son rocas calizas, que se observan en los puntos de emergencia del agua (Figura 3.15).

b) Parque acuático Ixtapan de la Sal

Este manantial es el que tiene mayor caudal y temperatura de la zona, no se nos permitió medir las propiedades de físico-químicas del agua, sin embargo, empleados del lugar informan que la temperatura registrada es de 40.8 °C y se enfría a 38.9°C al llegar a la alberca. Este manantial pertenece a la empresa Nueva Ixtapan y tiene un caudal constante durante todo el año (Figura 3.16).

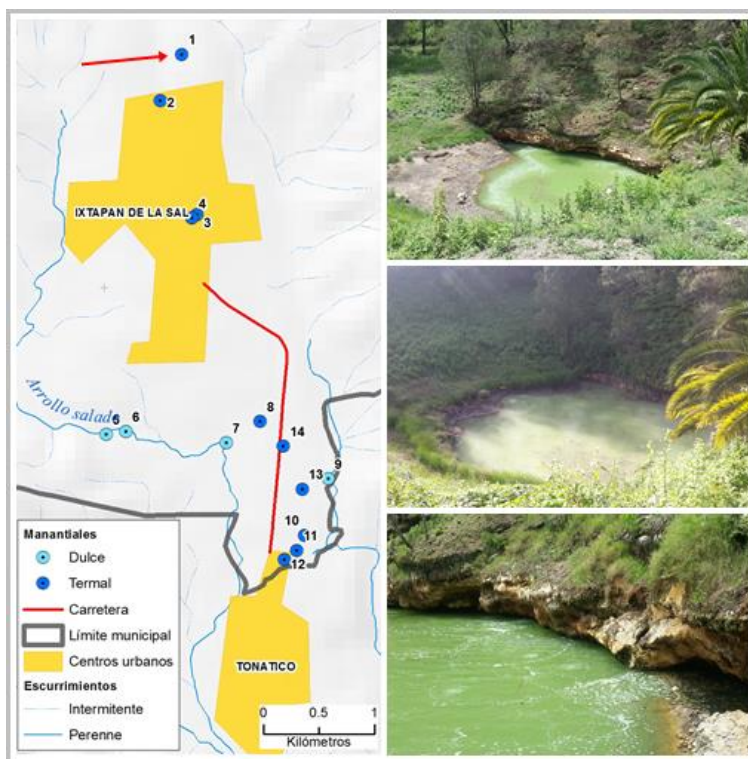


Figura 3.15. Ubicación y entorno del manantial Laguna Verde.

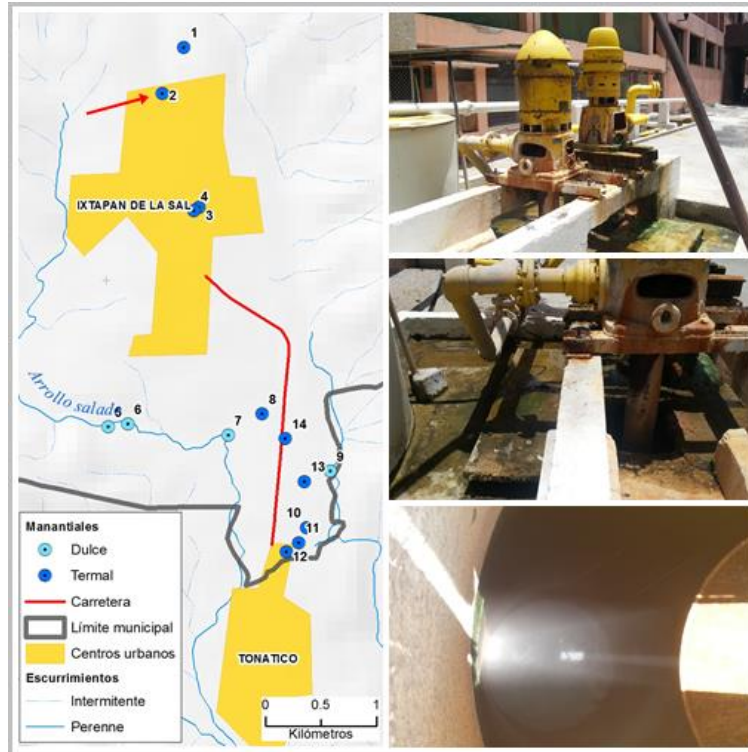


Figura 3.16. Ubicación y entorno del manantial del Parque Acuático Ixtapan.

c) Balneario Municipal Ixtapan de la Sal I

El balneario Municipal cuenta con dos manantiales, uno en la esquina noreste y otro en la esquina suroeste, al primero se tiene acceso subterráneo donde se observa la estructura por la cual el agua es transportada desde el punto de emergencia hasta las albercas. La temperatura registrada en el sitio de muestreo fue de 39°C, pero al llegar a las albercas pierde alrededor de 3°C (Figura 3.17).

d) Balneario Municipal Ixtapan de la Sal II

El otro manantial del balneario municipal se encuentra ubicado en la esquina suroeste, no es posible acceder a él ya que está totalmente cubierto por una losa de concreto, por lo cual tampoco fue posible realizar ninguna medición en el sitio, solo en la alberca que alimenta. Se identifica su localización por una cúpula que está construida sobre él (Figura 3.18).



Figura 3.17. Ubicación y entorno del manantial del Balneario Municipal de Ixtapan de la Sal I.

e) Agua Amarga

En la zona de agua amarga se cuenta con dos manantiales, ambos de agua dulce, con una separación de 300 metros. Dichos manantiales se encuentran junto al río Salado en una zona cubierta por vegetación. El agua de estos manantiales se ocupaba para abastecimiento de agua potable, sin embargo, a raíz de los resultados de los muestreos realizados por la CAEM en el 2011, se decidió dejar de utilizar estos recursos ya que se encontraron valores de arsénico por encima de lo que indica la NOM-127. La temperatura registrada (23°C) fue mayor que la de la temperatura ambiente (20.5°C), sin embargo, la diferencia de 2.5°C no es suficiente para considerarla como termal (Figura 3.19).

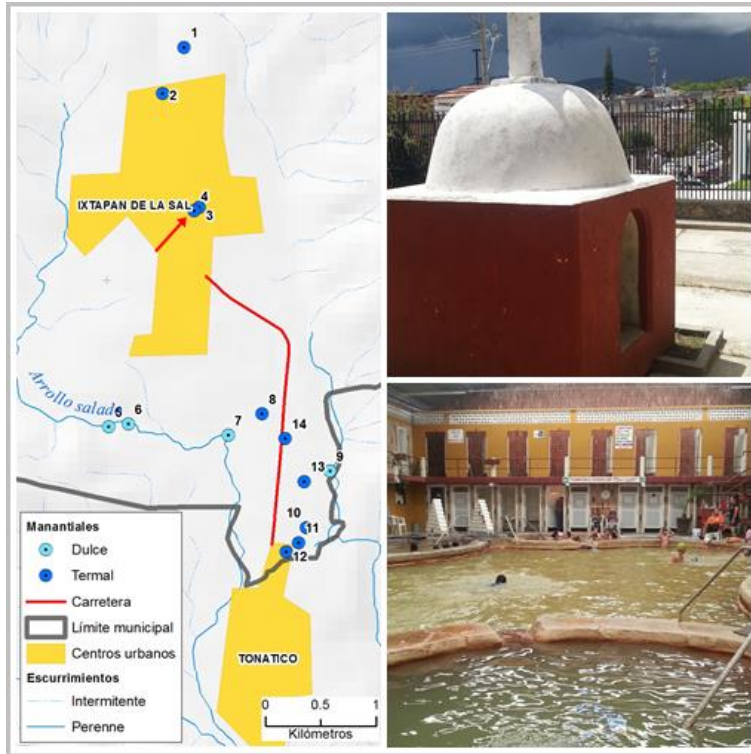


Figura 3.18. Ubicación y entorno del manantial del Balneario Municipal de Ixtapan de la Sal II.

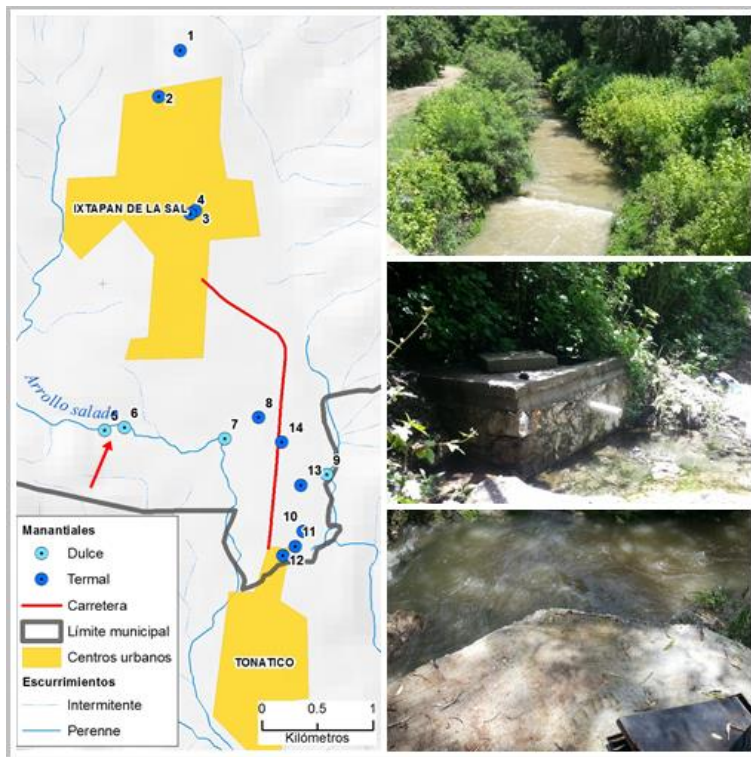


Figura 3.19. Ubicación y entorno de los manantiales Agua Amarga.

f) El carrizal

Es un manantial de agua dulce ubicado junto al arroyo Los Sabinos, y al igual que los de Agua Amarga presentó niveles elevados de arsénico, por lo cual dejó de utilizarse para abastecimiento humano. El caudal aumenta en época de lluvias (Figura 3.20).

g) Ixtamil I

Se encuentra dentro de las instalaciones de un balneario propiedad del Sindicato de Maestros al Servicio del Estado de México (SMSEM). Brota en una alberca techada a la cual se le da mantenimiento los días martes, lo que permite hacer mediciones más directamente del punto de surgencia. Se registró una temperatura en el agua de la alberca de 34°C y después del vaciado de la alberca fue posible medir la temperatura en el punto donde brota el agua, alcanzando una temperatura de 38°C (Figura 3.21).

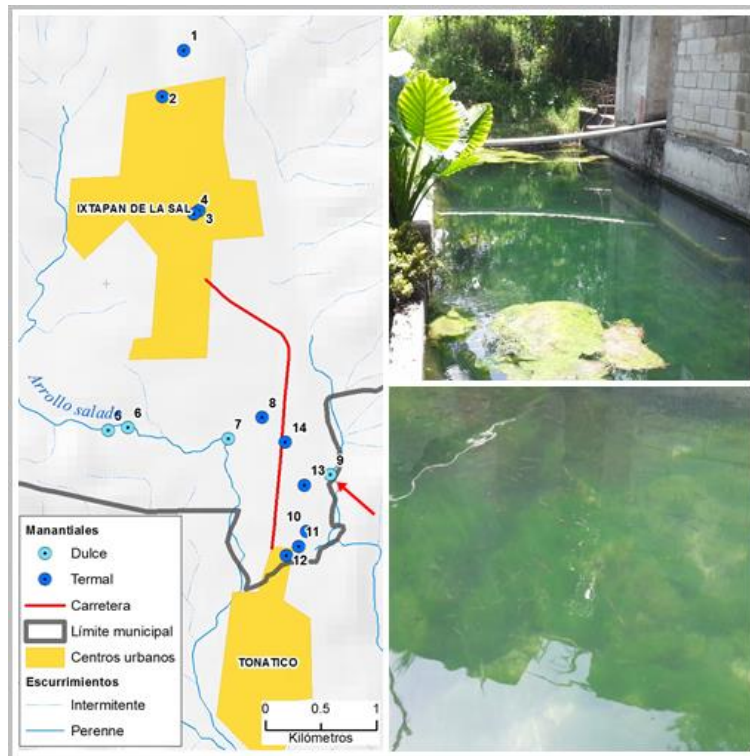


Figura 3.20. Ubicación y entorno del manantial El Carrizal.



Figura 3.21. Ubicación y entorno del manantial Ixtamil.

h) Ixtamil II

En las mismas instalaciones del balneario del SMSEM se encuentra ubicado un manantial de agua dulce que desemboca en el Río Salado, y aporta el caudal suficiente para todas las actividades dentro del balneario (se estiman 3-4 l/s). Sus parámetros químicos aún no han sido determinados (Figura 3.22).

i) Baños del Obispado

Manantial ubicado dentro de una propiedad perteneciente al Obispado de Toluca, cualquier persona tiene acceso al él. Surge en una alberca techada por una cúpula y se registró una temperatura de 34.6°C. El agua excedente es dirigida por un canal a una alberca que se ubica en la porción este de la propiedad (Figura 3.23).

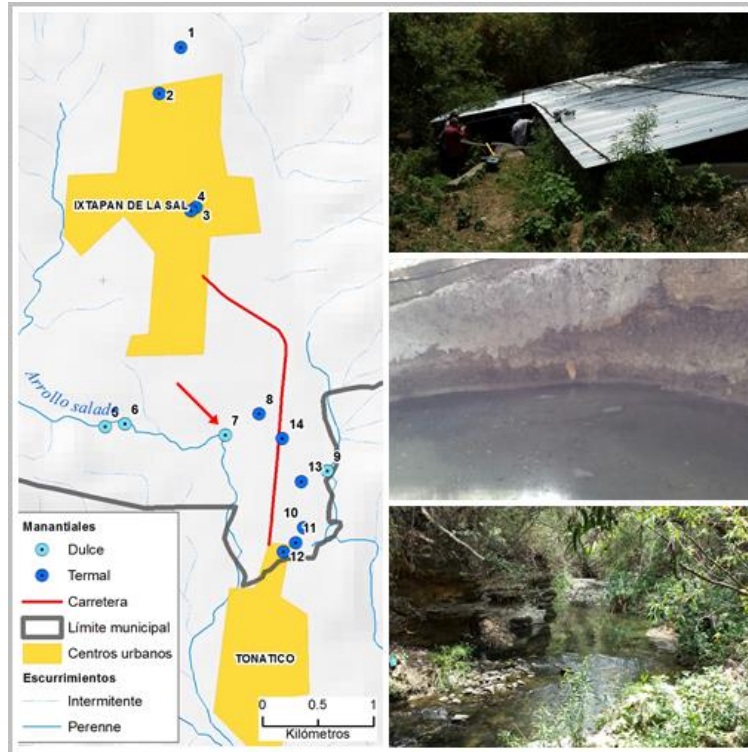


Figura 3.22. Manantial de agua dulce Ixtamil.

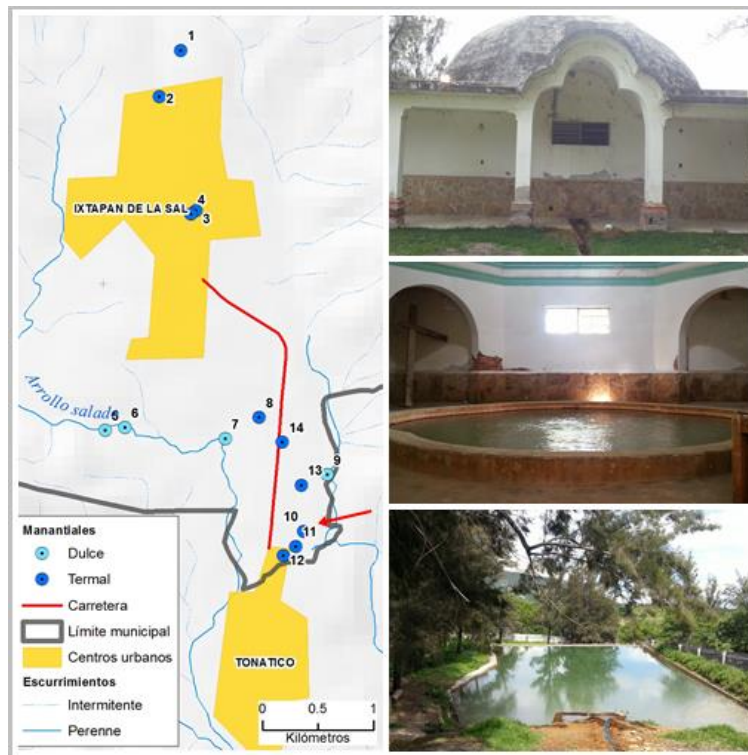


Figura 3.23. Ubicación y entorno del manantial Baños del Obispo.

j) Olincalli

Este sitio se encuentra en el límite de Ixtapan de la Sal con Tonatico, en él se encuentran dos manantiales con 15 metros de separación, el de mayor caudal se encuentra techado y brota en una alberca, en la que se registraron temperaturas de 36.1°C. El segundo manantial se encuentra cubierto por una lámina. El agua excedente es transportada a una alberca al aire libre y esta a su vez desagua hacia un canal que está ligado con el balneario de Tonatico, en donde se canaliza hacia un arroyo (Figura 3.24).

a) Balneario Municipal de Tonatico

Este sitio se encuentra a escasos metros de Olincalli y de los Baños del Obispado, no se encuentran claramente definidas las zonas de surgencia, sin embargo, se comenta que son al menos tres dentro de la alberca principal, dicha alberca se encuentra techada y descubierta a los lados. La temperatura del agua registrada en la alberca fue de 34.6°C, sin embargo, documentos del balneario establecen que la temperatura del agua al brotar es de 37°C. el agua excedente es dirigida hacia un canal en la parte sureste del balneario para ser dirigida a un arroyo (Figura 3.25).

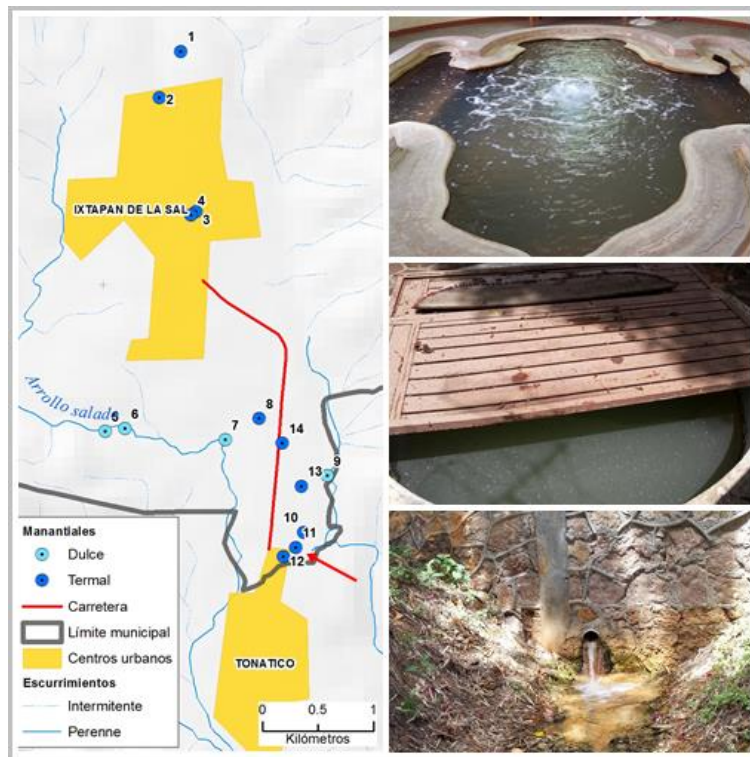


Figura 3.24. Ubicación y entorno del manantial Olincalli.

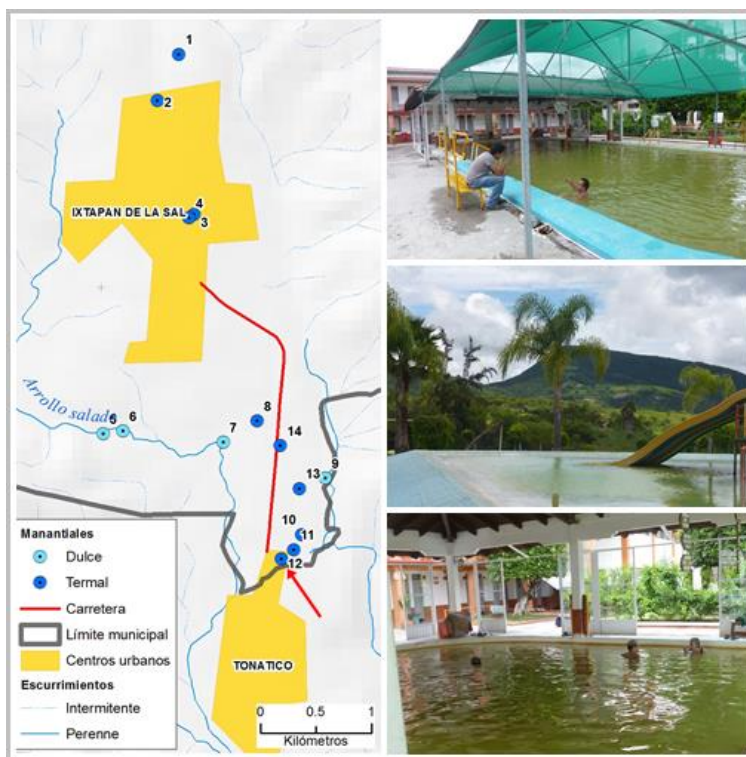


Figura 3.25. Ubicación y entorno del manantial del Balneario Municipal de Tonicato.

En el Cuadro 3.1 se muestra una clasificación de los sitios visitados de acuerdo al tipo de manantiales, nombre y una clave asignada para su registro.

Cuadro 3.1. Manantiales analizados en campo.

CLAVE	NOMBRE	TIPO
MN1	Laguna Verde	Termal
MN2	Municipal Ixtapan	Termal
MN3	Agua Amarga II	Dulce
MN4	Olincalli	Termal
MN5	Baños del Obispado	Termal
MN6	Ixtamil	Termal
MN7	Municipal Tonicato	Termal

1) Parámetros Físicos

Los datos obtenidos de las mediciones de los parámetros físicos del agua de los manantiales se concentran en el Cuadro 3.2, donde se muestra la clave asignada del manantial, el nombre asignado del manantial, la Temperatura del Agua, la Temperatura Ambiente al momento de realizar la medición, los Sólidos Disueltos Totales (SDT), la Conductividad, la Salinidad, el pH y el Oxígeno Disuelto.

La Norma Oficial Mexicana “NOM-127-SSA1-1994 Salud Ambiental. Agua para uso y consumo humano. Límites permisibles de calidad y tratamiento a que debe someterse el agua para su potabilización” considera los límites máximos permisibles para el pH y los SDT. Con respecto al primer parámetro, los valores se encuentran ligeramente por debajo de los valores recomendados (6.5-8.5 unidades de pH), excepto la muestra MN3 correspondiente al manantial de agua dulce, que se encuentra dentro del rango establecido por la norma. Respecto a los SDT la norma establece un límite máximo permisible de 1000 mg/L, valor que se cumple en el punto MN3, registrando un valor de 1000 mg/L; esta cifra está influenciada por las condiciones presentes en la zona de surgencia del manantial, el cual, a pesar de estar protegido por una estructura de concreto, el contacto directo con el suelo y la materia orgánica es continuo. La Conductividad Hidráulica es un parámetro que ayuda a confirmar la concentración de los SDT ya que representa la concentración de sales, lo que aumenta la capacidad del agua de transmitir corriente eléctrica; los valores de Conductividad en los manantiales termales indican concentraciones muy altas de sales, lo cual es un indicador de que en algún punto el agua termal atraviesa por uno o varios estratos kársticos los cuales son propensos a diluirse al estar en contacto con el agua.

El Oxígeno Disuelto no está considerado en la NOM-127-SSA1-1994, sin embargo, es calificado como un indicador de la calidad del agua, ya que evalúa la presencia de microorganismos en el agua. Según normas internacionales, la concentración de OD deberá de estar entre 3 mg/L y 6 mg/L; en este caso los registros de OD en los manantiales termales no pasan de 1.87 mg/L, lo cual indica que las aguas termales no se ven afectadas de manera significativa por el agua producto de precipitación e infiltración a corto plazo.

Cuadro 3.2. Valores obtenidos a partir de mediciones de campo.

CLAVE	NOMBRE	TEMPERATURA DEL AGUA	TEMPERATURA AMBIENTE	SDT (mg/l)	CONDUCTIVIDAD (µS/cm)	SALINIDAD (mg/l)	pH	OD (mg/l)
MN1	Laguna verde	30.3	17.0	5010	10220	5839	6.16	0.58
MN2	Balneario Municipal Ixtapan	39.0	27.0	5070	10340	5909	6.17	0.19
MN3	Agua amarga II	23.0	20.5	1000	2147	1130	6.52	4.02
MN4	Olincalli	36.1	26.0	4740	9630	5486	6.31	0.961
MN5	Baños del obispado	34.6	27.0	4740	9670	5495	6.37	1.80
MN6	Ixtamil	38.0	20.0	4900	10200	5690	6.26	1.87
MN7	Balneario Municipal Tonicato	37.0	25.0	4860	9930	5650	6.13	1.07

Se puede observar que los valores más elevados de sólidos disueltos totales, conductividad y salinidad corresponden a los manantiales MN1, MN2 y MN6 lo cual se correlaciona con los valores más altos de temperatura (Figura 3.26) para los manantiales MN2 y MN6. Con respecto al valor de la temperatura del manantial MN1, se registró el valor más bajo de los manantiales termales, sin embargo la medición se realizó en las orillas del embalse alejado del punto donde brota el manantial, y debido al tamaño del cuerpo de agua, este pudo haber sido un factor determinante para el descenso de la temperatura; Asimismo, hay que considerar que el manantial del Parque Acuático se encuentra a 300 metros de distancia, el cual reporta una temperatura del agua de 40.8 °C.

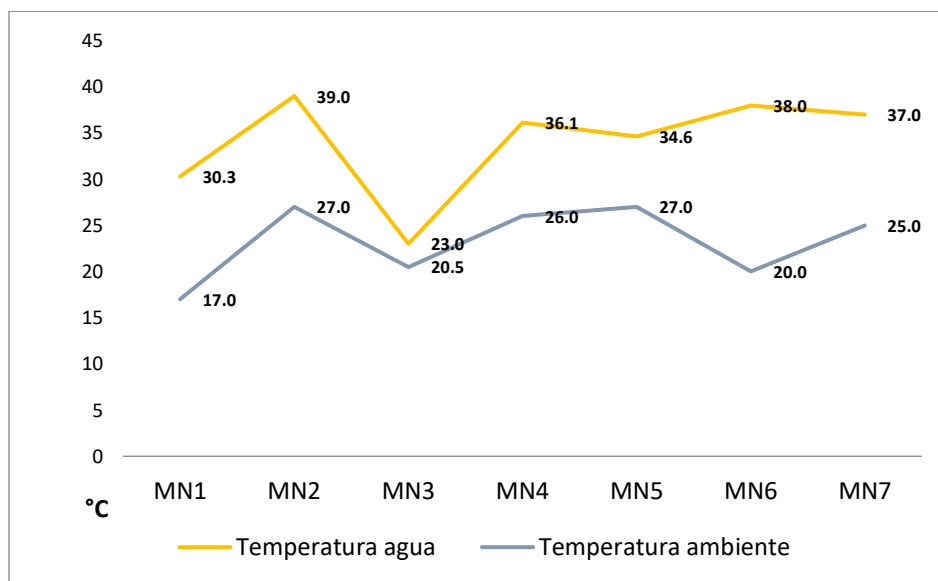


Figura 3.26. Valores de temperatura del agua de los manantiales (°C).

Estas cifras muestran que los puntos con mayor temperatura, caudal y niveles de salinidad se encuentran en el norte del área de estudio y conforme se avanza hacia el sur dichas concentraciones disminuyen; lo cual es un indicador de que las vías preferenciales del flujo del agua termal se encuentran en la porción norte de Ixtapan de la Sal.

2) Parámetros Químicos

Las muestras de agua de los manantiales tomadas en campo fueron enviadas para su análisis en laboratorio para determinar las concentraciones de aniones (Cuadro 3.3) y cationes (Cuadro 3.4) presentes en los diferentes puntos de muestreo. Los resultados muestran que el agua termal sobrepasa los límites máximos permisibles marcados por la norma en todos los parámetros, excepto en flúor y aluminio, sin embargo, se debe considerar que dichos niveles están establecidos para agua potable, aunque también se tiene registro de personas que llegan a consumir esporádicamente una pequeña cantidad de agua termal para usos curativos (Figura 3.27).

Cuadro 3.3. Valores de concentración cationes de en los manantiales.

	Al ³⁺ mg/L	As ⁺ mg/L	B ⁺ mg/L	Ca ²⁺ mg/L	Fe ⁺ mg/L	K ⁺ mg/L	Li ⁺ mg/L	Mg ²⁺ mg/L	Mn ⁷⁺ mg/L	Na ⁺ mg/L	S ⁺ mg/L	Si ²⁺ mg/L	Sr ²⁺ mg/L
LÍMITE	0.20	0.025	N.C.	N.C.	0.3	N.C.	N.C.	N.C.	0.15	200	N.C.	N.C.	N.C.
MN1	0.0283	1.6310	27.9	589	2.0679	183	8.1	75.0	0.1689	1245	317	10.23	3.8660
MN2	0.0282	1.9160	26.5	605	2.5843	194	8.6	70.1	0.1546	1264	330	9.64	4.0080
MN3	0.0196	0.2317	4.1	178	<l.c.	34	1.6	14.8	<l.c.	174	48	9.07	1.0900
MN4	0.0321	0.4681	11.1	331	0.7197	114	5.4	30.7	0.0650	735	173	3.93	2.4770
MN5	0.0308	0.5178	24.8	540	0.0668	175	7.8	65.8	0.1506	1182	288	9.52	3.6620
MN6	0.0232	0.5338	26.8	572	0.0673	179	8.1	71.7	0.1629	1263	297	9.97	3.7500
MN7	0.0279	0.6478	26.5	553	0.2558	188	8.4	71.4	0.1625	1224	297	9.84	3.9520

Cuadro 3.4. Valores de concentración de aniones en los manantiales.

	F ⁻ (mg/L)	Cl ⁻ (mg/L)	Br (mg/L)	NO ₃ ⁻ (mg/L)	SO ₄ ²⁻ (mg/L)
LÍMITE	0.30	250	N.C.	10	0.50
MN1	1.03	24490	4.3	1.45	8851
MN2	1.01	5680	3.4	3.01	3552
MN3	0.48	12	0.3	24.81	122
MN4	0.58	3530	1.4	<l.c.	1482
MN5	0.94	35695	2.9	0.18	13818
MN6	0.68	2354	1.7	<l.c.	1033
MN7	0.65	1036	0.8	<l.c.	400



Figura 3.27. Bebedero de agua termal en Ixtapan de la Sal.

Aunque la legislación en México no establece límites máximos permisibles para elementos como el B, Ca, K, Li, Mg, S, Si y Sr, la alta concentración de estos ayuda a determinar el origen de estas aguas. En el caso del boro se encuentra una relación directa con áreas de vulcanismo activo, donde las aguas subterráneas son influenciadas por elevadas temperaturas ($\sim 200^{\circ}\text{C}$). Al igual que el boro, el azufre puede tener origen volcánico, principalmente magmático, lo cual indica que sus altas concentraciones en los manantiales termales estarían relacionadas con el contacto de flujos de agua subterránea regional y alguna intrusión magmática como un batolito o lacolito, etc. propios del sistema volcánico transversal y el sistema de fallas Taxco-San Miguel de Allende.

Elementos como el calcio y el magnesio están asociados con la dureza del agua, la cual es un reflejo de las formaciones geológicas con las que el agua ha estado en contacto, en este caso el calcio es un indicador de que el agua ha estado en contacto con formaciones sedimentarias de tipo kárstico, las cuales de acuerdo con los cortes geológicos publicados por SIIMA en 2001 subyacen las formaciones ígneas y metamórficas que afloran en el municipio de Ixtapan de la Sal, información que se ve confirmada por las altas concentraciones de sodio que en algunos casos supera hasta seis veces el límite máximo permisible.

El punto MN3 es el único de los sitios muestreados cuyas aguas son utilizadas para el consumo humano, por lo cual se encuentra bajo la total aplicación de la norma NOM-127-SSA1-1994 de la secretaría de salud. Este manantial, a pesar de tener concentraciones mucho más bajas que las de las aguas termales, alcanza en algunos parámetros valores que superan por mucho lo establecido por la norma; es el caso del arsénico, el cual es un elemento relacionado con afecciones como cáncer de piel, cirrosis, problemas de reabsorción renal, afectación a glóbulos

blancos, entre otros; además su origen está relacionado con actividad volcánica, lo cual indica que la influencia del sistema termal afecta de forma regional el comportamiento hidrogeológico del municipio.

Para el caso del boro, la SEDUE (1989) indica un máximo permisible de 1 mg/L de concentración para uso público urbano, ya que valores superiores están asociados a daños al sistema digestivo, hígado, riñones y cerebro (WHO, 2008). El azufre puede afectar de manera grave el hígado y los riñones, además de la circulación de la sangre; a partir de 1 mg/L comienza a causar mal olor, en combinación con otros elementos forma sulfuros.

Los parámetros medidos permitieron agrupar las características del agua mediante un diagrama de Piper, en el que se determinó, debido a las altas concentraciones de sales que el agua de los manantiales termales es de tipo Clorurada-Sódica y el agua del punto MN3 es de tipo bicarbonatada-cálcica (Figura 3.28)

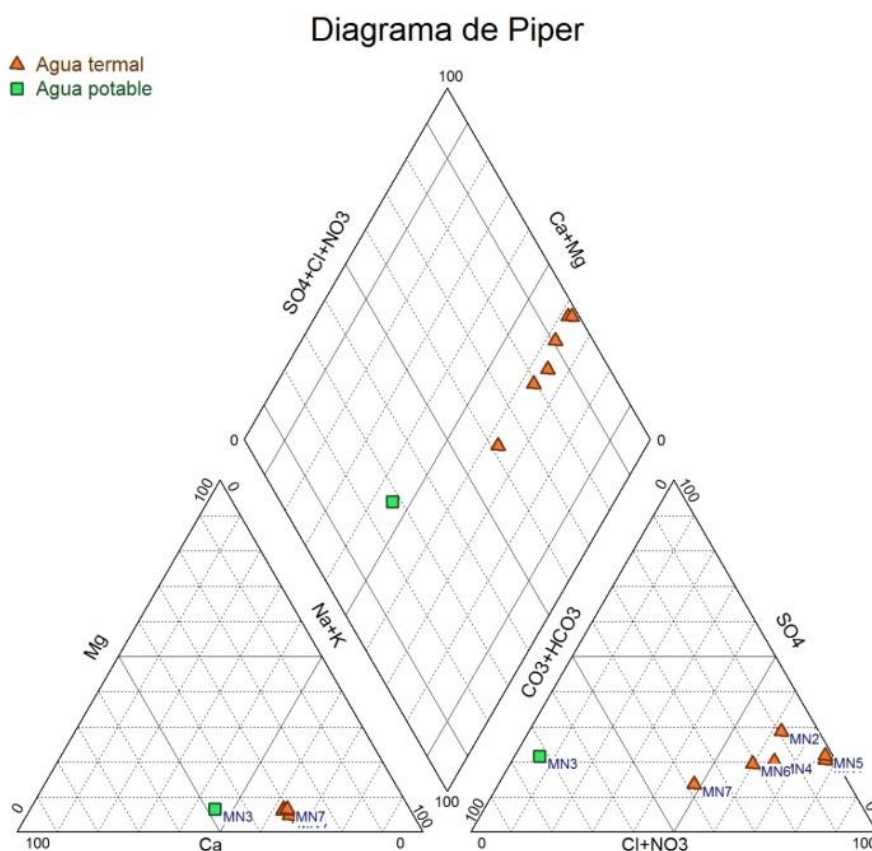


Figura 3.28. Gráfica de piper del agua termal de Ixtapan de la Sal.

Basándose en el análisis de las unidades hidrogeológicas, de la hidrogeoquímica y de los eventos estructurales que han predominado en la zona se generó una nueva sección geológica (D – D') (Figura 3.29), a partir de la cual se generó un nuevo corte (Figura 3.30), el cual atraviesa la zona urbana de Ixtapan de la Sal y ayuda a entender el comportamiento hidrogeológico de la zona.

El corte muestra el cabalgamiento de las formaciones metamórficas del Jurásico sobre las formaciones sedimentarias del Cretácico, fenómeno que definió el cauce de algunos de los afluentes del río San Jerónimo.

Otro aspecto que se observa es que las unidades aluviales del Cuaternario (Acuífero en materiales granulares) tienen un espesor menor a los 100 metros, lo que acota su explotación a pozos someros con un caudal limitado.

A partir de esta información se generó un esquema conceptual del flujo del agua termal desde la línea de contacto del basamento andesítico con las formaciones sedimentarias, pasando por el sistema de fallas y por la formación Kix, la cual presenta porosidad secundaria debido a la disolución de las rocas carbonatadas, hasta que llega a las zonas de fracturas de la roca metamórfica y aflora en la superficie. Dicho esquema se observa en la Figura 3.31.

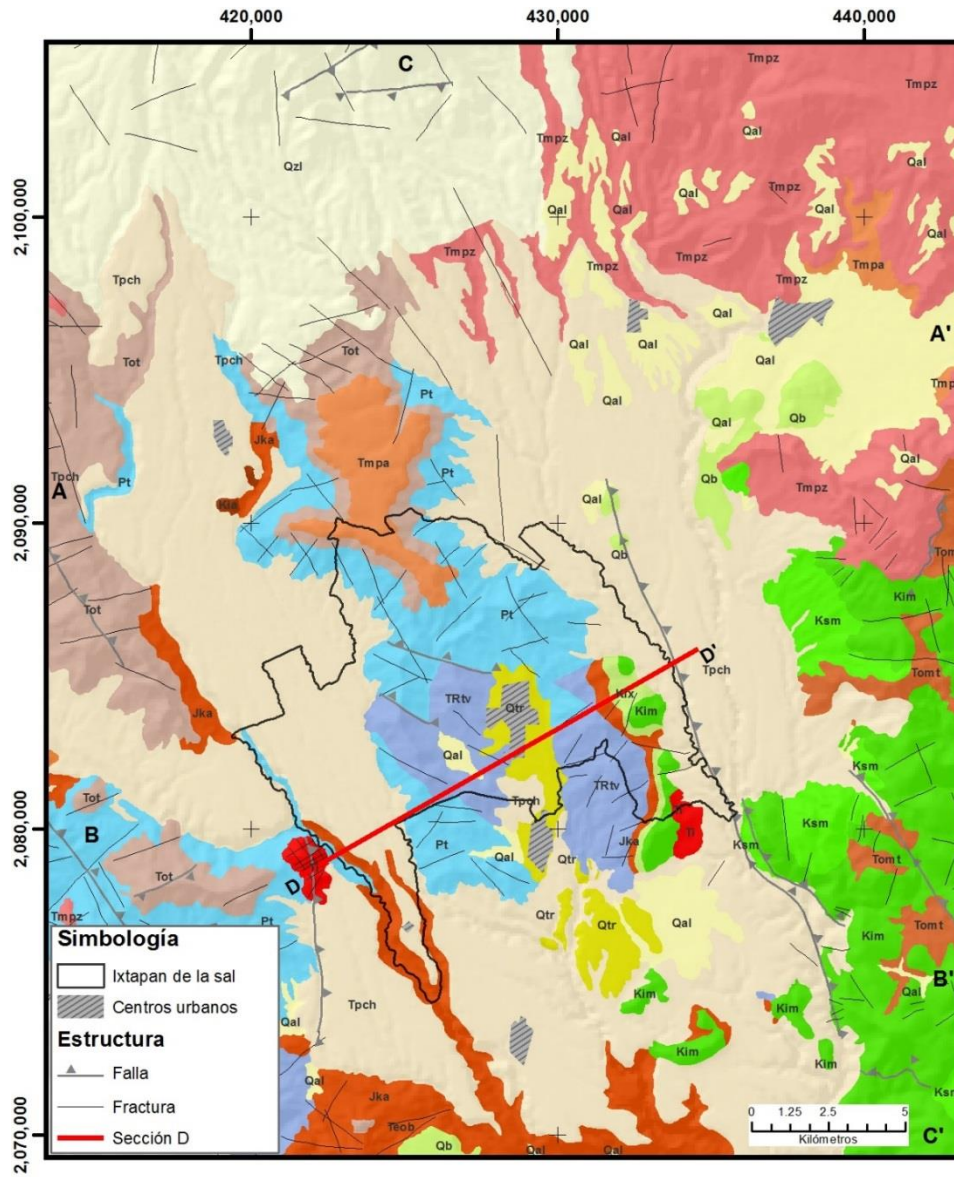


Figura 3.29. Mapa geológico, mostrando en planta el segmento D – D’.

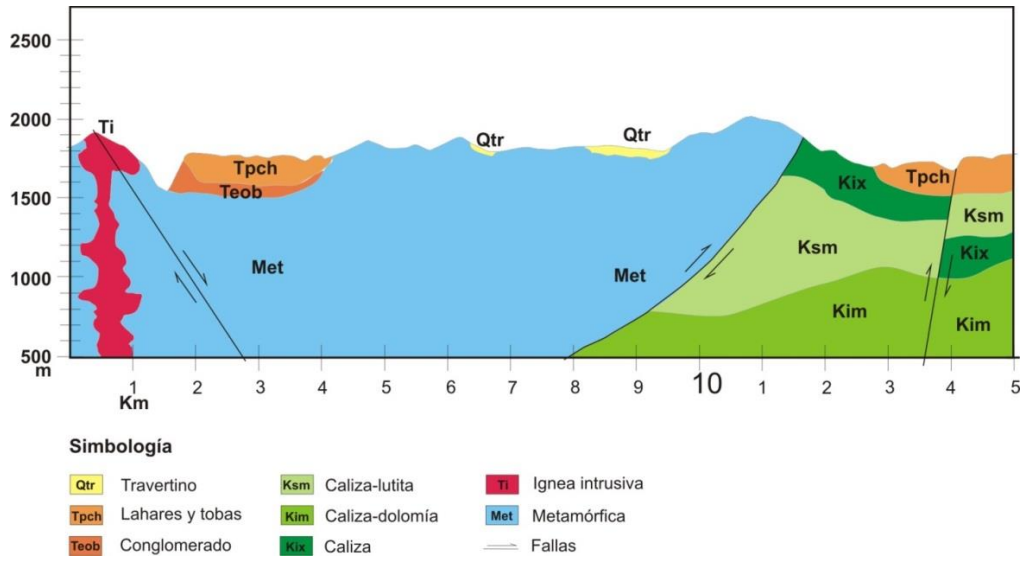


Figura 3.30. Corte D – D' del mapa geológico regional de la zona de estudio.

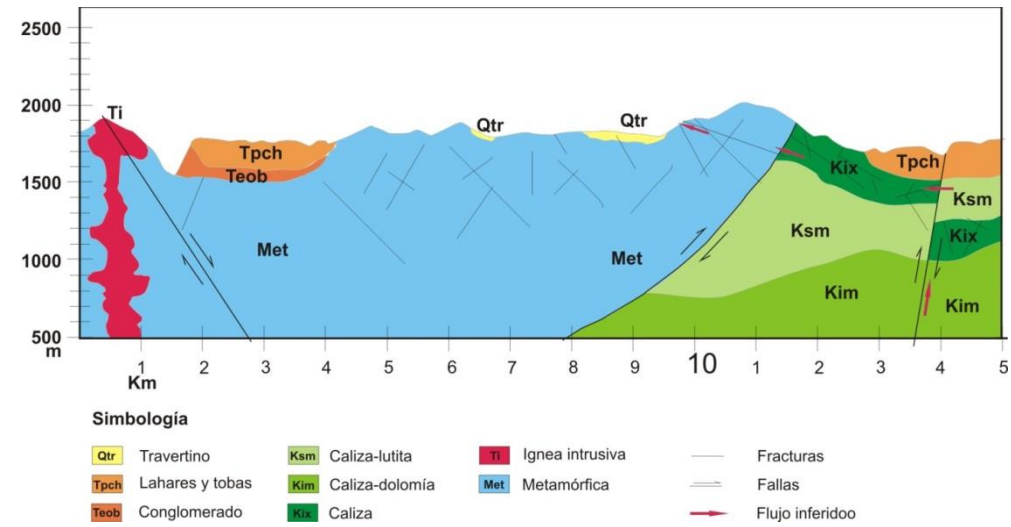


Figura 3.31. Esquema conceptual del flujo termal.

3.1.7. Modelo conceptual del sistema ambiental del agua

Como resultado de la caracterización del sistema ambiental, se obtuvo un listado de los principales aspectos observados en cada rubro, los cuales se tradujeron en variables, para posteriormente elegir las consideradas prioritarias en el municipio. Esta información se organizó con base en el sistema FLOA, lo que permitió evaluar las fortalezas y limitaciones, así como las oportunidades y amenazas. Las variables obtenidas se muestran en el Cuadro 3.5, entre las que destacan el volumen del agua disponible para consumo humano definido principalmente por las concesiones otorgadas al municipio, la calidad del agua, tanto para el consumo como la descargada en los sistemas de drenaje, la infraestructura de almacenamiento, potabilización y tratamiento del agua, así como la red de distribución del agua.

El análisis de los anteriores factores fue la base para la construcción de modelo conceptual del agua en el municipio de Ixtapan de la Sal (Figura 3.32), en el cual se muestran las entradas de materia y energía al sistema, representadas por la precipitación, el flujo subterráneo que alimenta los manantiales de agua dulce y el flujo subterráneo profundo que da origen a los manantiales de aguas termales; por otro lado, se indica la entrada de agua al sistema por medio del canal federal y se señalan las principales concesiones que de este se desprenden (Nueva Ixtapan, Distrito de Riego, OPDAPAS), así como los posibles usos que se le da a dicha concesión, destacado el uso recreativo, el público urbano y el de riego.

De igual manera se indica la porción del agua que recibe un proceso de potabilización, requerimiento necesario para abastecer a la población con un recurso que cumpla con los límites máximos establecidos por la legislación vigente.

El resto de los procesos indicados en el modelo conceptual son el almacenamiento de los recursos hídricos (actividad realizada por el OPDAPAS, organismo que dispone de bordo y tanques de almacenamiento para realizar esta actividad); y la descarga de desechos públicos municipales hacia los escurrimientos, actividad que tiene un impacto negativo en la calidad del agua y el suelo del municipio y de cuencas aguas abajo, sin embargo, una parte de esas descargas pasa por un proceso de tratamiento de aguas residuales, lo cual contribuye a mejorar los indicadores de calidad y por consecuencia a reducir el impacto.

El resto de las salidas del sistema son las descargas a otros escurrimientos que no cuentan con planta de tratamiento y cuyo caudal recibe descargas de afluentes intermitentes o de escurrimientos que tienen origen aguas arriba pero que la concesión no pertenece a alguno de los usuarios del municipio.

Cuadro 3.5. Sistema FLOA con las variables ambientales del agua.

	POSITIVAS		NEGATIVAS	
	FORTALEZAS		LIMITACIONES	
	Aspectos observados	Variable	Aspectos observados	Variable
INTERNAS	En época de lluvias el caudal aprovechado por OPDAPAS es suficiente para cubrir las necesidades de la población	Canal federal, escurrimientos	Falta de fuentes de abastecimiento de aguas subterráneas	Agua subterránea
	Manantiales de aguas termales	Aguas termales	Caudal concesionado limitado	Canal federal, concesión
	Manantiales de agua dulce	Manantiales	Capacidad de tratamiento de planta potabilizadora limitado	Tratamiento
	Cuenta con una infraestructura importante para la distribución de agua	Red de distribución y almacenamiento	Método de tratamiento de planta potabilizadora desactualizado	Tratamiento
	Cuenta con una planta potabilizadora	Tratamiento	Pérdidas de caudal en red de distribución por fugas	Red de distribución
	Cuenta con una planta de tratamiento de aguas residuales	Residuos	Contaminación en el canal por deslaves y presencia de animales muertos	Canal federal, contaminación
	OPORTUNIDADES		AMENAZAS	
	Aspectos observados	Variable	Aspectos observados	Variable
EXTERNAS	Entubamiento del canal	Canal federal	Periodo de sequías	Precipitación
	Programas de reforestación	Uso de suelo	Deforestación	Uso de suelo
	Construcción de sistemas de almacenamiento de agua	Almacenamiento	Extracción ilegal de agua del canal federal	Canal federal
	Aprovechamiento del agua de los escurrimientos naturales	Sistema de drenaje	Incremento de sedimentos transportados en el canal	Calidad del agua
	Aumento en el caudal concesionado	Concesión	Contaminación del agua por actividades agrícolas sin control en municipios localizados aguas arriba	Calidad del agua
	Exploración para perforación de pozos en la parte norte del municipio	Agua subterránea		

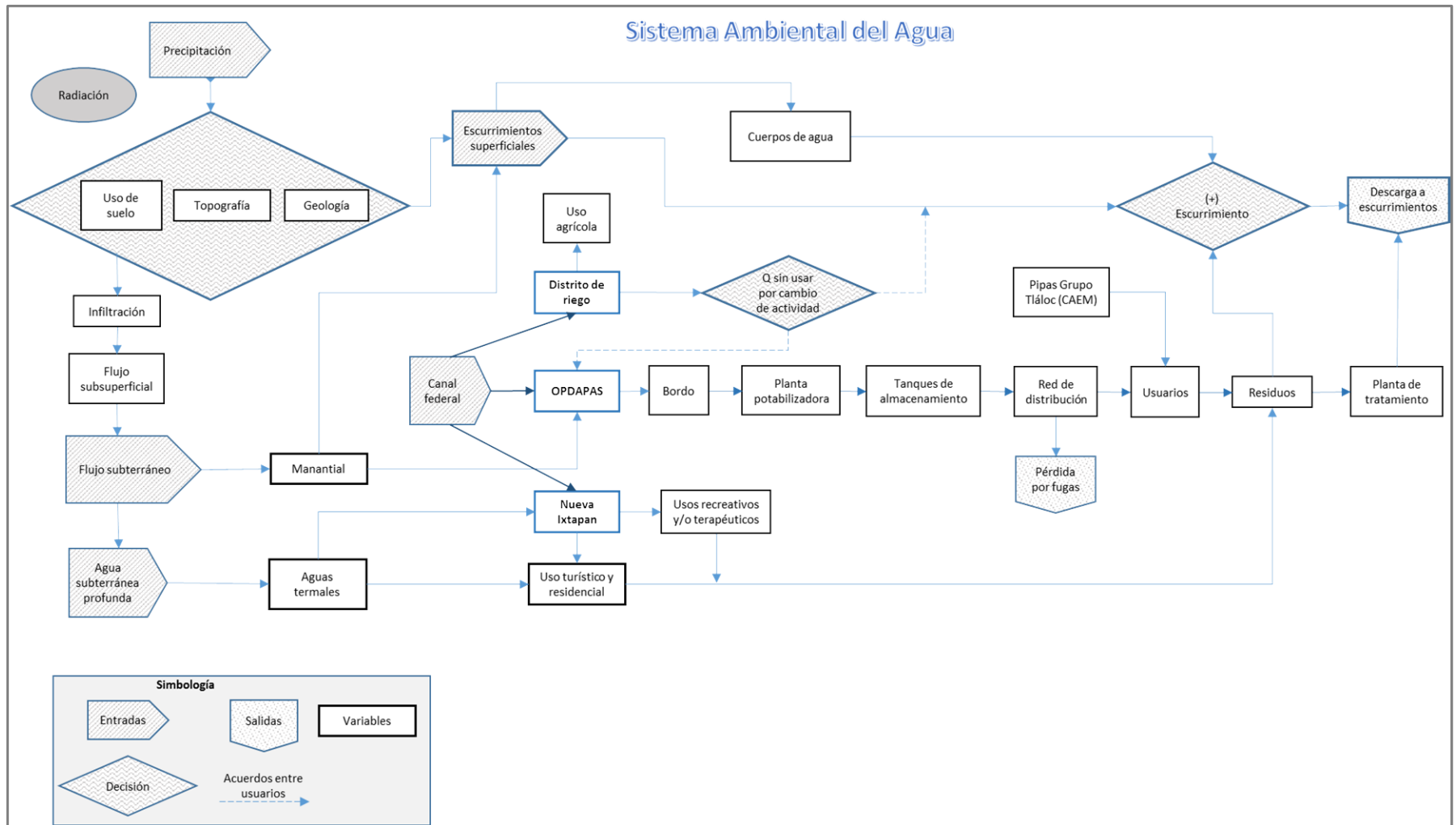


Figura 3.32. Modelo conceptual del sistema ambiental del agua en Ixtapan de la Sal.

3.2 CARACTERIZACIÓN ECONÓMICA

3.2.1. Producto Interno Bruto

Ixtapan de la Sal se ubica dentro de la Región socioeconómica VI del Estado de México, la cual se caracteriza por tener una base agrícola, sin embargo, el municipio de Ixtapan de la Sal destaca por tener una actividad económica primordialmente turística; con un Producto Interno Bruto de 1,464.4 millones de pesos (IGCEM 2011), apenas representa el 0.2% del PIB estatal. En este sentido, el PIB por habitante de Ixtapan de la Sal es de \$43,660, mientras que el del Estado de México es de \$55,435 y a nivel nacional es de \$78,764 (Figura 3.33), lo cual indica una desigualdad muy marcada con el resto del país y expone el nivel de rezago económico en el municipio.

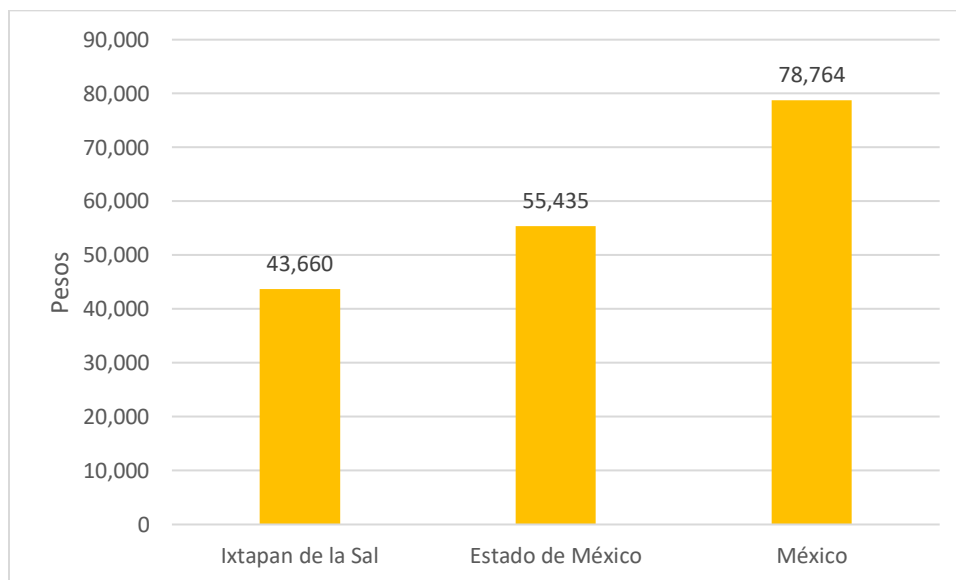


Figura 3.33. Gráfico comparativo del PIB per cápita de Ixtapan de la Sal, Estado de México y México.

La conformación del PIB por sectores económicos revela la importancia que tiene el sector terciario (servicios) en la economía del municipio (77.85%), seguido por el sector secundario con un 20.86% siendo el de menor importancia el sector primario representando apenas el 1.29% del PIB del municipio. Si se comparan estas cifras con el porcentaje de población ocupada por sector se puede observar que a pesar de representar el 1.29% del PIB, el sector primario ocupa casi al 20% de la Población Económicamente Activa (PEA), la misma cantidad que el sector secundario, el cual genera el mismo porcentaje de PIB que la población que tiene ocupada, y destaca que el sector terciario concentra menos población (60.17%) para producir el valor más alto de PIB (Figura 3.34).

En relación con lo anterior, cabe mencionar que el sector primario de Ixtapan de la Sal está conformado básicamente por agricultura y ganadería, ya que no existen actividades mineras o

extractivas (IGECEM, 2010), esta actividad tiene una orientación hacia el autoconsumo más que hacia la comercialización, esto debido a los bajos precios del mercado de granos en la región.

Con respecto al sector secundario, al aportar solo el 20% del PIB en el municipio, no tiene un peso de tanta relevancia. Dentro de las actividades que conforman el sector secundario en Ixtapan de la Sal destaca en mayor proporción la industria manufacturera sobre la construcción y la electricidad, agua y gas; dentro de la actividad manufacturera predomina la artesanía, es decir, no se cuenta con actividad industrial importante en el municipio, factor que podría estar frenando su desarrollo y crecimiento económico. A decir de este tema, en entrevistas realizadas en campo, se recopiló información para concluir que la falta de inversión en el sector secundario está ligada directamente a la disponibilidad de agua, ya que este sector requiere de un abastecimiento constante y en altas cantidades, por lo cual se puede afirmar que la disponibilidad de recursos hídricos, en el caso de Ixtapan de la Sal, condicionan el desarrollo del sector secundario, y por consecuencia el crecimiento económico.

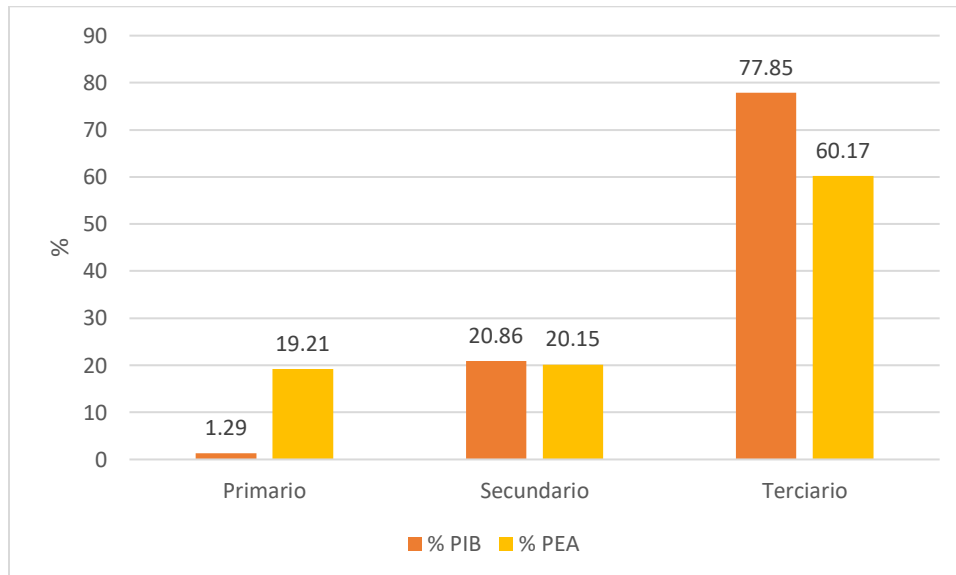


Figura 3.34. Porcentaje de PEA contra porcentaje de PIB en Ixtapan de la Sal por sectores.

El sector terciario en Ixtapan de la Sal está marcado por su vocación turística, hecho que está fuertemente ligado con el aprovechamiento de los recursos hídricos termales para fines curativos y recreativos. Estas características naturales han sido aprovechadas mediante la construcción de infraestructura para atraer a visitantes de diversas partes de la república; de acuerdo con el INEGI (2010), Ixtapan de la Sal cuenta con 58 establecimientos de hospedaje con 1463 habitaciones y 39 establecimientos de alimentos y bebidas, cifras que lo colocan en el primer lugar de importancia turística en el Estado de México (INEGI, 2010).

El plan de desarrollo municipal de Ixtapan de la Sal comenta al respecto que el turismo de alto nivel, de gran demanda, funciona como inversiones tipo enclave, es decir inversiones

importantes que se instalan en un determinado territorio, pero que tienen escasa vinculación con el resto de las actividades económicas del municipio, propiciando con ello que a pesar de haber grandes inversiones y dinamismo, se mantengan una elevada marginación, posibilidades de movilidad social para los grupos que no están directamente vinculados con dichas inversiones. De igual manera se menciona que los atractivos turísticos vinculados con el grueso de la población, son escasamente competitivos frente a los desarrollos turísticos de alto nivel, es decir, la mayor parte de los beneficios económicos es para los grandes inversores, ya que no se cuenta con la capacidad competitiva necesaria por parte del resto de la población, generando las condiciones para que no exista una reinversión en el municipio, propiciando la salida de una parte importante del capital, generando a su vez mayor desigualdad y falta de oportunidades.

3.2.2. Ocupación de la Población

El Valor Agregado Censal Bruto (VACB) es una de las variables de análisis regional que resulta de restar a la producción el importe de los insumos totales y es un indicador de crecimiento económico, al respecto, de acuerdo con el último censo económico (INEGI, 2009), el comportamiento económico de Ixtapan de la Sal ha presentado oscilaciones en los últimos 15 años, ya que en 1998 contaba con un Valor Agregado Censal Bruto Real (millones de pesos) de 238,287, para el año 2003 un valor de 304,086 y para el año 2008 un valor de 274,998 (Figura 3.35), lo cual arroja una Tasa de Crecimiento Media Anual de 5.0% en el periodo 1998-2003 y de -2% para el periodo 2003-2008, lo que representa un descenso muy elevado en un corto periodo de tiempo y se traduce en un total estancamiento económico del municipio en ese último periodo.

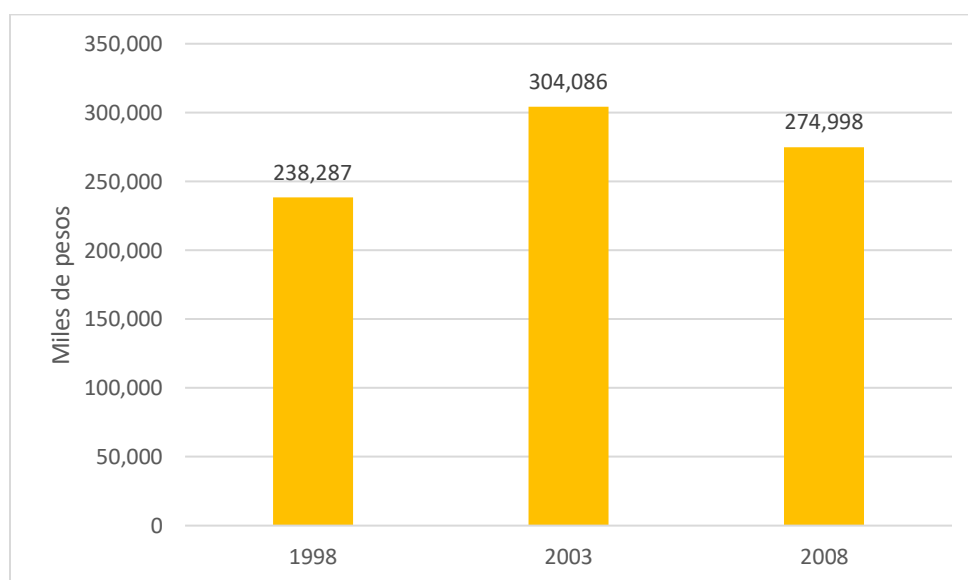


Figura 3.35. Valor Agregado Censal Bruto de Ixtapan de la Sal en el periodo 1998-2008.

A pesar de este comportamiento, dicha tasa de crecimiento no ha afectado directamente a la tendencia de crecimiento de la Población económicamente Activa, la cual se ha mantenido con un aumento constante en periodos de diez años, registrando para el año de 1990 una cifra de 6,298 personas en edad de trabajar que cuentan con empleo, 9,250 para el año 2000 y 12,667 para el 2010 (Figura 3.36), conservando una línea de crecimiento constante.

La distribución de la PEA en el municipio muestra que las tasas más elevadas se localizan en la cabecera municipal y en las localidades aledañas a esta, caso contrario de las localidades que se encuentran más alejadas de los centros de concentración de población. (Figura 3.37).

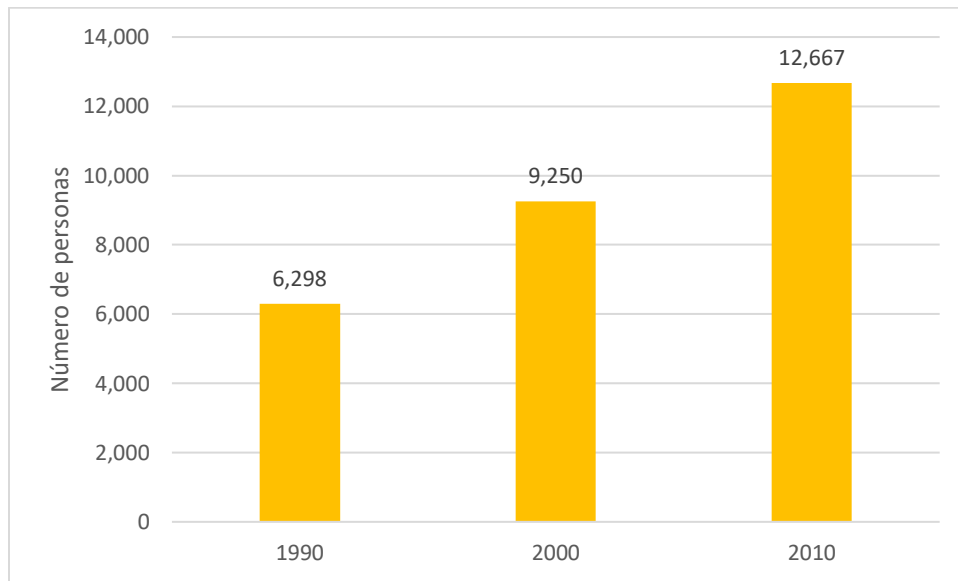


Figura 3.36. Población Económicamente Activa en Ixtapan de la Sal en el periodo 1990-2010.

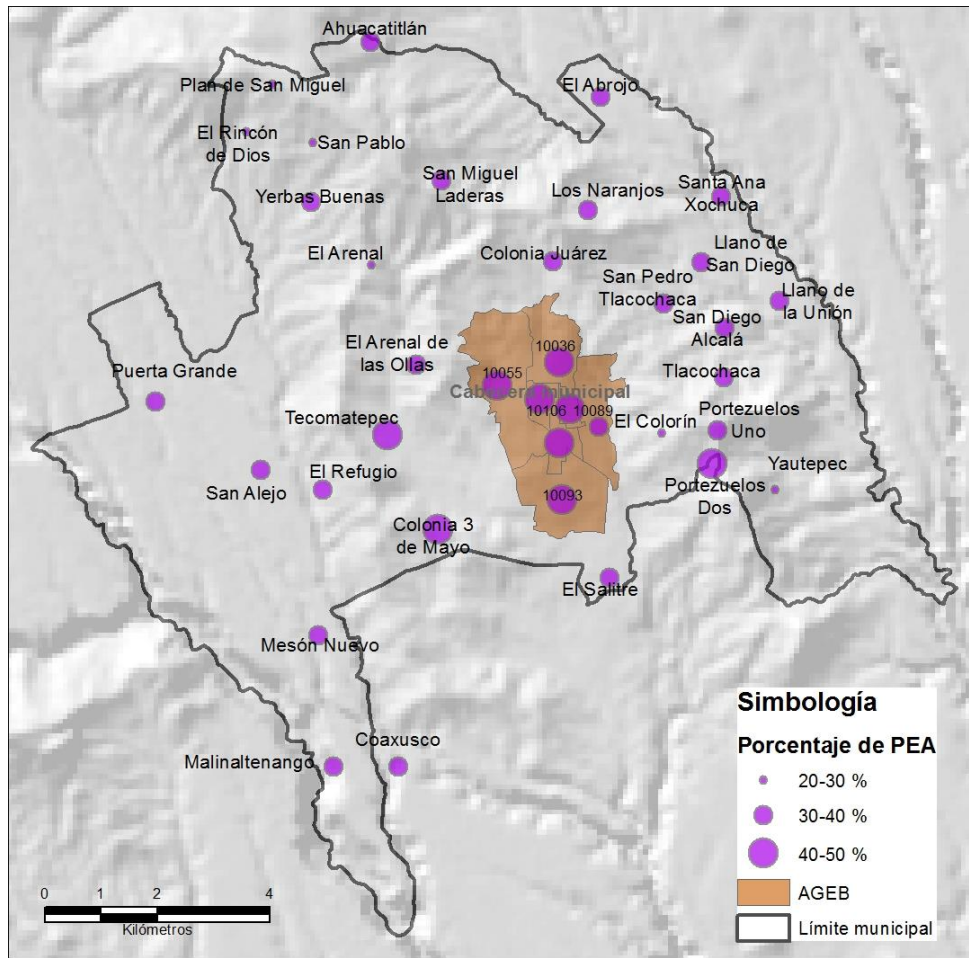


Figura 3.37. Porcentaje de Población Económicamente Activa en Ixtapan de la Sal en el año 2010.

En relación con la Población Económicamente Activa Ocupada (PEAO) ha habido un crecimiento importante en la población ocupada en el sector terciario en detrimento de los sectores primario y secundario, tal como se muestra en el Cuadro 3.6, donde puede observarse que el sector terciario continúa absorbiendo la PEA en una tendencia muy similar a la que muestra el Estado de México en su conjunto (Gobierno del Estado de México, 2012). Ello se confirma por el índice de especialización económica en el sector 71 (“Servicios de esparcimiento, culturales y deportivos, y otros servicios recreativos”), donde sólo el municipio de Malinalco supera a Ixtapan de la Sal, entre los municipios de la Región VI (SECTUR 2014).

Cuadro 3.6. PEAO por sector económico en Ixtapan de la Sal para los años 2000 y 2010.

SECTOR PRIMARIO (%)		SECTOR SECUNDARIO (%)		SECTOR TERCIARIO (%)	
2000	2010	2000	2010	2000	2010
23.3	19.2	22.8	20.15	51.2	60.17

Fuente: SECTUR 2014.

La tasa de empleo reportada por el GEM (2012) presenta un descenso en 2010 en comparación con el año 2000 pasando de 99.1 a 95.5% en 2000 y 2010 de ocupación. Aún con un descenso en 2010, la tasa es significativamente alta, esto se debe probablemente a que excluye a la migración, producto de la falta de opciones de ocupación (SECTUR, 2014). En la Figura 3.38 se representa el porcentaje de ocupación de la PEA en las localidades que se encuentran dentro del territorio municipal, donde se observa que solamente algunas localidades se encuentran por debajo del 95% de PEAO.

Por otro lado, en el municipio el 63.6% y el 49.1% de la PEAO en 2000 y 2010, respectivamente, ganaba hasta dos salarios mínimos; mientras en el mismo período aumentaron quienes ganaban más de dos salarios mínimos de 32.2 a 43.9%. Esto indica claramente la mayor posibilidad de insertarse en otras actividades más redituables, y seguramente se relaciona con la transferencia de mano de obra al sector terciario (SECTUR, 2014).

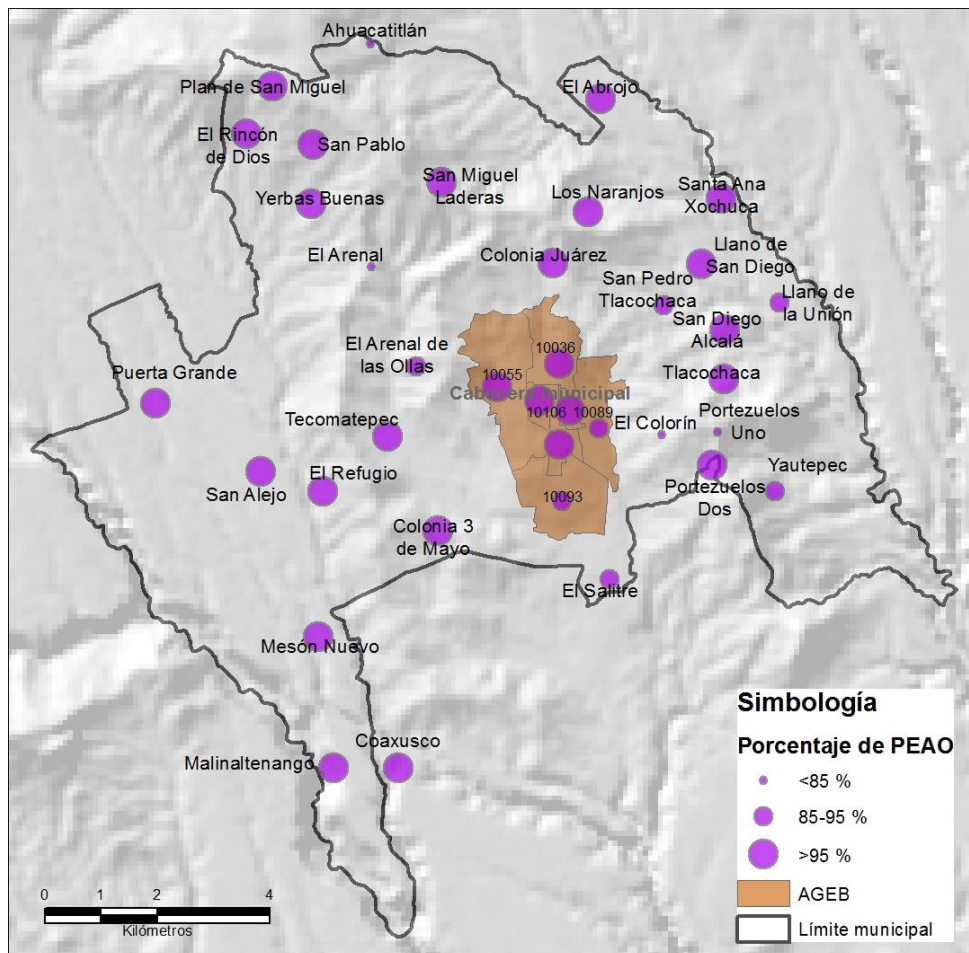


Figura 3.38. Porcentaje de Población Económicamente Activa Ocupada en Ixtapan de la Sal en el año 2010.

3.2.3. Inversión en desarrollo económico y social

De acuerdo con el IGECEM (2010) la inversión en desarrollo económico en Ixtapan de la Sal reportada en el año 2010 fue de \$44,266,494.88 pesos, cifra que al ser dividida entre la población total corresponde a 1,321.86 pesos de inversión total per cápita, considerado lo anterior, la distribución de dicha inversión se concentraría principalmente en la cabecera municipal, sitio donde se desarrollan las principales actividades económicas y las que aportan un porcentaje mayor al PIB (Figura 3.39). Este procedimiento de estimar la inversión por localidad se siguió ya que las estadísticas económicas no llegan a escala de localidad o AGEB.

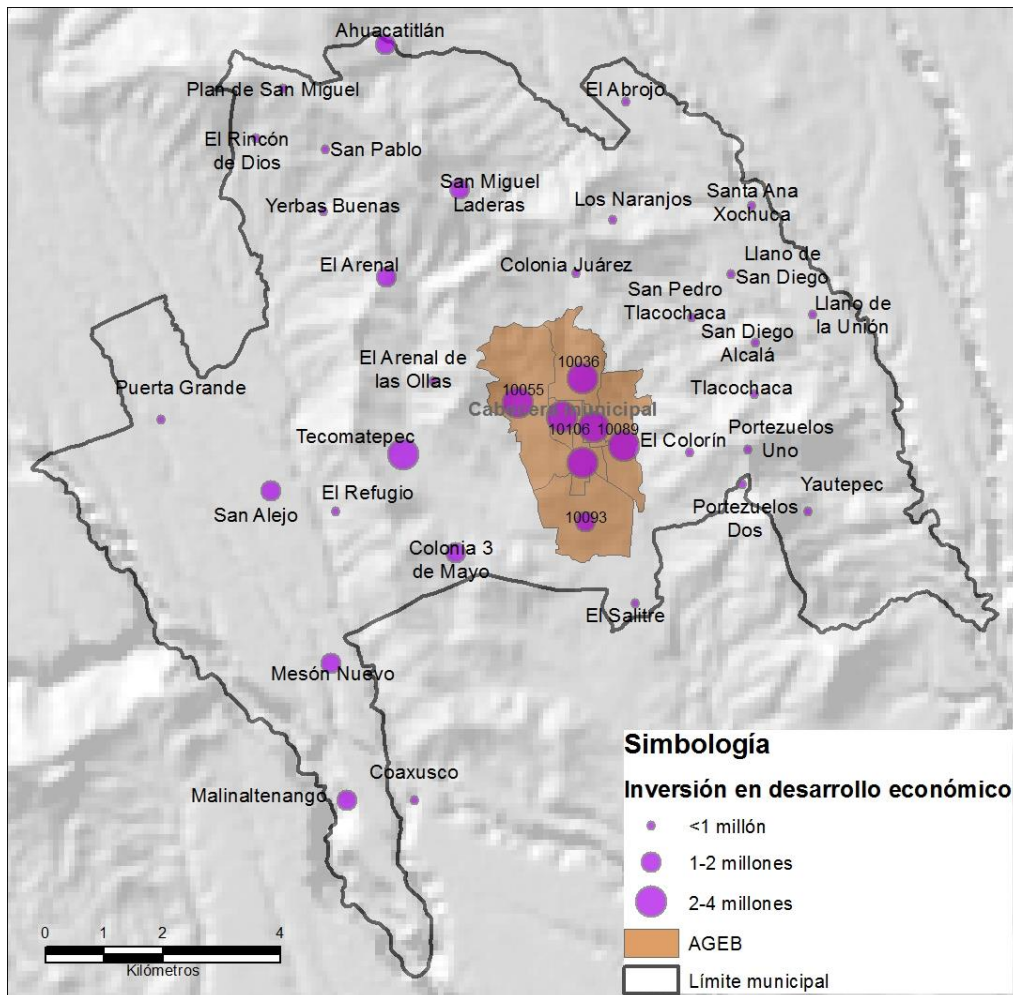


Figura 3.39. Distribución de la inversión en desarrollo económico en Ixtapan de la Sal en el año 2010 en función de la distribución per cápita. **Fuente:** Elaboración propia a partir de datos del IGECEM (2010).

Para el caso de la inversión en desarrollo social, se reporta una cifra de 62,006,834.21 que al ser dividida entre el número de habitantes corresponde a \$1,851.61 pesos de inversión total per cápita, estos valores al ser representados en el territorio indican que la mayor parte de esta inversión se concentra, de igual manera, en la cabecera municipal, ya que es ahí donde se ubica la mayor parte de la población (Figura 3.40).

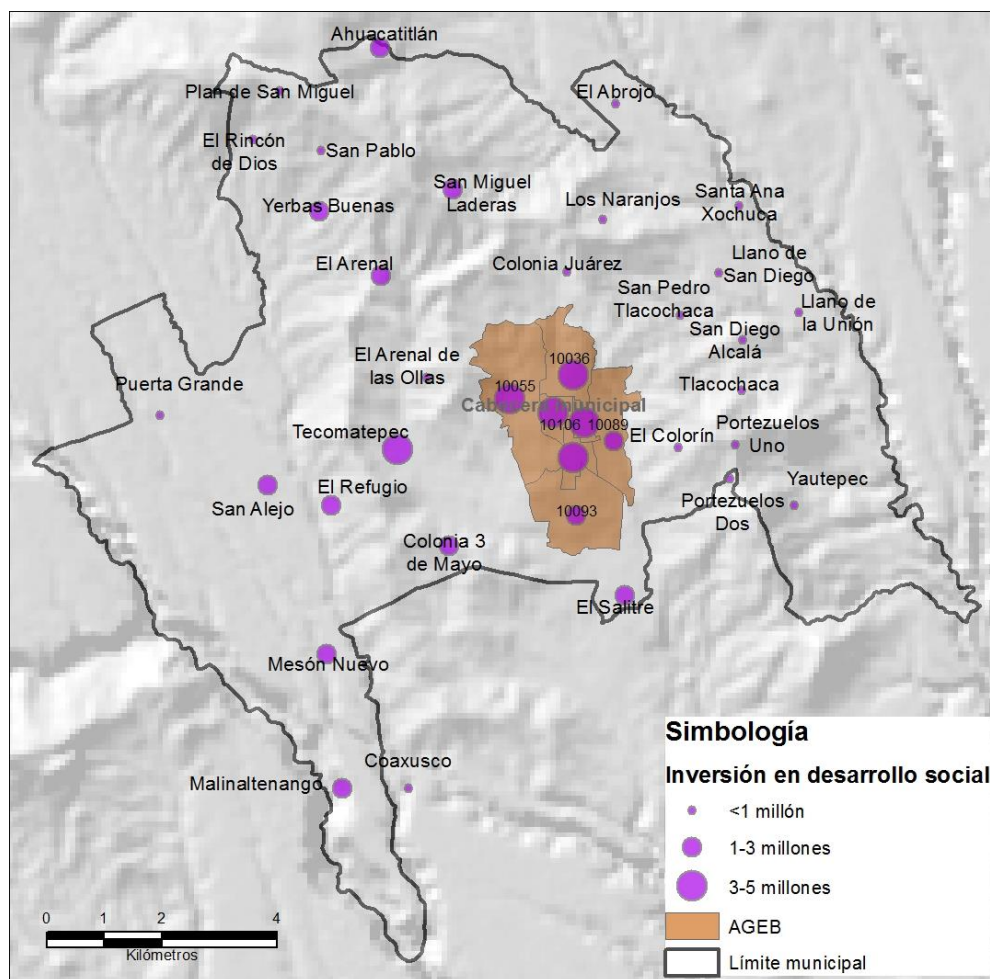


Figura 3.40. Distribución de la inversión en desarrollo social en Ixtapan de la Sal en el año 2010 en función de la distribución per cápita. **Fuente:** Elaboración propia a partir de datos del IGECEM (2010).

3.2.4. Modelo conceptual del sistema económico del agua

Las variables que fueron la base para la construcción de modelo conceptual del sistema económico del agua fueron ordenadas en función de sus fortalezas, limitaciones, oportunidades y amenazas Cuadro 3.7, siendo las más destacadas el índice de marginación, la preponderancia del sector terciario sobre el primario y secundario y su impacto en el crecimiento económico del municipio, así como la inversión y el gasto público en desarrollo social y económico.

Cuadro 3.7. Sistema FLOA con las variables económicas del agua.

	POSITIVAS		NEGATIVAS	
	FORTALEZAS		LIMITACIONES	
	Aspectos observados	Variable	Aspectos observados	Variable
INTERNAS	Grado de marginación medio	Marginación	Niveles de ingreso por debajo de la media Estatal	Crecimiento económico
	Reconocimiento de Ixtapan de la Sal como "Pueblo con encanto"	Sector terciario	Endeudamiento del municipio	Gasto público
	Municipio con mayor importancia turística en el Estado de México	Sector terciario	Nivel de inversión por debajo de la media estatal (verificar)	Gasto público
	Crecimiento económico	Crecimiento económico	Porcentaje del PIB relacionado con el sector turístico del 77.8%	Sector terciario
	Rezago social bajo	Marginación	PIB por habitante menor en Ixtapan de la Sal que la media estatal	Gasto, inversión, consumo
			Emigración de la población por falta de oferta laboral	Migración
	OPORTUNIDADES		AMENAZAS	
	Aspectos observados	Variable	Aspectos observados	Variable
EXTERNAS	Programas de condonación de deuda para aumentar la recaudación.	Programas de apoyo	Poca competitividad entre los atractivos turísticos del municipio y los desarrollos turísticos de alto nivel	Sector terciario
	Apoyo con financiamiento para infraestructura por parte del gobierno federal y estatal	Gasto público	Mayor crecimiento de centros turísticos alternativos cercanos	Estancamiento
	Ampliar y diversificar la oferta turística	Inversión	Aumento de localidades con grado de marginación alta y muy alta	Marginación
	Programas de fortalecimiento de los sectores primario y secundario	Sector primario y secundario	Población en condición de pobreza	Marginación
	Incrementar la PEA	Fuerza productiva	Estancamiento en fuentes de empleo y crecimiento de la población	Crecimiento económico

La construcción del modelo conceptual del sistema económico del agua en Ixtapan de la Sal se fundamentó en la información antes descrita, lo que se representa en dicho modelo es el flujo económico y las actividades que intervienen en este flujo, con ello fue posible identificar tres entradas al sistema (gasto público, inversiones privadas y consumo).

El gasto público indica el conjunto de erogaciones de los gobiernos en el ejercicio de sus funciones, lo cual tiene una aportación importante en la generación de empleo y los programas de apoyo a habitantes de escasos recursos. Por otro lado, la inversión privada y el consumo relacionado con el sector terciario representan el mayor motor económico del municipio ya que el porcentaje del PIB asociado a actividades turísticas supera el 60%.

Cada uno de estos factores incide directamente en la configuración de los sectores económicos, los cuales tienen una relación directa con los recursos hídricos, ya que el sector terciario está directamente relacionado con su aprovechamiento del agua para fines curativos en el caso de las aguas termales; y para fines recreativos, teniendo mayor impacto el caso de la concesión de la empresa Nueva Ixtapan, la cual emplea a habitantes de distintas localidades del municipio y ha generado a su alrededor un impacto en la configuración de socioeconómica ya que se ha visto un cambio constante a través del tiempo en las actividades de los pobladores, observándose cada vez mayor cantidad de habitantes dedicados al comercio y hospedaje.

Por otro lado, la incertidumbre provocada por la escasez de agua potable en época de estiaje en el municipio, debido en mayor medida a la configuración hidrogeológica de la región, no ha permitido el desarrollo del sector secundario, ya que, a decir de los operadores del OPDAPAS, ha habido en diversas ocasiones solicitudes hechas por empresas que consideran instalarse en el municipio, para que se les asegure un caudal constante de agua y así cubrir con sus requerimientos de operación; sin embargo, debido a que la prioridad es el abastecimiento a la población y las variaciones del caudal en diferentes épocas del año, no se ha podido cumplir con estas solicitudes.

A pesar del importante crecimiento del sector terciario, las inversiones más importantes no provienen de empresarios del municipio, por lo que, los pequeños establecimientos de hospedaje han quedado excluidos ante su escasa capacidad económica para la construcción, remodelación y equipamiento de instalaciones, quedando rezagados y limitados para ofrecer servicio de hospedaje con calidad (SECTUR *et al.*, 2013).

Este hecho genera un estancamiento en el crecimiento económico de la población, ya que los grandes beneficios de la actividad turística se concentran en un número reducido de establecimientos, el impacto de este factor se relaciona con la tasa de emigración masculina en busca de empleo, la cual, de acuerdo con el Consejo Nacional de Población se clasifica como “Alta” (Gobierno Municipal de Ixtapan de la Sal, 2013).

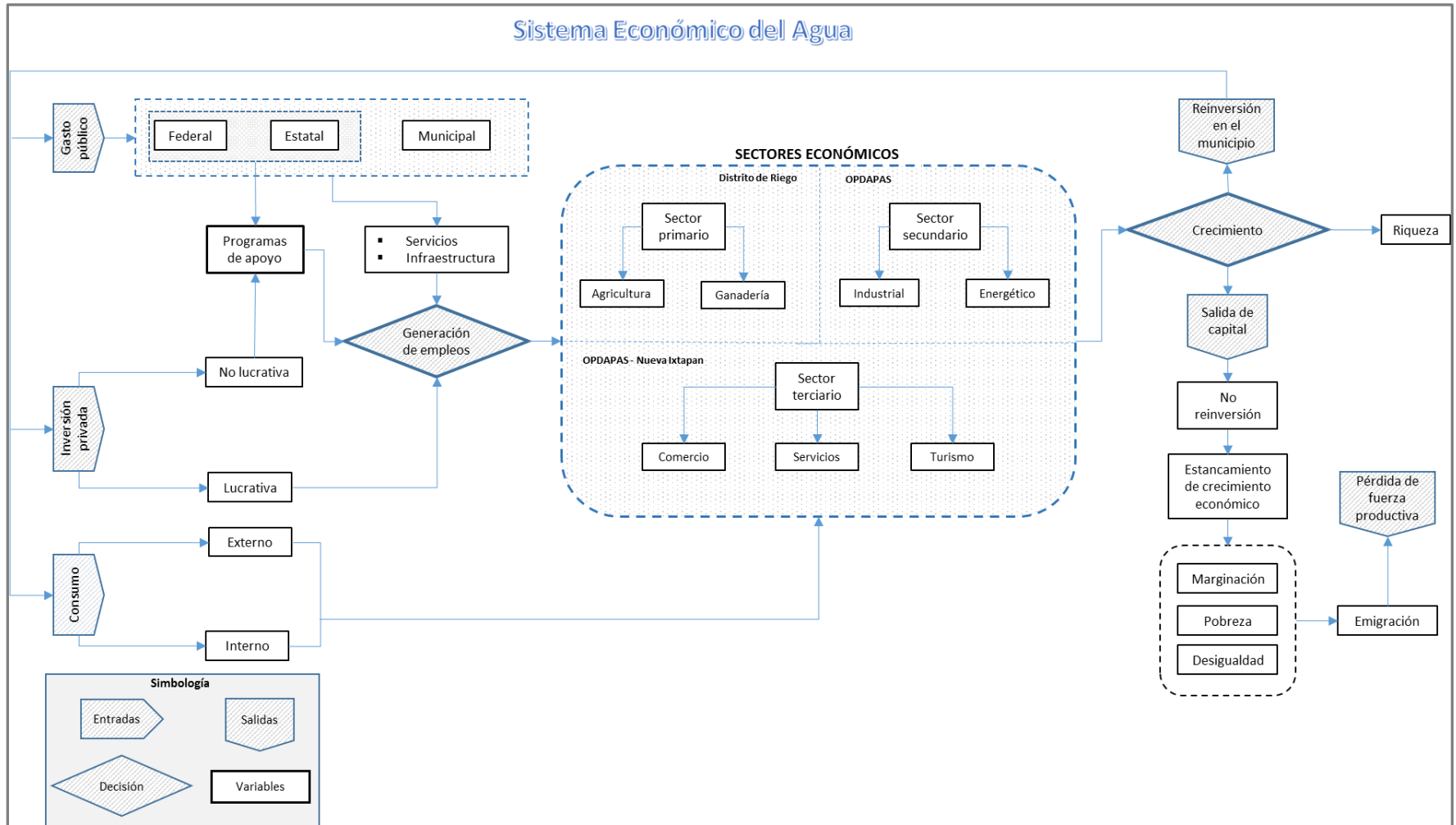


Figura 3.41. Modelo conceptual del sistema económico del agua en Ixtapan de la Sal.

3.3 CARACTERIZACIÓN SOCIAL

A continuación, se describen los antecedentes históricos de Ixtapan de la Sal, destacando la apropiación y uso de los recursos hídricos y el gran peso que ha tenido en la configuración social a través de la historia del municipio en diferentes periodos. Posteriormente se hace un análisis de las estadísticas de población, marginación, desarrollo y acceso al agua.

3.3.1 Conformación cultural por el aprovechamiento de los recursos hídricos termales

Los recursos hídricos en Ixtapa de la Sal han sido un elemento fundamental en la conformación socio-cultural de la región en diversas etapas de la historia, cada una con características propias definidas por las necesidades sociales o por intereses particulares en un momento dado, reconfigurando en algunos casos la estructura social de la localidad. En los siguientes párrafos se hará una breve descripción de los usos preponderantes del agua termal en la zona durante tres periodos:

- a) México Prehispánico
- b) Época Colonial
- c) Época reciente (Siglo XX)

a) Aprovechamiento de los recursos hídricos termales en el México Prehispánico

Antes de la llegada de los españoles a México, el recurso termal en la región Ixtapan-Tonatico reconocido por sus propiedades terapéuticas, lo cual, de acuerdo con Becerril (1988), alentó las visitas de emperadores con fines de reposo y descanso. Pero principalmente, el agua termal era explotada primordialmente para la producción de sal, producto que se consideraba como moneda de cambio y que estaba inserto en las redes de intercambio y de pago de tributo.

En la zona de estudio se ha localizado un sitio arqueológico llamado “El Salitre” que se ubica entre las actuales poblaciones de Ixtapan de la Sal y Tonatico, corresponde territorialmente al municipio de Tonatico. Este sitio fue una zona industrial dedicada a la producción de sal en épocas prehispánicas, y de acuerdo con Castillo y Arana (1995) tiene características especiales que lo hacen único en su género, proporcionado gran cantidad de información en cuanto a técnicas de producción salina.

El Salitre ha sido delimitado por el Instituto Nacional de Antropología e Historia (INAH) para detener el deterioro en la zona, en ella se han detectado grandes montículos no constructivos (Figura 3.42), que corresponden a los restos de los manantiales o borbollones prehispánicos donde se han encontrado restos de salinas arqueológicas, canales ollas, tinas, entre otros objetos usados en el proceso de obtención de la sal con una antigüedad de más de 1000 años de producción.



Figura 3.42. Montículos en el sitio El Salitre.

Para el presente proyecto, delimitación de los montículos se realizó en colaboración con el Instituto de Información e Investigación Geográfica, Estadística y Catastral del Estado de México (IGECEM), ya que la cartografía a mayor escala que está disponible tiene curvas de nivel con equidistancia de 20 metros, con lo cual no es posible ubicar espacialmente los montículos, por lo que se recurrió al uso de fotografías aéreas del vuelo realizado en 2008 para el trazado de curvas de nivel con equidistancia de 1 metro, con lo cual se identificaron dichas elevaciones (Figura 3.43). En la parte superior de los montículos se han encontrado restos de huecos intencionales cercanos a la boca del borbollón donde se almacena el agua que de él brotaba, de ahí se conducía el agua por canales o apaxtles a las tierras donde se evaporaba el agua o ixtamiles.

Las actividades correspondientes al proceso de obtención de sal se reproducían en los afloramientos de aguas termales del territorio, de tal suerte, que la zona llamada El Salitre formaba con el actual Ixtapan la zona salinera; era un Ixtapan, lugar de sal cuyo control estaba en Tonatico el viejo, sitio habitado por la cultura Matlazinca, que a su vez estaba insertada en la provincia tributaria de Ocuilá, dominada por los Mexicas.

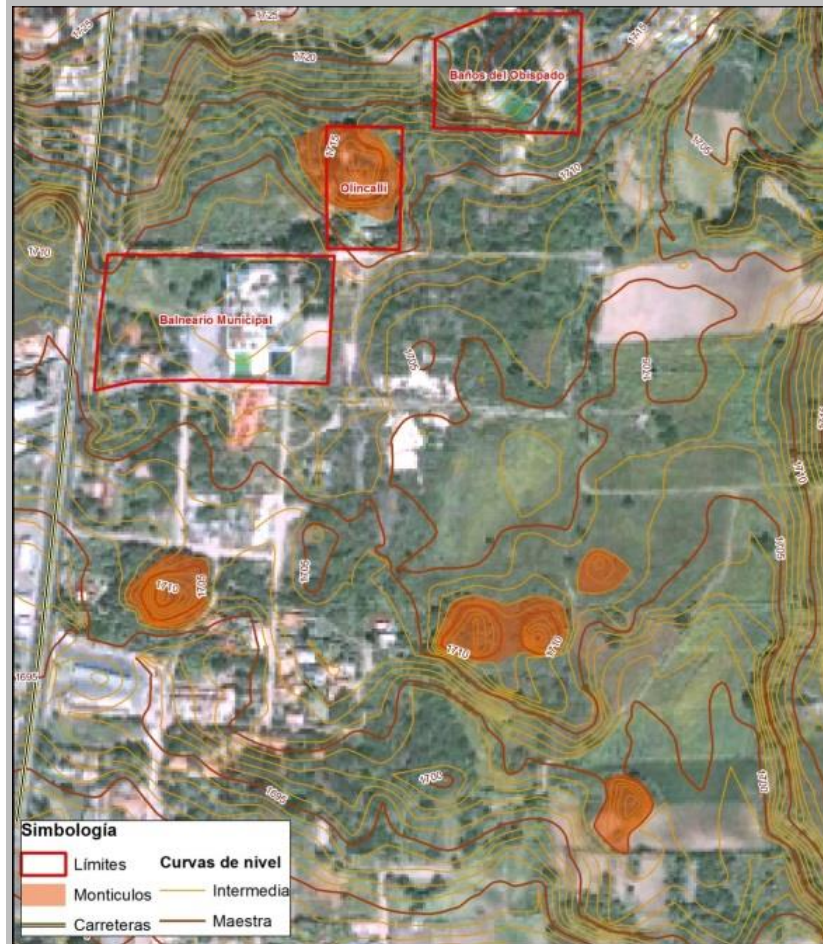


Figura 3.43. Ubicación de montículos en el sitio El Salitre.

La buena calidad de sal que se producía en la zona Ixtapan-Tonatico, y la mala calidad de sal que se producía en la Cuenca de México, fue el factor determinante para que se tributaran altas cantidades de sal, ya que, según la matrícula de tributo, entre otras cosas, se debía tributar cada 80 días dos mil ollas de sal, la cual era utilizada por la clase dominante del México Tenochtitlan.

b) Época Colonial

Después de la conquista española las autoridades virreinales fueron notificadas sobre la existencia de las aguas termales de Ixtapan de la Sal y Tonatico y los beneficios físicos que generaban (Hernández, 2001). Por otro lado, las salinas siguieron siendo importantes ya que la calidad de su producto siempre fue muy apreciada por todos los pueblos de la región. Durante esta época se desarrolló lo que se conoce como la “Sección A” del sitio El Salitre (Figura 3.44), donde no hay registro de materiales prehispánicos, y la sal se extraía a partir del agua que brota del actual borbollón del balneario municipal de Tonatico y de los borbollones localizados en la finca llamada Casa del Obispo y de una casa particular conocida como “Olincalli”.

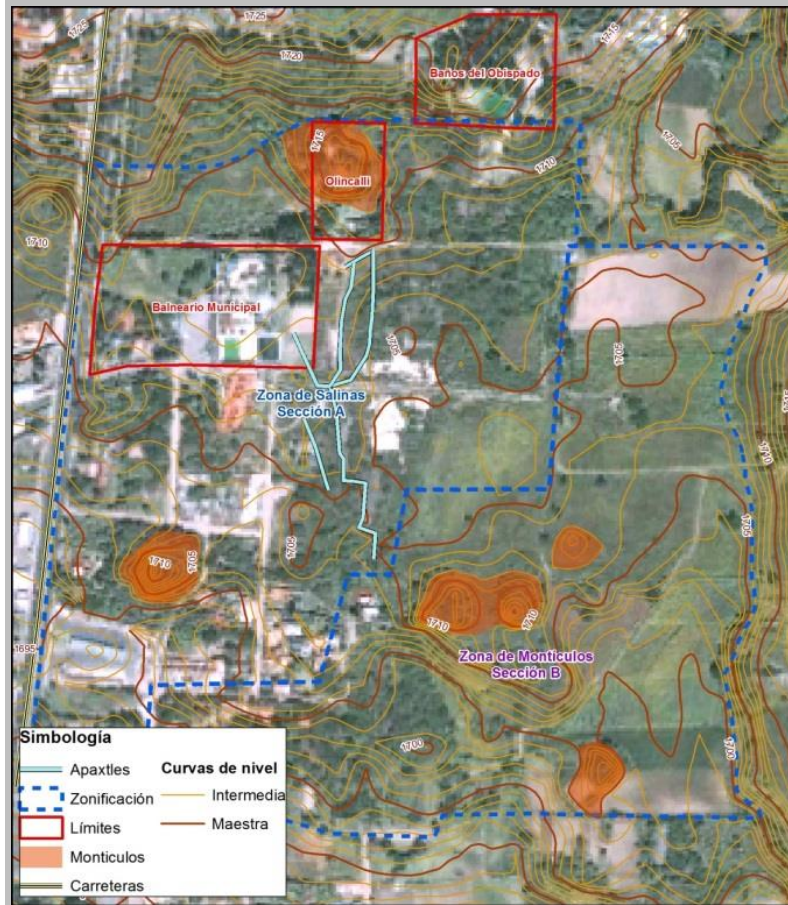


Figura 3.44. Zonificación del sitio El Salitre.

Al brotar el agua se conducía por canales o apaxtles a los ixtamiles, estos ixtamiles se dividen en secciones de diferentes tamaños denominadas melgas (Figura 3.45), donde se araba el terreno para facilitar la absorción del agua y que las sales no solubles quedaran en la superficie. Los ixtamiles se iban saturando de sales hasta que se formaba una costra lo bastante gruesa que se recolectaba para ser colocada en un temascal y ser filtrada. Tras este proceso se podía obtener sal de sol (que de acuerdo con Multhauf (1985) es un método primitivo) o sal secada al fuego, considerada sal más fina.

El sitio conserva todos los elementos constructivos producto de esta actividad, destacando la red de canales o apaxtles con diversas longitudes y alturas, estos canales se fueron formando naturalmente a través de los años conforme se depositaban los minerales contenidos en el agua termal. Redes similares se encuentran en Ixtapan de la Sal, sin embargo, han quedado fraccionadas y confinadas dentro de las casas de los habitantes (Figura 3.46).



Figura 3.45. Melgas en el sitio El Salitre.



Figura 3.46. Melgas en el sitio El Salitre.

No es hasta 1554, cuando la extracción de sal cobra un valor preponderante para el desarrollo económico de la Nueva España, cuando Bartolomé de Medina revolucionó el proceso de obtención de la plata mediante el desarrollo del método de amalgamación conocido como “beneficio de patio”, el cual vino a sustituir el proceso de extracción de plata a través de fundición, este proceso estaba condicionado a que los minerales tuvieran alta ley en plata. El beneficio de patio es considerado la innovación más importante en América antes de 1800 (Ramírez, 2006) en el que los insumos principales eran el mercurio, también llamado “azogue”, el sulfato de hierro o cobre conocido como “Magistral” y la sal.

A partir de 1580 la sal producida en las salinas grandes fue monopolio de la Corona española; para el caso de las salinas menores la comercialización y producción quedó en manos de los poblados indígenas, tal es el caso de Ixtapan de la Sal y Tonicato, localidades que fueron importantes por su papel de abastecedor de la sal necesaria en los trabajos de minería que se llevaban a cabo en Taxco, Zacualpan y Sultepec (Rosales, 1996). La calidad de la sal en esta época seguía siendo valorada por la población, hecho que queda de manifiesto por propio el alcalde mayor de Taxco, Don Pedro Ledesma, quien reconoce la calidad de la sal producida en Ixtapan redactando en un documento para la Corona donde describe que “se hacen unos canutos grandes de sal blanca, y muy buena para comer, y es en poca cantidad”. Aunque en todo caso, para la producción de la plata, seguramente no importaba si la sal era mejor como comestible o no (Espino, 2011).

La actividad minera y las prácticas económicas que giraban en torno a ella provocaron que gran parte de la población se concentrara en estas zonas productivas, para el caso de Zacualpan, en 1570 ocupaba el doceavo lugar en concentración de habitantes españoles en la Nueva España. Este proceso colonizador tuvo un impacto directo en Tonicato e Ixtapan, lugares que después de Toluca y Malinalco contaban con el porcentaje más alto de tierras apropiadas para el asentamiento de españoles (Zamudio, 2000).

Al quedar inserta la población de Ixtapan de la Sal en la ruta de la plata, debido a su cercanía con la ciudad de México y con las minas de Zacualpan y Taxco; su fertilidad tanto para la agricultura como para la ganadería, y la producción de sal desde la época prehispánica que se comercializaba en la región, se alentó la demanda de hospedaje, particularmente de “ventas” o posadas para arrieros y comerciantes que hacían uso de dicha ruta (García, 2000). Este proceso comercial fue el primer paso que comenzó a marcar la transformación productiva y económica de la región (Bazant, 1986).

c) Época Reciente

Después de que el método de beneficio de patio fuera sustituido por el proceso de cianuración, la importancia de las salinas de Ixtapan y Tonatico se vio reducida a la producción para el comercio y el intercambio local, obteniéndose la sal principalmente en el sitio del El Salitre y comercializándose en mayor medida en Ixtapan. Esta dinámica se mantuvo hasta mediados del siglo XX, cubriendo las necesidades tanto del consumo humano como de la actividad ganadera que se había desarrollado en la zona. Tras estos eventos comenzó a gestarse la actividad que determinaría la actividad socio-cultural y económica que ha definido Ixtapan de la Sal hasta nuestros días, el turismo.

El primer registro de aprovechamiento del agua termal para uso balneológico se remonta a 1850, cuando un inmigrante italiano construyó el primer balneario público de la zona, el cual funcionó hasta 1910, cuando fue cerrado a causa de la revolución (Arizmendi, 1999). En los años 30 el manantial era propiedad del municipio le fue arrendado inicialmente a Erasmo Hernández y posteriormente a José Reynoso quienes usaban las propiedades termales del agua para prestar servicios dirigidos a usuarios que llegaban con alguna enfermedad. Esta actividad puso en funcionamiento a 11 inmuebles que daban alojamiento a los usuarios del balneario.

En 1944 la concesión del manantial fue transferida a Arturo Alfredo San Román Chávez para administrar el área del balneario, el cual modernizó y acondicionó junto con su esposa Sara de San Román reclutando especialistas extranjeros para crear el primer spa en México (Cruz *et al.*, 2011). Las instalaciones del balneario fueron inauguradas en 1945 por el gobernador del Estado de México Isidro Fabela quien a la vez concedió a Ixtapan de la Sal el decreto de zona turística, actividad que se vio reforzada por la puesta en funcionamiento de la carretera federal Toluca-Ixtapan en ese mismo año.

Haciendo uso de sus influencias políticas, Arturo San Román consigue que el 17 de septiembre de 1947 la Secretaría de Recursos Hidráulicos le concesionara por 50 años las aguas de los manantiales de San Gaspar, hecho que le permitió generar todo un desarrollo turístico a partir del uso del agua termal. Las propiedades climáticas e hidrotermales de Ixtapan aunadas al impulso que se le dio al turismo en estos años, propició que las instalaciones hoteleras y las vías de comunicación fueran mejorando en términos de calidad, lo cual marcó la primera de dos etapas de desarrollo turístico de la zona.

La concesión del agua termal no fue el único beneficio que tuvo la familia San Román (a través de la empresa Nueva Ixtapan) por parte de las autoridades, ya que en la década de los sesenta resultó favorecida para ser la principal concesionaria de agua potable en el municipio, recibiendo un caudal de 158.7 l/s en contraste de los 16.2 l/s concesionados al municipio para abastecer a toda su población.

Estos eventos fueron cambiando las actividades económicas de la población a través del tiempo, ya que en 1940 el 81% de los habitantes se dedicaban a agricultura y ganadería, cifra que se fue modificando conforme la actividad turística se fortalecía, motivando a la población a cambiar su actividad económica para emplearse en el sector de servicios, llegando a la década de los 1980 con sólo 33% de la población dedicándose a la agricultura y ganadería.

A partir de este punto, comienza a definirse la segunda etapa del turismo en Ixtapan de la Sal, cuando en el año de 1983 se reformó el artículo 115 de la Constitución, producto de una serie de esfuerzos por parte del gobierno federal para descentralizar las actividades turísticas, ya que hasta esta fecha, el estilo del Estado mexicano para hacer la política estuvo altamente centralizado en el gobierno federal, lo cual alentó el ejercicio de un gasto excesivo, regulación y control político que junto con las recurrentes crisis económicas, dieron como resultado un gobierno fiscalmente deficitario, administrativamente exhausto y políticamente inmovilizado. Por lo tanto, en gran parte bajo la presión de la sociedad y por otra anticipándose a la iniciativa social, el Estado procedió en ese tiempo a corregir tales errores (Aguilar, 1992). Estas decisiones le dieron un nuevo impulso al turismo doméstico, mediante el diseño de nuevas estrategias para satisfacerlo (Cruz *et al.*, 2011).

3.3.2. Población

De acuerdo con el Censo de Población y Vivienda (INEGI, 2010), la población de Ixtapan de la Sal asciende a 33 mil 541 personas, de las cuales, 16 mil 082 son hombres (48%) y 17 mil 459 mujeres (52%) (Cuadro 3.8).

Cuadro 3.8. Valores obtenidos a partir de mediciones de campo.

	1990	1995	2000	2005	2010
Hombres	11,742	11,967	14,478	14,225	16,082
Mujeres	12,555	12,922	16,051	15,848	17,459
Total	24,297	24,889	30,529	30,073	33,541

Fuente: INEGI 2010.

Dicha población se distribuye en 33 localidades y la cabecera municipal (Figura 3.47), concentrándose el 52.59% en localidades entre 15,000 y 29,999 habitantes (Cuadro 3.9).

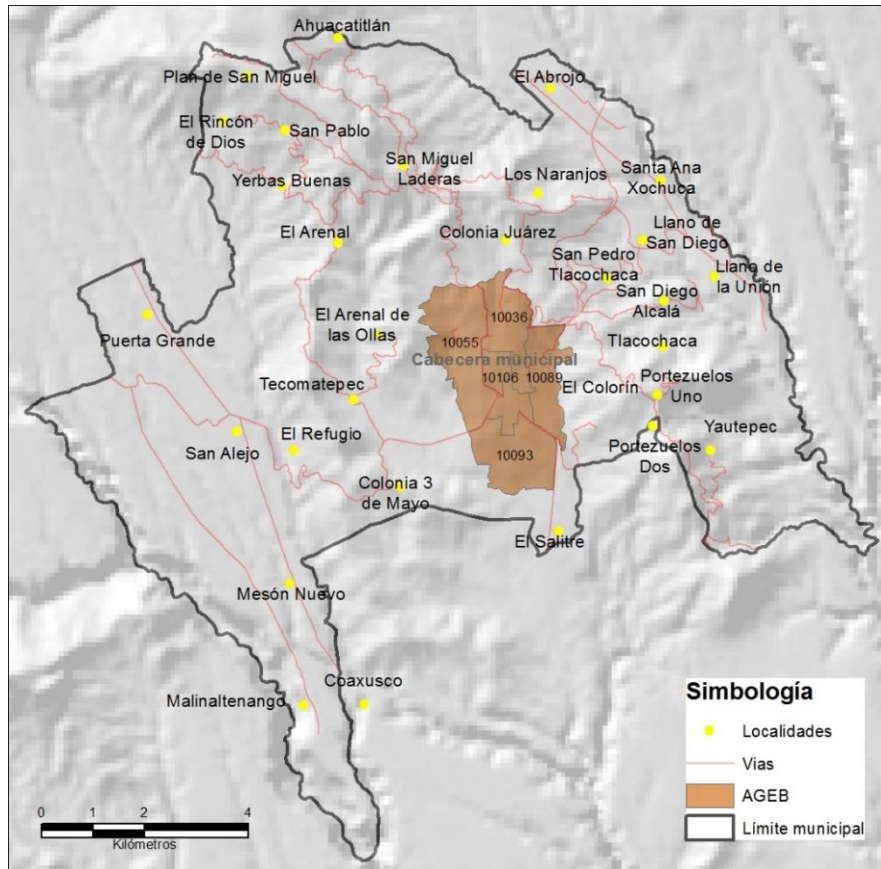


Figura 3.47. Ubicación de localidades y AGEB en Ixtapan de la Sal. **Fuente:** INEGI 2010.

Cuadro 3.9. Valores obtenidos a partir de mediciones de campo.

TAMAÑO DE LOCALIDAD	POBLACIÓN ⁽¹⁾	% CON RESPECTO AL TOTAL DE POBLACIÓN DEL MUNICIPIO
1 - 249 Habs.	1,390	4.14
250 - 499 Habs.	3,341	9.96
500 - 999 Habs.	4,409	13.15
1,000 - 2,499 Habs.	6,761	20.16
2,500 - 4,999 Habs.	0	0
5,000 - 9,999 Habs.	0	0
10,000 - 14,999 Habs.	0	0
15,000 - 29,999 Habs.	17,640	52.59
30,000 - 49,999 Habs.	0	0
50,000 - 99,999 Habs.	0	0
100,000 - 249,999 Habs.	0	0
250,000 - 499,999 Habs.	0	0
500,000 - 999,999 Habs.	0	0
1,000,000 y más Habs.	0	0

Fuente: Cálculos del INAFED con base en INEGI. Censo de Población y Vivienda 2010. **Nota:** (1) Se refiere a la población que habita en localidades comprendidas en el rango especificado. El tamaño de localidad se basa en la clasificación proporcionada por el INEGI.

Con base en estas cifras, el Instituto Nacional para el Federalismo y el Desarrollo Municipal (INAFED) catalogó a Ixtapan de la Sal como **Urbano Medio**, categoría asignada a los municipios donde más del 50% de la población vive en localidades entre 15 mil y menos de 100 mil habitantes. Sin embargo, es importante resaltar que más del 50% de la población vive en la cabecera municipal, lo que ha llevado a una desatención hacia la población que reside en las localidades pequeñas. En este sentido, el municipio tiene una densidad de 291.6 habitantes por kilómetro cuadrado, mientras que en el estado de México la densidad es de 710.48, siendo este el estado más denso del país, mientras que a nivel nacional es de 57.18 habitantes por kilómetro cuadrado (INEGI, 2010).

Basándose en los criterios del INEGI para clasificar la población rural y urbana, donde la población urbana es aquella que vive en localidades mayores a 2500 habitantes, se observa que sólo la cabecera municipal alcanzaría dicha categoría con sus 17, 640 habitantes, lo cual representa el 52% de la población, mientras que el resto se consideraría como rural.

Con respecto a las tasas de crecimiento poblacional en el municipio han aumentado en forma consistente desde 1970, registrando solamente una tasa negativa de crecimiento (-0.3%) para el 2005 (Figura 3.48). De acuerdo con el Gobierno Municipal de Ixtapan de la Sal (2013) este decrecimiento se debe a una emigración intensa que redujo la población en términos absolutos, incluso más que a nivel nacional, convirtiéndose en un municipio expulsor de población.

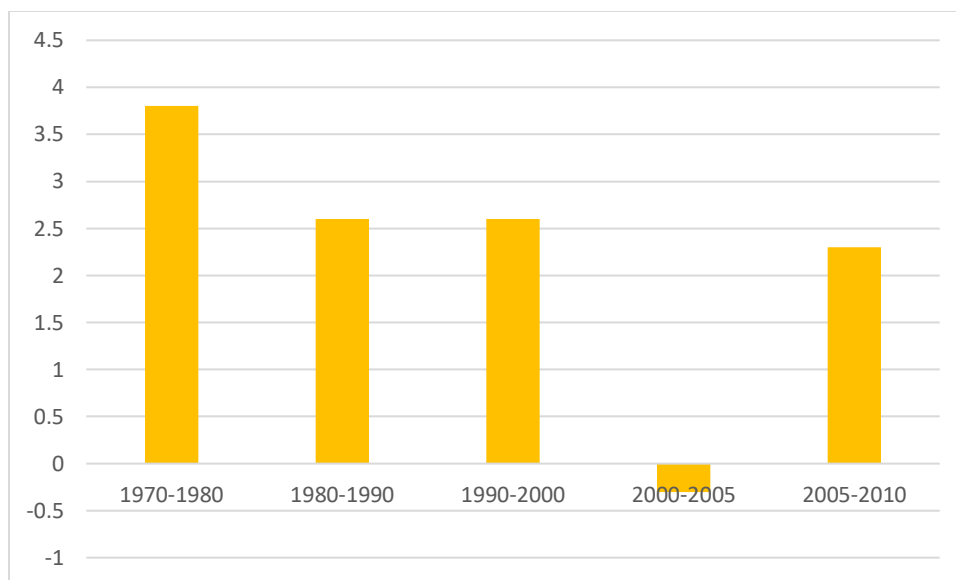


Figura 3.48. Tasa de crecimiento poblacional en Ixtapan de la Sal. **Fuente:** INEGI 2010.

Las estimaciones del crecimiento poblacional realizadas en el 2010 por el Consejo Estatal de Población (COESPO), indican que no habrá un crecimiento considerable de la población en los próximos quinquenios, ya que se estima que para 2030 se alcanzará una cifra de 38,873 habitantes (Figura 3.49), esto debido a que se considera que el municipio continuará con su dinámica de emigración hacia otras ciudades del país y Estados Unidos (Gobierno Municipal de Ixtapan de la Sal (2013).

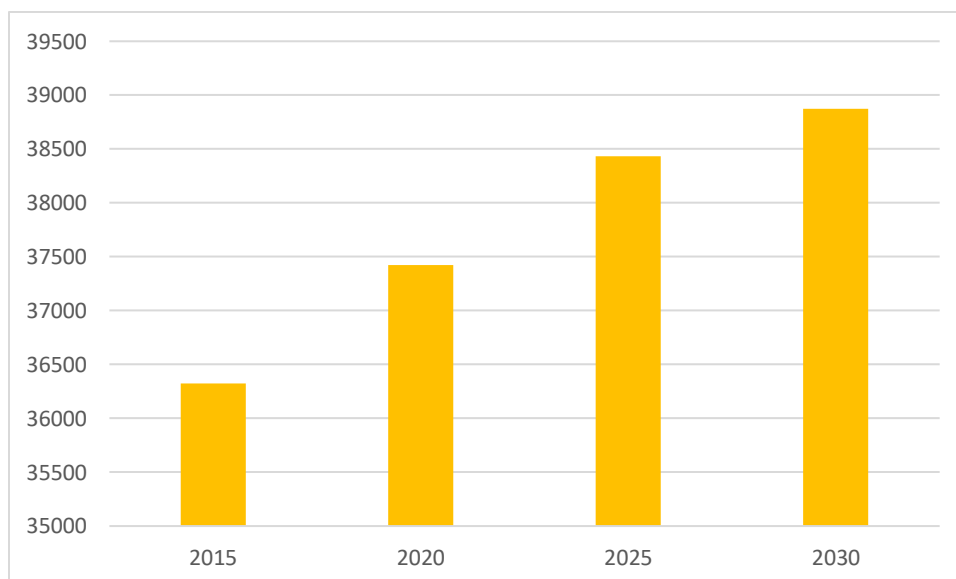


Figura 3.49. Proyecciones de la población en Ixtapan de la Sal. **Fuente:** COESPO 2010.

Al respecto, Ixtapan de la Sal es catalogado por el Consejo Nacional de Población (2010) con un Índice de Intensidad Migratoria “Alto”. Este índice mide la emigración de personas hacia Estados Unidos de América, ya que considera: viviendas que reciben remesas y viviendas con migrantes a Estados Unidos. El Índice de Intensidad migratoria de Ixtapan de la Sal es de 0.67 lo que le da la categoría de alto, así mismo ocupa el lugar número 7 a nivel estatal, como uno de los municipios proporcionalmente más expulsores de población, y el 546 a nivel nacional.

3.3.3. Marginación y desarrollo humano

Con objeto de medir la calidad de vida, el Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD) propuso la metodología para elaborar un indicador que pudiera medir la calidad de vida, dando como resultado el Índice de Desarrollo Humano 5 (IDH).

En el periodo entre 2000 y 2005, Ixtapan registró un incremento de 0.75 a 0.77. Cabe aclarar que el PNUD (2011) señala tres niveles para el IDH: bajo, medio y alto. En este caso, el municipio presenta un nivel medio; o sea, mayor o igual a 0.500.

Por otra parte, el Índice de Marginación Permite diferenciar entidades federativas y municipios según el impacto global de las carencias que padece la población como falta de acceso de la población a la vivienda, vivienda inadecuada y la percepción de ingresos monetarios insuficientes, lo que significa una forma de exclusión y el no disfrute de bienes y servicios para el desarrollo de sus capacidades básicas

La marginación se concibe como un problema estructural de la sociedad, en donde no están presentes ciertas oportunidades para el desarrollo, ni las capacidades para adquirirlas. Si tales oportunidades no se manifiestan directamente, las familias y comunidades que viven en esta situación se encuentran expuestas a ciertos riesgos y vulnerabilidades que les impiden alcanzar determinadas condiciones de vida (CONAPO, 2010). El índice de marginación, mide básicamente tres condiciones: educación, vivienda y disponibilidad de bienes.

En cuanto a la educación hay dos indicadores, la población de 15 años y más analfabeta, y la población de 15 años y más sin primaria completa. El primer indicador se relaciona con la capacidad de las personas de leer y escribir un texto, el segundo indicador se refiere al cúmulo mínimo de conocimientos brindado por el sistema educativo nacional. Sobre las viviendas se mide básicamente aquellas que carecen de excusado, y energía eléctrica.

Respecto a las condiciones de la vivienda, se mide el porcentaje de viviendas habitadas sin agua entubada, promedio de ocupantes por cuarto de la vivienda, porcentaje de viviendas con piso de tierra.

En cuanto a los bienes, se contabiliza las viviendas que poseen refrigerador, ya que este permite tener alimentos perecederos frescos y limita las enfermedades por el consumo de alimentos con algún grado de descomposición.

A nivel municipal el índice de marginación de Ixtapan de la Sal es de -0.5388, valor que corresponde a un grado de marginación Medio, lo que lo coloca en el lugar 44 a nivel estatal, sin embargo, al analizar las categorías a nivel municipal, existen 28 localidades con un grado de marginación Alto y dos con Muy alto, este análisis demuestra que una parte importante del territorio requiere atención en servicios de salud, educativos y de acceso a servicios.

Por otro lado, la cabecera municipal tiene un grado de marginación Medio, siendo el asentamiento humano en el que se concentra la mayor parte de la población, lo que explica el grado de marginación Medio asignado al municipio.

Finalmente, la única localidad con un grado de marginación bajo dentro del municipio es El Salitre, en la cual se ubica la colonia Rancho San Diego, la cual alberga residencias de alto valor económico. Los grados de marginación por localidad se pueden ver en el Cuadro 3.10.

Cuadro 3.10. Grado de marginación a nivel localidad del municipio de Ixtapan de la Sal para el año 2010.

CLAVE AGEB	LOCALIDAD	GRADO DE MARGINACIÓN
150400021	Yautepec	Muy alto
150400038	Portezuelos Dos	Muy alto
150400019	Tecomatepec (San Pedro Tecomatepec)	Alto
150400007	Malinaltenango (Manila)	Alto
150400033	Colonia la Joya 3 de mayo Lindavista	Alto
150400008	Mesón Nuevo	Alto
150400006	Llano de la Unión	Alto
150400012	El Refugio	Alto
150400030	Colonia Juárez	Alto
150400016	San José del Arenal (El Arenal)	Alto
150400005	Coaxusco	Alto
150400002	El Abrojo	Alto
150400009	Los Naranjos	Alto
150400018	Santa Ana Xochuca	Alto
150400017	San Miguel Laderas (San Miguel)	Alto
150400025	El Arenal de las Ollas	Alto
150400022	Yerbas Buenas	Alto
150400020	Tlacoachaca	Alto
150400010	Plan de San Miguel	Alto
1504000010089	Cabecera municipal	Alto
150400040	El Colorín	Alto
150400039	San Pedro Tlacoachaca	Alto
1504000010093	Cabecera municipal	Alto

Cuadro 3.10. Grado de marginación a nivel localidad del municipio de Ixtapan de la Sal para el año 2010 (continuación).

CLAVE AGEB	LOCALIDAD	GRADO DE MARGINACIÓN
150400003	Ahuacatitlán	Alto
150400041	Portezuelos Uno (San Andrés)	Alto
150400036	San Pablo	Alto
150400029	El Rincón de Dios Yervas Buenas	Alto
150400015	San Diego Alcalá (San Diego)	Medio
150400037	Llano de San Diego	Medio
150400014	San Alejo	Medio
150400011	Puerta Grande (Puerta de los Fresnos)	Medio
1504000010055	Cabecera municipal	Medio
1504000010036	Cabecera municipal	Medio
1504000010106	Cabecera municipal	Medio
150400013	El Salitre	Bajo

Fuente: CONAPO con base en el INEGI 2010.

Analizando cada uno de los factores considerados por el índice de marginación, a nivel municipal se observa que el acceso al agua entubada es una de los mayores problemas que enfrente la población, ya que casi el 23% de los ocupantes de viviendas carecen de este servicio (Cuadro 3.11).

Cuadro 3.11. Factores del índice de Marginación a nivel municipal y su porcentaje.

OCUPANTES DE VIVIENDAS	%
Sin drenaje ni servicio sanitario exclusivo	8.63
Sin energía eléctrica	1.14
Sin agua entubada	22.92
Con algún nivel de hacinamiento	42.39
Con piso de tierra	6.51

Fuente: CONAPO con base en el INEGI 2010.

A nivel localidad la distribución de dichos factores se muestran en el Cuadro 3.12, donde se exponen las diferencias en el acceso a los servicios en las localidades del municipio. Igualmente importante es la representación espacial de estos valores, lo que permite distinguir las zonas que carecen en mayor o menor medida de algún servicio.

Cuadro 3.12. Porcentaje de acceso a servicios en el municipio de Ixtapan de la Sal para el año 2010.

CLAVE AGEB	LOCALIDAD	POB. SIN ACCESO A SERVICIOS DE SALUD	VIVIENDAS CON PISO DE TIERRA	VIVIENDAS SIN SANITARIO	VIVIENDAS SIN AGUA ENTUBADA	VIVIENDAS SIN DRENAJE	VIVIENDAS SIN ENERGÍA ELÉCTRICA
150400041	Portezuelos Uno (San Andrés)	10.4	-6	42.9	66.7	14.3	0.0
150400040	El Colorín	22.7	23.7	23.7	84.2	18.4	28.9
150400039	San Pedro Tlacochaca	15.9	30.3	42.4	100.0	48.5	0.0
150400038	Portezuelos Dos	8.3	63.6	90.9	45.5	90.9	0.0
150400037	Llano de San Diego	17.1	-6	21.1	4.2	18.3	0.0
150400036	San Pablo	16.2	0.0	68.0	100.0	68.0	0.0
150400033	Colonia la Joya 3 de mayo Lindavista	16.4	9.4	7.4	75.4	5.9	1.6
150400030	Colonia Juárez	11.4	19.0	23.8	95.2	23.8	0.0
150400029	El Rincón de Dios	17.3	8.3	58.3	100.0	100.0	0.0
150400025	El Arenal de las Ollas	16.0	8.1	38.7	16.1	14.5	6.5
150400022	Yerbas Buenas	15.4	2.6	23.0	99.3	10.5	-6.0
150400021	Yautepec	4.8	12.5	92.5	85.0	90.0	-6.0
150400020	Tlacochaca	6.9	8.3	44.4	97.2	44.4	0.0
150400019	Tecomatepec	11.7	4.7	5.8	10.1	8.0	1.9
150400018	Santa Ana Xochuca	28.7	8.5	35.2	98.6	35.2	0.0
150400017	San Miguel Laderas (San Miguel)	13.9	2.6	18.4	100.0	26.5	1.1
150400016	San José del Arenal (El Arenal)	8.8	7.2	19.3	25.6	19.3	1.4
150400015	San Diego Alcalá (San Diego)	17.3	4.3	13.0	10.9	6.5	-6
150400014	San Alejo	26.3	4.7	10.8	23.6	7.9	2.9
150400013	El Salitre	18.7	3.5	-6	3.0	-6	-6
150400012	El Refugio	17.7	3.0	24.8	22.6	25.6	-6
150400011	Puerta Grande (Puerta de los Fresnos)	27.7	6.3	13.9	8.9	10.1	0.0
150400010	Plan de San Miguel	25.9	6.3	28.4	98.9	11.6	0.0
150400009	Los Naranjos	33.1	-6	17.6	30.9	17.6	-6
150400008	Mesón Nuevo	20.2	4.3	17.0	13.8	13.3	6.4
150400007	Malinaltenango (Manila)	23.9	6.0	4.6	28.4	4.1	1.4
150400006	Llano de la Unión	17.3	0.0	14.0	89.0	12.0	-6
150400005	Coaxusco	19.0	12.2	28.0	12.2	31.7	-6
150400003	Ahuacatlán	14.3	14.8	48.8	97.6	54.4	2.4
150400002	El Abrojo	21.9	5.7	20.0	70.0	18.6	-6
1504000010110	Cabecera municipal	25.4	3.7	0.7	1.6	0.4	0.4
1504000010106	Cabecera municipal	23.0	3.0	-6	-6	-6	0.6
1504000010093	Cabecera municipal	19.7	10.4	3.4	7.6	6.4	1.1
1504000010089	Cabecera municipal	24.3	8.6	2.0	7.0	2.1	0.7
1504000010055	Cabecera municipal	23.0	5.5	1.4	5.2	1.5	0.4
1504000010036	Cabecera municipal	25.3	2.4	-6	2.8	-6	0.0

Fuente: INEGI 2010.

Nota: -6 es un valor asignado por INEGI a los datos reservados por confidencialidad.

Para el caso de los servicios de salud, en la Figura 3.50a se observa que las AGEB correspondientes a la cabecera municipal se encuentran en el rango de 20-30% de habitantes que no cuentan con este servicio, hecho que destaca ya que más del 50% de la población del municipio se concentra en la cabecera municipal; además sobresalen las localidades de Los Naranjos y Santa Ana Xochuca como las que carecen en mayor medida de derechohabencia a servicios de salud, con 33.1% y 28.7% respectivamente.

Por su parte, las viviendas que cuentan con piso de tierra (Figura 3.50b) tienen en su mayoría valores por debajo del 10%, siendo la localidad de Portezuelos Dos la que supera al resto de localidades ya que el 66.3% de sus viviendas cuentan con piso de tierra.

En lo que respecta a las localidades sin acceso a sanitario entubada (Figura 3.51a) y sin acceso a agua entubada (Figura 3.51b), se observa que la cabecera municipal tiene cubiertos estos servicios, sin embargo, el resto de localidades tienen porcentajes mayores al 10% en el acceso a dichos servicios, destacando Yautepec con 92.5% y Portezuelos Dos con 90.9% de viviendas sin acceso a sanitario y localidades como San Pedro Tlacochaca, San Pablo, El rincón de Dios y San Miguel Laderas con el 100% de falta de cobertura de agua entubada.

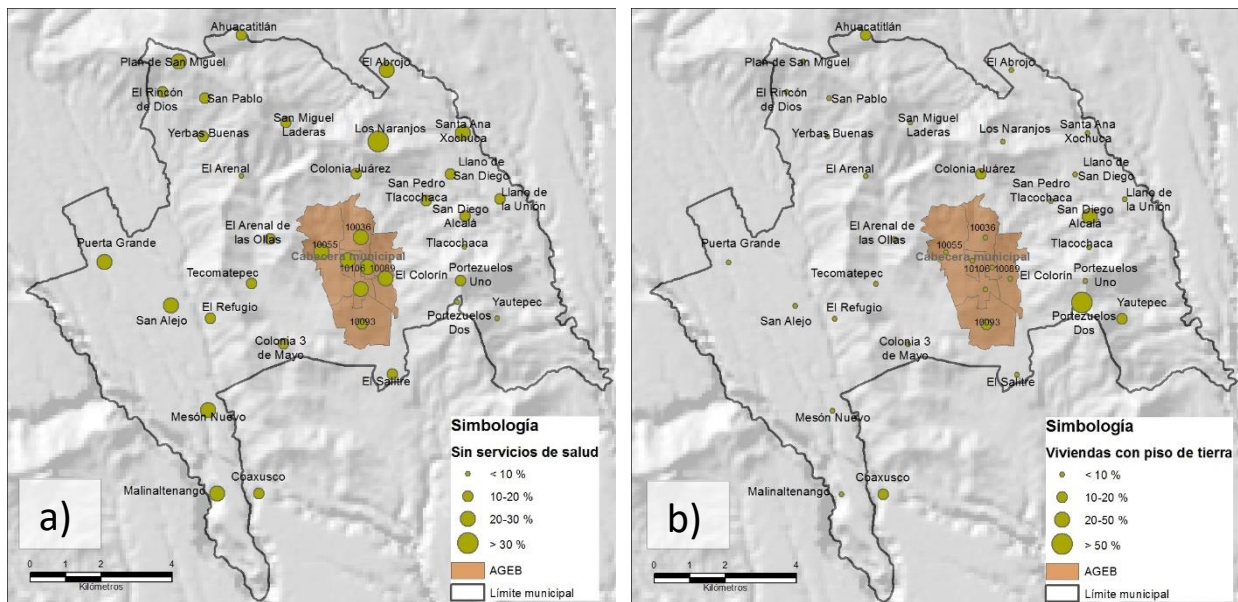


Figura 3.50. Mapas de: a) Porcentaje de habitantes sin derechohabencia a servicios de salud y b) Porcentaje de viviendas con piso de tierra en Ixtapan de la Sal. **Fuente:** INEGI, 2010.

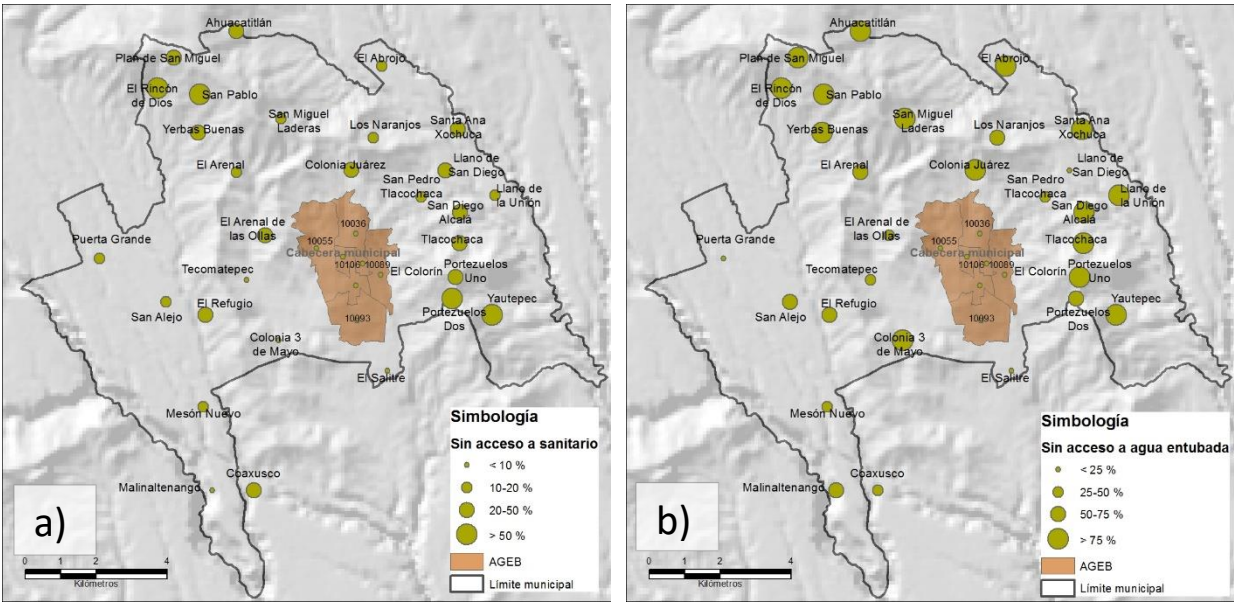


Figura 3.51. Mapas de: a) Porcentaje de viviendas sin acceso a sanitario y b) Porcentaje de viviendas sin acceso a agua entubada en Ixtapan de la Sal. **Fuente:** INEGI, 2010.

En cuanto a las localidades que no cuentan servicio de drenaje y energía eléctrica (Figura 3.52), sobresalen las localidades de Portezuelos Dos, Yautepec y El rincón de Dios, con porcentajes superiores al 90%, mientras que, para las localidades sin energía eléctrica, la falta de cobertura no supera el 6.5%, a excepción de la localidad de El colorín, que llega a un 28.9% de viviendas que no cuentan con dicho servicio.

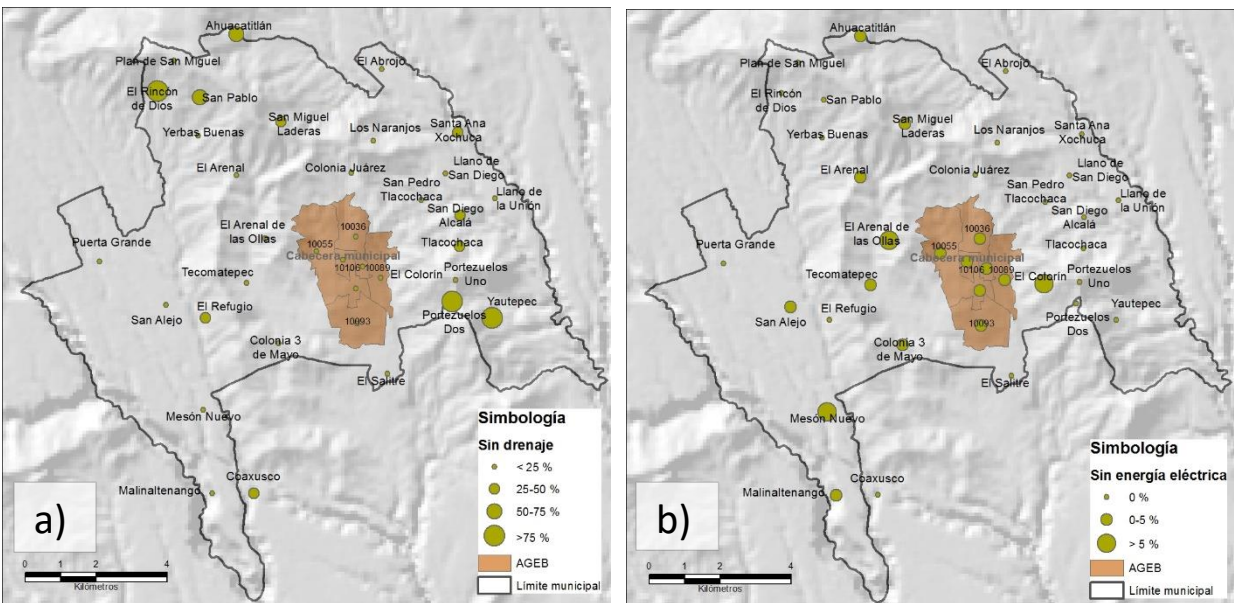


Figura 3.52. Mapas de: a) Porcentaje de viviendas sin acceso a drenaje y b) Porcentaje de viviendas sin acceso a energía eléctrica en Ixtapan de la Sal. **Fuente:** INEGI, 2010.

3.3.4. Acceso al agua

El acceso al agua es uno de los principales problemas que presenta el área de estudio, es uno de los factores considerados para evaluar el índice de marginación tratado en el punto anterior e influye directamente en el desarrollo de las localidades, por lo cual, es conveniente analizar con mayor detalle las afectaciones que puede tener un acceso adecuado al agua en el entorno del municipio de Ixtapan de la Sal.

Como se explica en el punto 3.1.3, debido a la conformación geológica del área de estudio, no es posible contar con aprovechamientos de agua subterránea suficientes para abastecer las necesidades básicas de la población, a razón de esto, el agua que es utilizada en el municipio llega concesionada a través de escurrimientos o canales que tienen su origen aguas arriba. El canal que tiene mayor importancia en términos de abastecimiento de agua a la población es el canal federal que llega al municipio por la localidad de Ahuacatlán, en la parte norte del municipio.

Dicho canal, ha presentado a través del tiempo una serie de problemas relacionados con su mantenimiento y conexiones ilegales por parte de algunos pobladores. Con respecto al primer punto, se observa una afectación constante a la calidad del agua producto de diversos eventos de contaminación como son derrumbes en épocas de lluvias, materia orgánica de plantas y animales muertos y desechos de actividades antrópicas, lo cual, a pesar de que el agua pasa por un proceso de potabilización, llega a presentar en ciertas épocas del año, coloración oscura producto de materia orgánica incorporada al cauce.

Para el segundo punto, a lo largo del canal se presentan diversos casos de extracción ilegal de agua por parte de habitantes de las localidades aledañas (Figura 3.53), las cuales usan el recurso principalmente para actividades productivas como la floricultura, esto reduce la cantidad de agua que llega a Ixtapan de la Sal, afectando directamente a la población de la cabecera municipal.



Manguera para la extracción ilegal de agua.

Figura 3.53. Manguera para extracción de agua del canal a cielo abierto. **Fuente:** Trabajo de campo.

Debido a lo anterior, los gobiernos Federal, Estatal y Municipal han emprendido un proceso de entubamiento del canal, con el cual se disminuirían en gran medida los problemas de caudal faltante y de contaminación del agua (Figura 3.54). Esta obra tiene un 80% de avance, sin embargo, en la localidad de Ahuacatlán, al norte de la Cabecera Municipal de Ixtapan de la Sal, la población ha condicionado el permitir esta obra a cambio de que les sea perforado un pozo para riego y caudal del canal para consumo humano. Al respecto, los tres niveles de Gobierno han negociado con la localidad y se han tomado en cuenta éstas peticiones. Se han tenido reuniones con representantes de la CONAGUA, CAEM y OPDAPAS de Ixtapan de la Sal (Figura 3.55) y se han realizados cuatro sondeos geofísicos para determinar el mejor lugar para la perforación del pozo.



Figura 3.54. Tubería destinada para la protección del canal. **Fuente:** Trabajo de campo.



Figura 3.55. Reunión con funcionarios de los tres órdenes de gobierno y habitantes de Ahuacatlán. **Fuente:** Trabajo de campo.

En este sentido, el mayor problema con respecto al agua en Ixtapan de la Sal es la cantidad de caudal concesionado, siendo los 16.2 l/s insuficientes para abastecer a la población de la cabecera municipal, esta concesión es administrada por el OPDAPAS, organismo que suministra el agua por tandeos dividiendo la cabecera municipal en secciones, las cuales reciben el servicio de dos a tres días a la semana en épocas de estiaje, hecho que afecta los hábitos de vida de la población, dedicando mayor tiempo al almacenamiento y cuidado del agua.

Debido a lo anterior y con el objetivo de evaluar la percepción de la población con respecto al estado y manejo de los recursos hídricos en la cabecera municipal de Ixtapan de la Sal por parte del OPDAPAS, se elaboró un cuestionario para los usuarios del agua (Anexo 1), el cual se aplicó a 30 habitantes del municipio. Los resultados muestran la apreciación que tiene la gente respecto al manejo del recurso por parte de las autoridades.

Con respecto al conocimiento sobre las fuentes de abastecimiento del agua potable en el municipio, el 67% sabe que el agua es captada en el Nevado de Toluca y transportada hacia Ixtapan de la Sal, mientras que el 33% no sabe cuál es el origen (Figura 5.29a). Destaca el hecho de que no se haga mención al aprovechamiento de manantiales, ya que son tres los que se están explotando actualmente, aunque el caudal obtenido de ellos es de 2-3 l/s.

En relación con el número de días que cuentan con el servicio de agua potable, el 89% de los encuestados respondieron que, entre uno y dos días a la semana, en tanto que el 11% respondió que entre tres y cuatro días (Figura 3.56). También aclararon que estas cifras aplican para el intervalo comprendido en los meses de marzo, abril y mayo, durante el resto del año tienen servicio de manera constante.

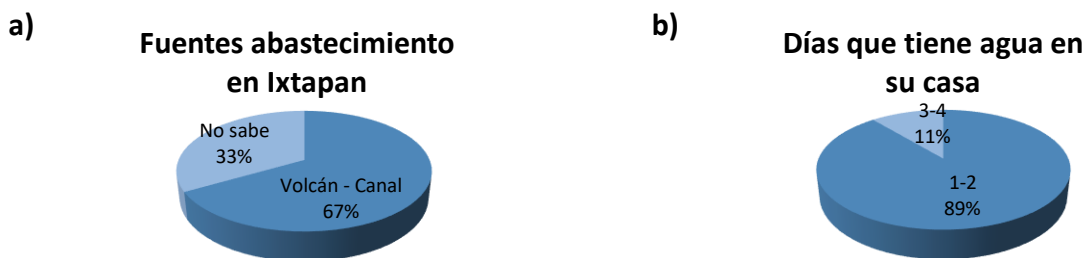


Figura 3.56. a) Gráfico que indica el conocimiento que tiene la población de las fuentes de abastecimiento en Ixtapan de la Sal, b) Gráfico que muestra el número de días por semana que la población tiene suministro de agua.

A pesar de que la mayor parte de los encuestados tienen uno o dos días por semana suministro de agua, el 56% menciona que esta agua es suficiente para sus necesidades, aclarando que cuentan con cisternas y depósitos donde almacenan el agua, además comentan que son familias pequeñas que requieren poco volumen, el 44% restante menciona que el volumen suministrado no es suficiente (Figura 3.57). En relación con este tema, la mayor parte de los encuestados (78%) consideran que la tarifa del suministro de agua es inadecuada, manifestando que el precio es elevado para la cantidad de días que cuentan con el servicio.

Sobre el desempeño del Organismo Público Descentralizado de Agua Potable (OPDAPAS) del Municipio de Ixtapan de la Sal, el 62% de los encuestados, considera que es regular, mientras que el 25% opina que es bueno y en menor medida (13%) considera que el servicio es malo (Figura 3.58). Aunado a ello, el 50% de los encuestados aprecian como buenos los canales de comunicación entre el Organismo y la población, ya que perciben que la atención a sus quejas es pronta, el otro 50% considera que la comunicación no es adecuada, argumentando que no se informa a la población de las actividades, gastos realizados y el estado del Organismo, además que no se comunica sobre planes futuros de infraestructura y manejo (Figura 3.59).

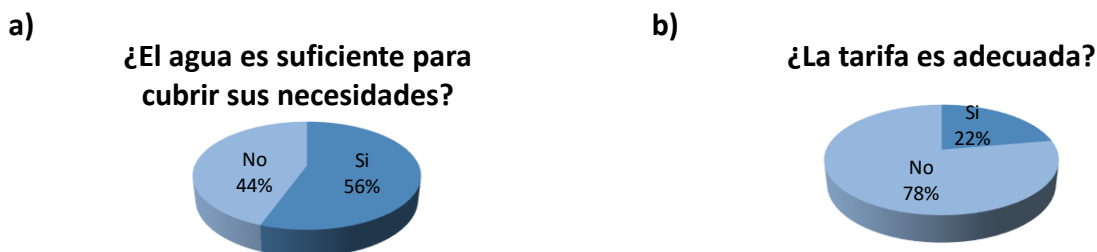


Figura 3.57. a) Gráfico que muestra el porcentaje de encuestados que considera que el suministro de agua es suficiente para sus necesidades, b) Gráfico que muestra el porcentaje de encuestados que considera que la tarifa del servicio de agua es suficiente para sus necesidades.

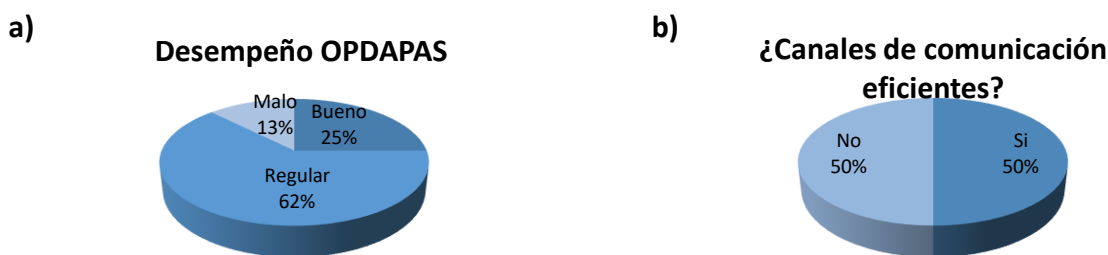


Figura 3.58. a) Gráfico que muestra la percepción del desempeño del OPDAPAS por parte de los encuestados, b) Gráfico que muestra la percepción de los encuestados sobre la eficiencia de los canales de comunicación entre el OPDAPAS y la población.

Estos gráficos muestran que el 78% de la población considera que si hay un sector que se ve mayormente beneficiado con los recursos hídricos en el municipio (sector turístico), sin embargo, el 50% considera que el volumen de agua usado por el turismo es adecuado ya que beneficia al desarrollo. Asimismo, los encuestados opinan que el sector que debería tener mayor atención es el doméstico, seguido por el turismo, el comercio, las actividades agropecuarias y las industriales.

Los resultados de las encuestas y las entrevistas realizadas en campo fueron la base para generar un mapa de actores, donde se muestra en orden jerárquico la relación que hay entre las diversas instituciones de los tres niveles de gobierno y usuarios de los recursos hídricos en el municipio, la importancia de los concesionarios del agua en el municipio, además de la representación que tienen los usuarios en el consejo del OPDAPAS para tomar decisiones sobre la gestión del agua en la cabecera municipal (Figura 3.60).

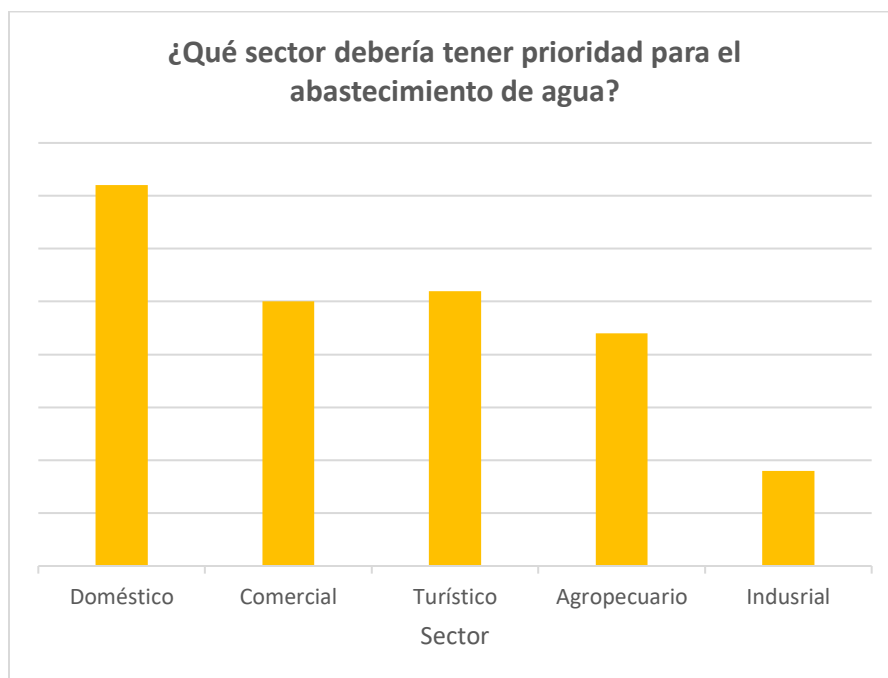


Figura 3.59. a) Gráfico que muestra la opinión de los encuestados acerca del sector que debería tener prioridad para el abastecimiento de agua.

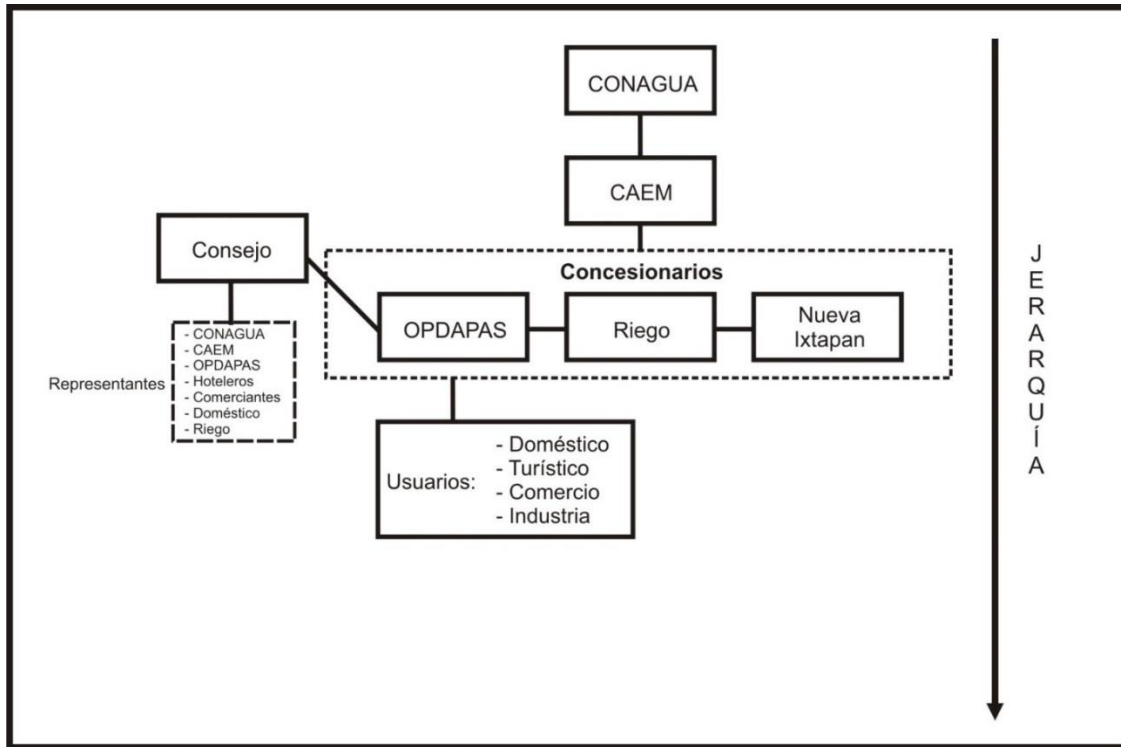


Figura 3.60. Mapa de actores del agua en el municipio de Ixtapan de la Sal.

Como ya se ha mencionado, el acceso al agua en Ixtapan de la Sal está definido por diversas concesiones en todo el municipio repartidas entre diferentes usuarios, siendo las principales la de Nueva Ixtapan, el Distrito de Riego y OPDAPAS, no obstante, se debe de considerar el resto de los caudales concesionados en el municipio, cuyo uso está registrado principalmente para uso agrícola (Cuadro 3.13), lo anterior no excluye que en la práctica, se le dé un uso para consumo humano a una parte de dicho caudal, satisfaciendo así las necesidades de la población que habita estas localidades.

Cuadro 3.13. Concesiones de agua en el municipio de Ixtapan de la Sal.

TITULAR	TÍTULO	USO	CONCESIÓN (m³/año)
Alfredo Del Mazo González	04MEX103278/18EOGE98	Servicios	50,457.00
C. Efraín Niembro Carsi	04MEX103207/18IMDL09	Múltiple	65,700.00
Comité De Agua Potable Del Poblado San Diego Alcalá	04MEX104526/18HAGE99	Público urbano	31,536.00
Comité De Agua Potable Poblado Los Naranjos	04MEX105205/18HAGE99	Público urbano	31,536.00
Dr. Salvador Sánchez Colín	5MEX101835/18AHGE96	Agrícola	10,568.00
Eleazar Vargas Mejía	5MEX101961/18HOGE97	Público urbano	565.62
Eufrosina Montero Reza	04MEX106927/18IOGE00	Múltiple	5,112.00
Felipe Sotelo Avilés	04MEX103165/18AAGE97	Agrícola	3,600.00
Frumencio Nájera Vara	04MEX105562/18AAGE99	Agrícola	5,806.00
Guadalupe Y Martha Oviedo Serrano	04MEX107256/18COGE02	Domestico	6,622.00
Inmobiliaria Club De Golf Ixtapan S.A. De C.V.	04MEX107535/18IADL07	Múltiple	902,880.00
Jesús Martínez Reza	04MEX107517/18IODL07	Múltiple	6,410.00
José Leonor Reza Pedraza	04MEX106526/18AAGE00	Agrícola	15,137.00
Maria Dolores Pedraza Torres	04MEX107220/18AAGE01	Agrícola	78,738.00
Poblados De San Alejo, El Mesón Y Coaxusco	5MEX100639/18HOGE94	Público urbano	220,752.00
Raul Díaz Méndez	04MEX103199/18AAGE98	Agrícola	6,221.00
Real De Tonatico, S. A. De C. V.	04MEX103871/18HMGE02	Público urbano	1,261,440.00
Real De Tonatico, S. A. De C. V. (Rancho San Diego)	5MEX101811/18AAGE97	Agrícola	124,416.00
Rubén Fernandez Colín	04MEX101819/18DODL09	Acuacultura	45,100.00
Rubén Fernandez Colín	04MEX107224/18IPDL12	Múltiple	3,912.00
Sebastián Vilchis Salgado	04MEX106780/18IOGE00	Múltiple	7,609.00
Ahuacatitlan	5MEX101945/18AAGE97	Agrícola	89,164.00
El Refugio	04MEX104522/18IAGE99	Múltiple	267,408.00
Yerbasbuenas	04MEX104521/18IAGE99	Múltiple	341,366.00
El Abrojo	04MEX104525/18AADL13	Agrícola	299,376.00
El Arenal	04MEX104519/18AADL14	Agrícola	23,587.00
Llano De La Unión	04MEX104523/18IADL12	Múltiple	1,363,997.00
Santa Ana Xochuca	04MEX104524/18IADL15	Múltiple	913,334.00
Teomatepec	04MEX104520/18IADL13	Múltiple	412,819.00
Zona Uno, S. De R.L. De C.V.	04MEX107534/18IADL07	Múltiple	902,888.00

Fuente: CONAGUA, 2015.

Nota: No se muestran en el cuadro las concesiones de Nueva Ixtapan, OPDAPAS y el Distrito de Riego.

En este sentido, y con base en el trabajo de campo, se conoció que la mayoría de las concesiones para uso agrícola solo disponen de agua 210 días al año, a diferencia de las concesiones para uso público urbano, que disponen de agua los 365 días del año, lo cual no garantiza que los usuarios dispongan de agua en su casa diariamente ya que eso está en función del volumen concesionado. Por otro lado, existen localidades que no cuentan con ninguna concesión de agua, por lo que han llegado a acuerdos no escritos entre usuarios para ceder parte del caudal concesionado a algunas localidades sin concesión; el caudal cedido es información conocida únicamente entre los representantes de las localidades y los concesionarios.

Al respecto, otras posibles fuentes de abastecimiento de agua a las que pueden tener acceso algunas localidades del municipio son los manantiales y los escurrimientos superficiales. En el caso de los manantiales, la mayor parte son intermitentes y su caudal va disminuyendo conforme

avanza la época de estiaje, sin embargo, esta fuente de agua toma una relevancia importante en localidades en las que no se cuenta con servicio de agua ni concesiones para uso público urbano, como es el caso de Ahuacatitlán, comunidad en la que se aprovecha el escaso caudal que brota de un manantial que se encuentra al borde del camino que comunica a la población con la cabecera municipal, y al que los pobladores acuden a abastecerse de agua (Figura 3.61).

Lo mismo ocurre en el resto de las localidades del municipio que cuentan, dentro de su entorno, con manantiales de agua dulce. En el mapa de la Figura 3.62 se observa la distribución de los manantiales y su cercanía con algunas localidades que aprovechan su recurso, dicho caudal es concesionado para diferentes usos, destacando la localidad de Los Naranjos, que cuenta con una concesión de 1 lps. para consumo público urbano.

En cuanto a los escurrimientos, se debe considerar su importancia en función del papel que desempeñan en términos de acceso al agua dentro del entorno de la localidad, ya que, en caso de no contar con conexión de agua dentro de la vivienda, llegan a constituir una fuente de abasto de este recurso para algunos pobladores, de ahí que la cantidad de escurrimientos presentes en la zona (densidad de drenaje) es un elemento importante en términos de abasto para la población.

Al respecto, la ONU establece que se debe contar con una fuente de agua al menos a un kilómetro de distancia, por lo cual se decidió generar buffers de 1 kilómetro a partir de los puntos que representan las localidades en el mapa (Figura 3.63) y ver así los manantiales y el tipo de escurrimientos que se encuentran dentro del entorno próximo de cada localidad.



Figura 3.61. Manantial usado para consumo humano en la localidad de Ahuacatitlán.

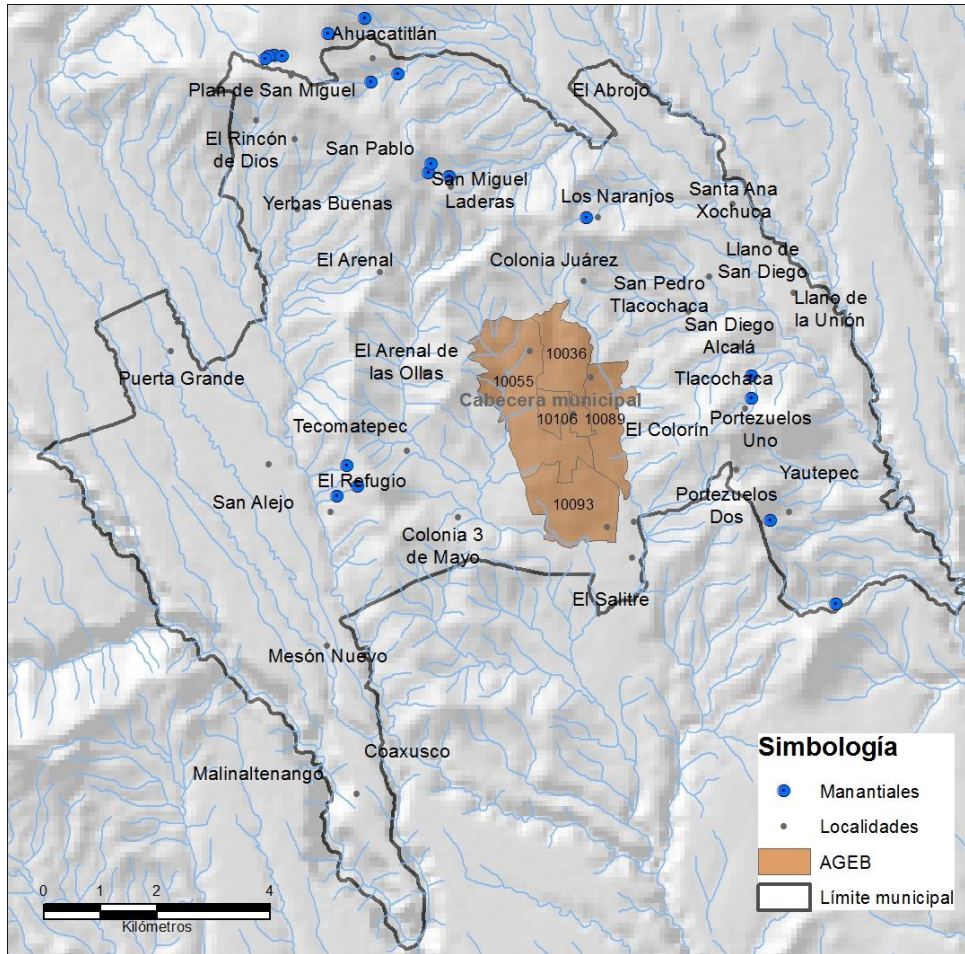


Figura 3.62. Manantiales de agua dulce dentro del municipio de Ixtapan de la Sal.

Al respecto, localidades como Plan de San Miguel, El refugio y Ahuacatitlán disponen de agua de manantial dentro de su entorno; por otro lado, localidades como Malinaltenango, Mesón nuevo, Coaxusco, Santa Ana Xochuca y Llano de la Unión, se encuentran cercanas a un escurrimiento perenne, no obstante, la calidad del agua superficial en la zona no cumple con los límites máximos permisibles de las normas establecidas por la Secretaría de Salud y CONAGUA, ya que estos escurrimientos funcionan como drenaje de aguas negras de localidades que se encuentran aguas arriba sin recibir algún tipo de tratamiento; además, las actividades económicas de los municipios ubicados al norte se enfocan en mayor medida en la floricultura, actividad que tiene un impacto negativo sobre la calidad del agua debido a la cantidad de fertilizantes y plaguicidas utilizados en dicha actividad y que en muchos casos, no cuentan con controles de almacenamiento, aplicación y desecho por parte de los agricultores, esto pone en riesgo a las personas que llegasen a hacer uso para consumo humano del agua contaminada con estos compuestos (Cita personal Comunicación personal 11 de diciembre de 2014).

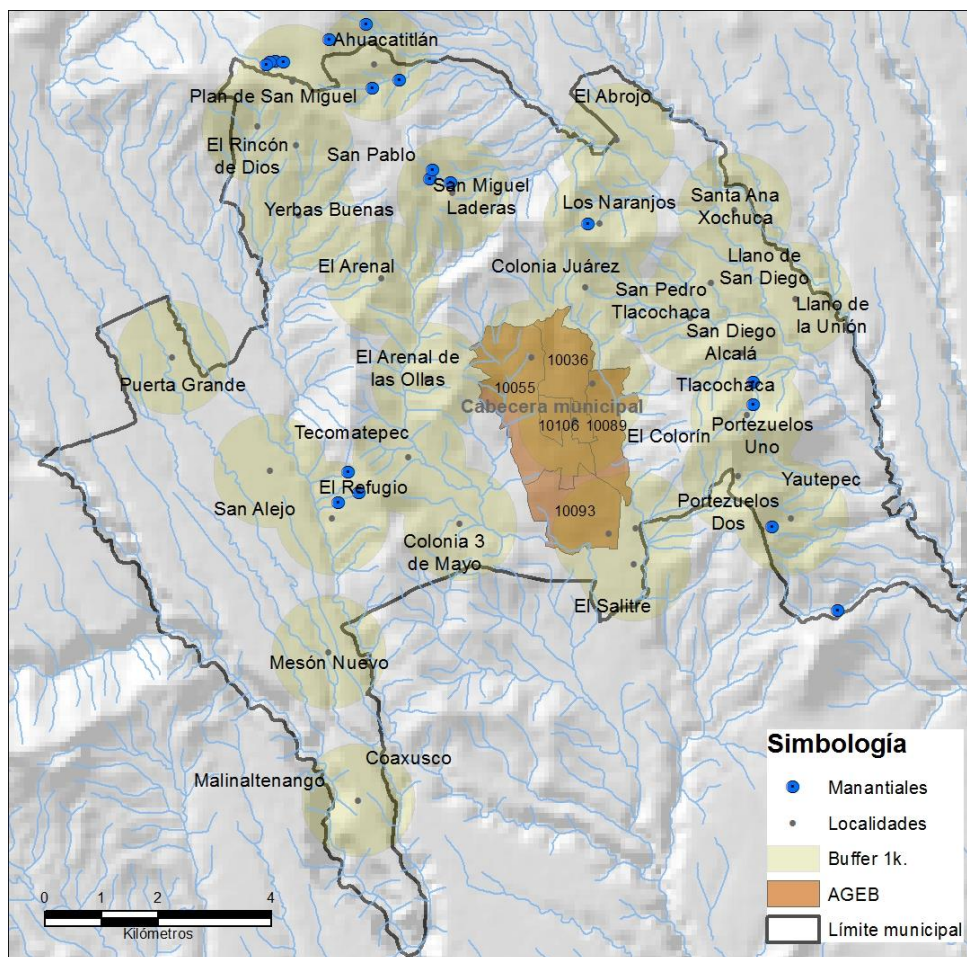


Figura 3.63. Zona de influencia de 1 kilómetro de radio de las localidades de Ixtapan de la Sal.

3.3.5. Modelo conceptual del sistema social del agua

El trabajo de gabinete y de campo realizado para caracterizar el sistema social del agua permitió identificar los aspectos más relevantes en este rubro, los cuales fueron organizados con base en el sistema FLOA, identificando así las fortalezas, limitaciones, oportunidades y amenazas Cuadro 3.14, siendo las más representativas la capacidad operativa de las instituciones encargadas de la gestión del agua para satisfacer las necesidades de una población que ha crecido sostenidamente en los últimos años, los canales de comunicación con los usuarios, los acuerdos que llega a consolidar con los diversos actores y la resolución de conflictos generados por la inconformidad de los grupos de población que muestra niveles altos de marginación.

Cuadro 3.14. Sistema FLOA con las variables sociales del agua.

	POSITIVAS		NEGATIVAS	
	FORTALEZAS		LIMITACIONES	
	Aspectos observados	Variable	Aspectos observados	Variable
INTERNAS	Organismo reconocido por la comunidad	Instituciones	Descontento de la población con la distribución del recurso en época de estiaje	Capacidad operativa
	Niveles de aceptación del OPDAPAS son altos	Reconocimiento a la labor de las instituciones	Colonias y comunidades no tienen un servicio correcto del agua	Abastecimiento del agua
	90% de población concentrada en cabecera municipal. En la cabecera solo el 3.58% de las viviendas no tienen servicio de agua potable.	Distribución de la población	Impedimento de algunas localidades para la modernización del canal	Conflictos sociales
	Más del 80% de la población ya paga por el servicio	Participación social	Falta de conocimiento por parte de la comunidad de la problemática hídrica de la zona	Sesiones informativas
	Representación de los diferentes sectores en el consejo del OPDAPAS	Representatividad	Aumento de población y de la demanda de agua	Crecimiento poblacional, demanda
	Antecedentes culturales del aprovechamiento de los recursos hídricos	Aprovechamiento histórico	Problemas relacionados con la falta de acceso al agua	Marginación
EXTERNAS	OPORTUNIDADES		AMENAZAS	
	Aspectos observados	Variable	Aspectos observados	Variable
	Involucrar a la población informando de la problemática	Sesiones informativas	Aumento en extracción clandestina indebida del canal	Aplicación de normatividad
	Concientizar para un uso adecuado del agua	Campañas de concientización	Inconformidad de otras localidades condicionando el mantenimiento del canal a cielo abierto	Conflictos sociales
	Negociación con otros concesionarios para ceder caudal para uso público	Acuerdos con usuarios e instituciones	Presión de localidades para solicitar servicio de agua potable	Conflictos sociales, capacidad operativa
	Campaña para evitar contaminación de aguas superficiales	Campañas de concientización	Presiones políticas sobre el desempeño del OPDAPAS	Conflictos sociales
			Presión por parte de un sector para obtener mayor abastecimiento de agua	Acuerdos con usuarios e instituciones

El modelo conceptual del sistema social del agua pasa principalmente por el manejo de los recursos hídricos y el impacto que tienen las decisiones tomadas por los organismos operadores y de gestión sobre la valoración de su desempeño por parte de la sociedad.

Una de las vertientes se enfoca en describir el aumento de la demanda de agua producido por el crecimiento poblacional y el incremento de la actividad turística; al respecto se han implementado campañas de concientización en escuelas para promover un uso más eficiente de los recursos hídricos en los hogares. Esta medida no resulta ser suficiente para solucionar el problema de escasez de agua, por lo que, a partir de decisiones tomadas en las juntas de consejo del OPDAPAS, se ha entrado en pláticas con la CONAGUA y los concesionarios de Nueva Ixtapan y el Distrito de Riego para ajustar el caudal concesionado, con ello se espera poder abastecer a la población de la cabecera municipal sin cortes al servicio en época de estiaje.

Uno de los acuerdos presentes de manera intermitente en el municipio, es el que mantiene el OPDAPAS con el Distrito de riego de Ixtapan de la Sal, en el cual, los concesionarios de Riego ceden una parte de su caudal para el abastecimiento de agua en la cabecera municipal durante la época de estiaje, sin embargo, estos acuerdos dependen de la relación que exista entre los representantes de los concesionarios ya que, en ocasiones, al haber desacuerdos internos, los usuarios de riego deciden dejar de apoyar con el suministro de agua al OPDAPAS, lo que genera mayores restricciones en el abasto de agua

En términos de calidad del agua, de acuerdo con la encuesta aplicada a los usuarios, en algunas ocasiones el agua abastecida presenta cierta coloración y sedimentos, por lo que existe la percepción de que el agua en la cabecera municipal no llega a cumplir con los requerimientos de calidad esperados por la población. Este problema, comienza a ser atendido por las autoridades y busca ser resuelto en cuanto se finalicen los trabajos de entubamiento del canal federal.

Con respecto al manejo de los residuos vertidos a los escurrimientos, el OPDAPAS ha comenzado con un proceso de encauzamiento de las aguas residuales municipales directamente hacia la planta intermunicipal de tratamiento ubicada en los límites de Ixtapan de la Sal y Tonatico, ya que anteriormente todos estos residuos se vertían directamente en el Río Salado y el Río de los Sabinos, afectando la calidad del agua de manantial aprovechada para consumo humano (tal es el caso de los manantiales Agua Amarga I y II).

Este proceso de encauzamiento no se ha cumplido en su totalidad, ya que las obras se han ejecutado por colonias o secciones de la cabecera municipal, sin embargo, su desarrollo ha tenido un impacto positivo en la percepción de la comunidad hacia esta institución.

Pese a estos esfuerzos, es evidente una falta de capacidad operativa para abastecer a todo el municipio, ya que las localidades que no se encuentran dentro del área de influencia de la cabecera municipal y que no son atendidas por el OPDAPAS siguen presentando problemas de

escasez de agua y no tienen, en ninguno de los casos, una planta potabilizadora que les asegure un agua con la calidad necesaria para consumo humano, lo cual resulta en un estancamiento de las comunidades para superar el grado de marginación en el que se encuentran, lo que en última instancia deriva en manifestaciones de inconformidad, en percepciones negativas o incluso en bloqueos como los que se registraron en la comunidad de Ahuacatlán.

Uno de los mayores problemas detectados en la gestión de los recursos hídricos en Ixtapan de la Sal es que no se efectúan sesiones informativas frecuentes sobre la problemática del agua en el municipio y las medidas tomadas por los responsables de su manejo para mejorar la condición de esta. Esta posición por parte de las autoridades ha desincentivado la participación social para la búsqueda de soluciones y el mejor manejo del agua, lo cual reduce la representatividad en el consejo, a pesar de que existen delegados para cada grupo de usuarios del agua.

Por otro lado, es importante tener presente dentro del modelo conceptual del sistema social del agua la relación que ha tenido Ixtapan de la Sal con los recursos hídricos a lo largo de su historia, sus antecedentes y los elementos que han moldeado el desarrollo o estancamiento del municipio. Como se explica en el apartado 3.3.1, los recursos hídricos han moldeado la configuración social y económica de la zona de estudio, desde la extracción de la sal y su aprovechamiento para consumo humano y para la extracción de plata, hasta convertirse en un importante polo de desarrollo turístico en el Estado de México.

Esta serie de factores y la evolución que han mostrado a lo largo del tiempo, inciden en la percepción que tiene la población sobre los órganos de gobierno y su eficiencia para evitar o solucionar las problemáticas que se presentan en el municipio, lo que refuerza o debilita su credibilidad frente a los usuarios, y que al final impacta directamente en la cultura del agua de la sociedad en general.

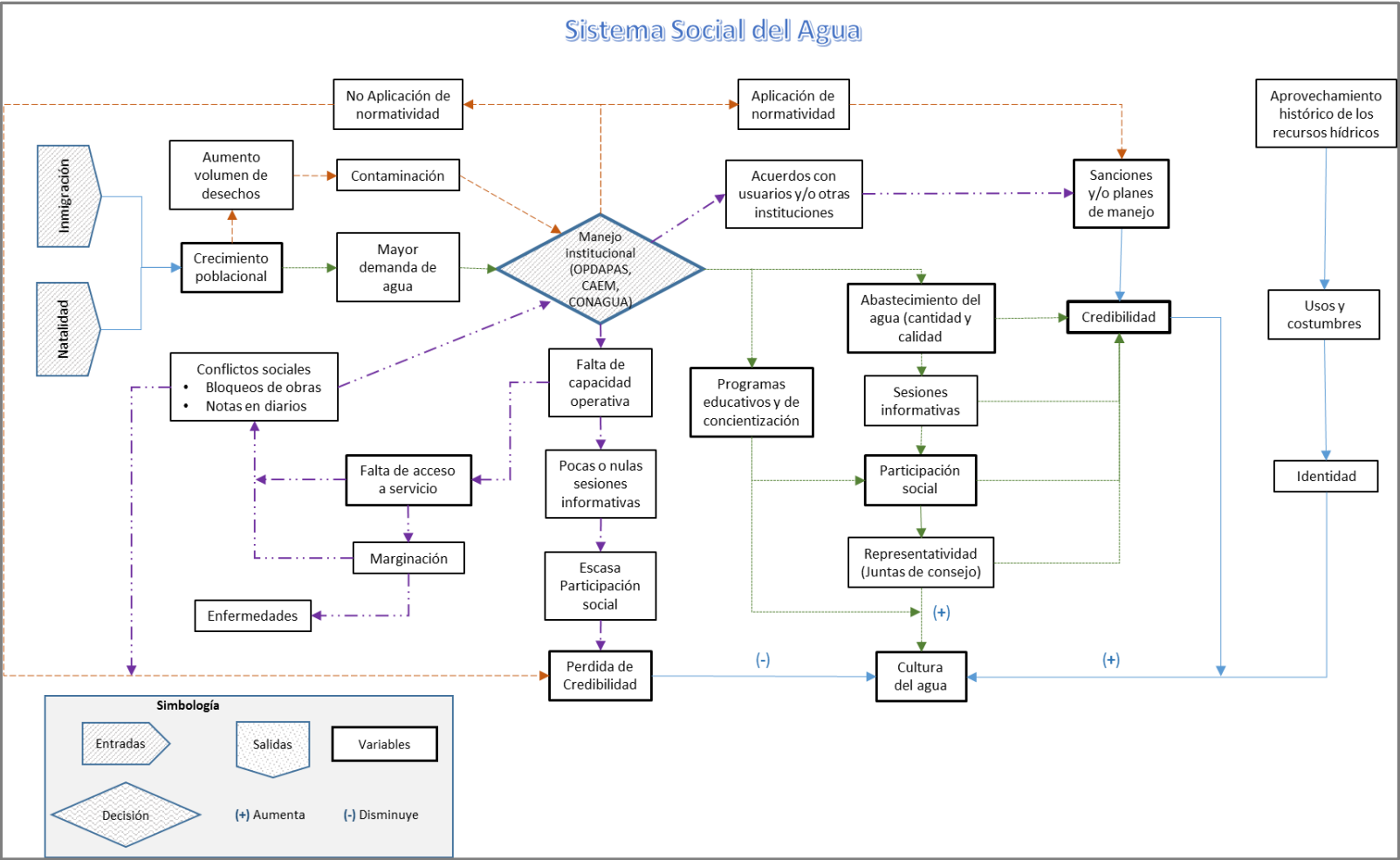


Figura 3.64. Modelo conceptual del sistema social del agua en Ixtapan de la Sal.

Capítulo 4 - Construcción del índice de gestión municipal

4.1 SELECCIÓN DE INDICADORES

La selección de indicadores que condensan y explican el sistema del agua en Ixtapan de la Sal se realizó mediante la observación directa en campo, la aplicación de entrevistas y encuestas, y el análisis de la información documental y bases de datos publicadas por diversas instituciones gubernamentales. Asimismo, se buscó utilizar información que estuviera disponible a nivel de localidad, que pudiera ser replicable en otros municipios y que fuera actualizada periódicamente.

Parte de las limitaciones encontradas al seleccionar dichos indicadores fue que cierta información no está publicada a nivel de localidad o tiene restricciones de confidencialidad, como es el caso de la información económica, por lo cual fue necesario distribuir las cifras publicadas entre el número de habitantes de cada localidad, para así obtener una representación local de dichos datos.

4.1.1. Conexiones entre modelos conceptuales

Los modelos conceptuales expuestos al final de las caracterizaciones ambiental, social y económica exponen de manera general cuales son aquellas variables que impactan directamente en cada sistema. De igual manera se identificaron sus diversas relaciones con otras variables ya que su ubicación dentro del modelo conceptual responde a su influencia estratégica en el sistema, pudiendo representar las entradas, los procesos o las salidas de materia, energía e información del sistema.

A pesar de que los sistemas ambiental, social y económico muestran su dinámica particular al interior, no se muestra el impacto que tiene cada variable en otros sistemas, lo cual provocaría una visión trunca del proceso general; por ello, se consideró necesario establecer relaciones entre variables de los distintos sistemas, el resultado se puede observar en las Figura 4.1, 4.2 y 4.3, donde se representa de manera gráfica el nombre de la variable y el sistema en el que se tiene influencia.

Los modelos conceptuales explicados en el capítulo anterior representan de manera general la función de las variables seleccionadas para este estudio y sus diversas relaciones con otras variables ya que se ubicaron en respuesta a su influencia estratégica dentro del modelo conceptual, con el fin de señalar las entradas, los procesos y las salidas de materia, energía e información del sistema.

A pesar de que los sistemas ambiental, social y económico muestran su dinámica particular al interior, no se muestra el impacto que tiene cada variable en otros sistemas, lo cual provocaría una visión trunca del proceso general; por ello, se consideró necesario establecer relaciones entre variables de los distintos sistemas, el resultado se puede observar en la Figura 4.1, Figura 4.2 y Figura 4.3, donde se representa de manera gráfica el nombre de la variable y el sistema en el que se tiene influencia

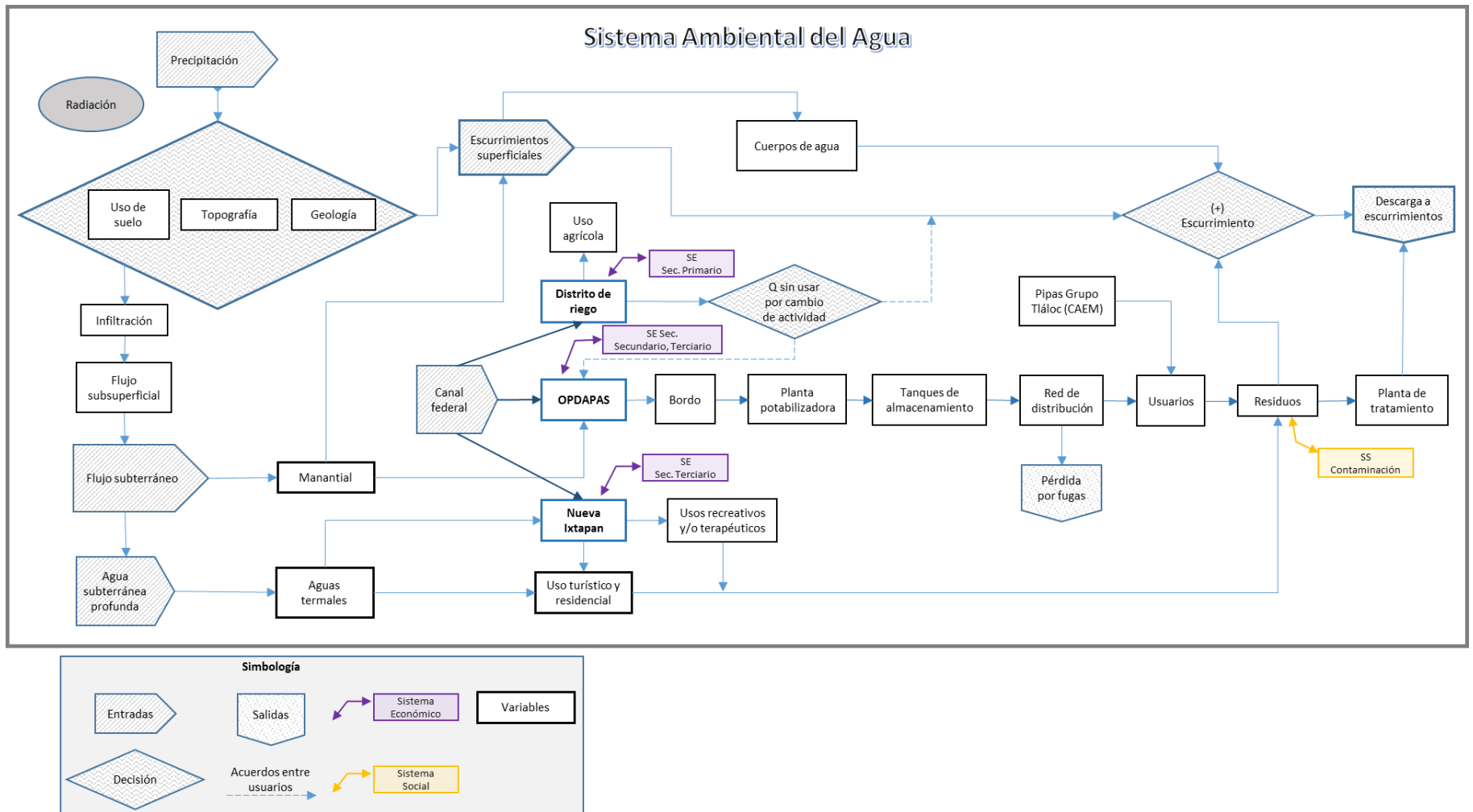


Figura 4.1. Sistema ambiental del agua y su relación con los sistemas económico y social.

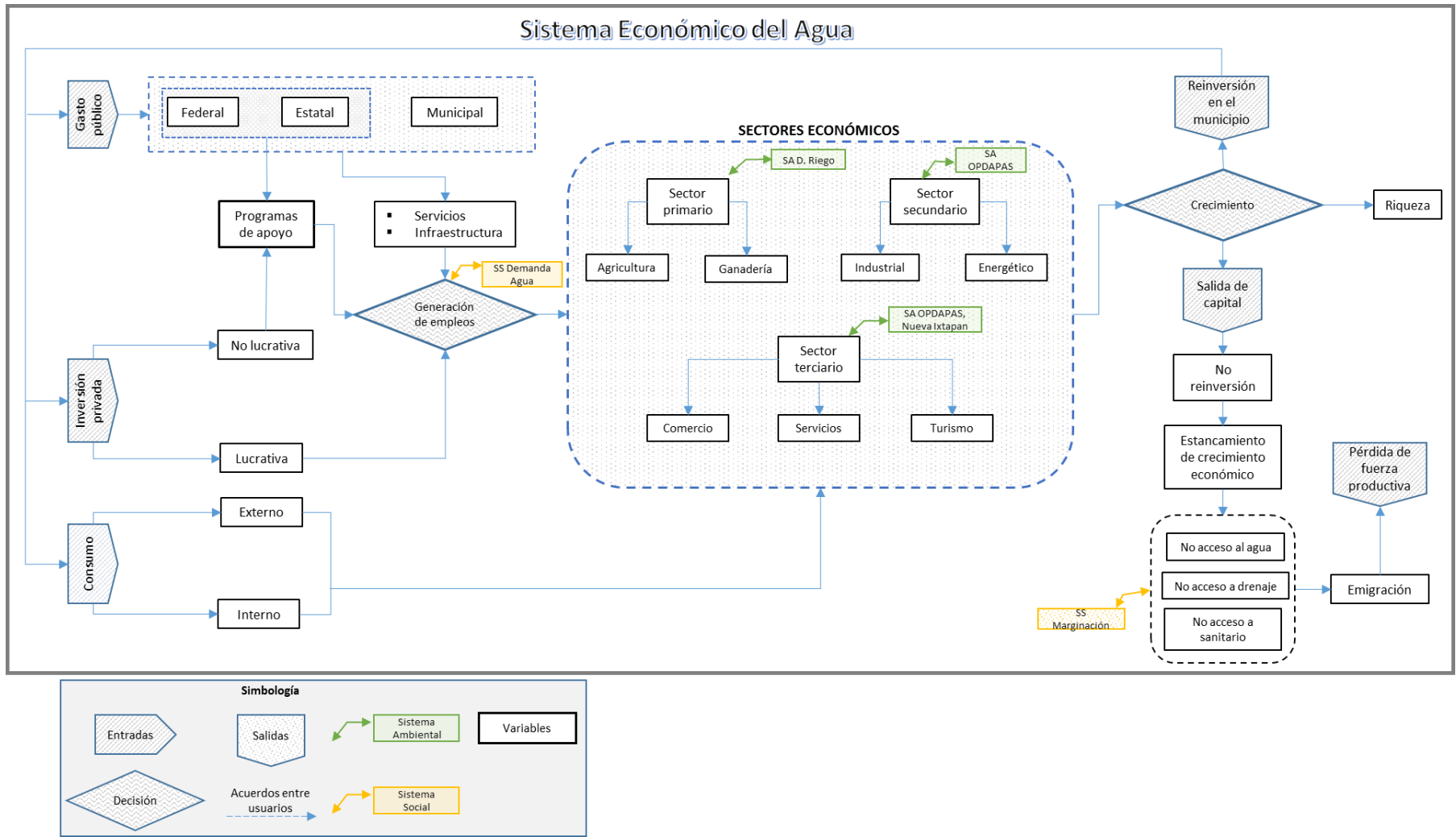


Figura 4.2. Sistema económico del agua y su relación con los sistemas ambiental y social.

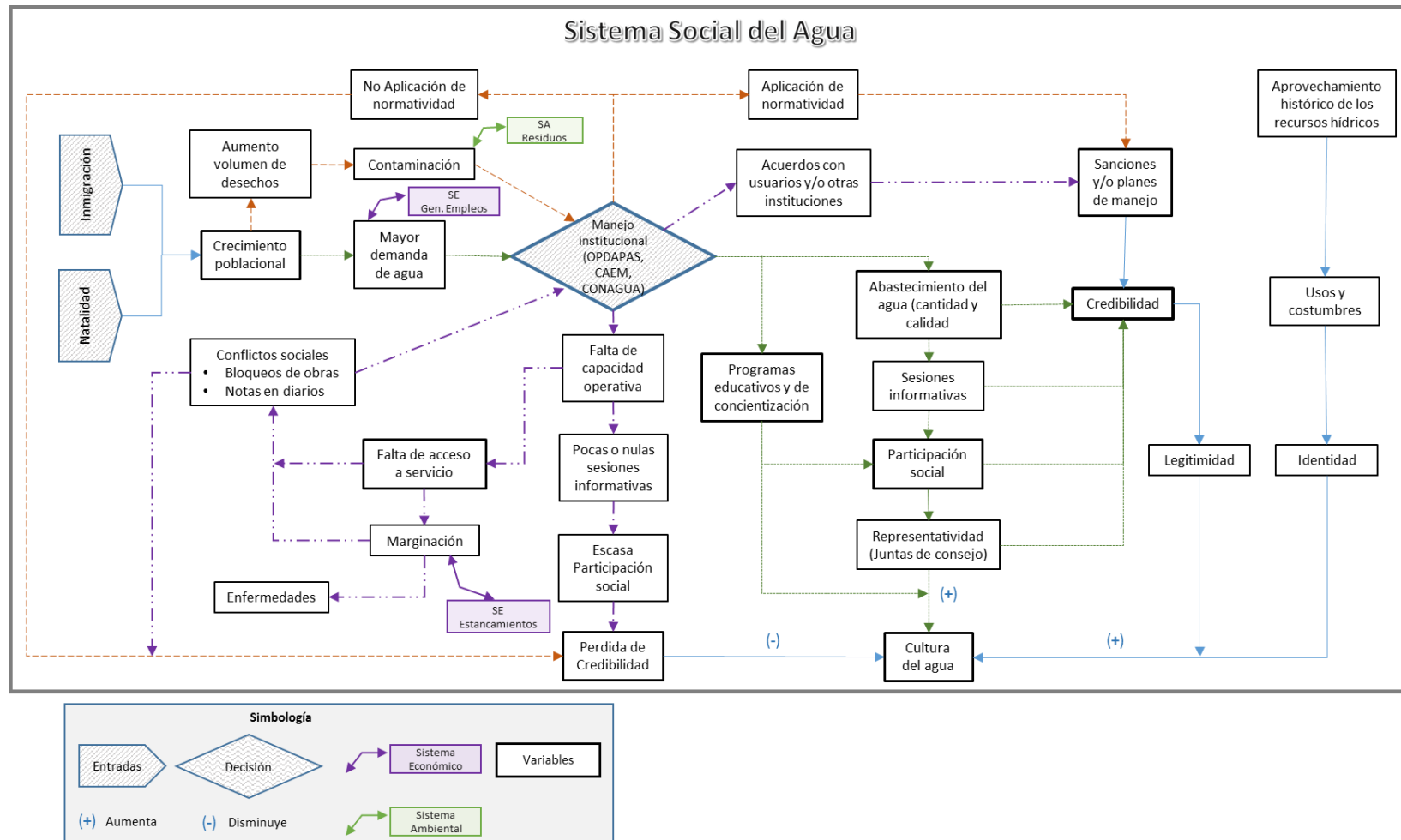


Figura 4.3. Sistema social del agua y su relación con los sistemas ambiental y económico.

En estos modelos conceptuales se demuestra que los sistemas no son cerrados e influyen directamente sobre el desarrollo de otros sistemas, esto ayuda a valorar con mayor efectividad la relevancia que tiene un indicador ya que a pesar de que es posible que cuente con una sola conexión dentro de su sistema, puede influenciar a alguno de los otros dos. Es así que, en función de los criterios ya mencionados se seleccionaron aquellos indicadores que explican de mejor manera la dinámica de los sistemas ambiental, social y económico del agua en Ixtapan de la Sal, los cuales se listan en el Cuadro 4.1:

Cuadro 4.1. Indicadores seleccionados para los sistemas ambiental, social y económico.

SISTEMA	INDICADOR
AMBIENTAL	Temperatura promedio de los cuatro meses más secos.
	Precipitación promedio de los cuatro meses más cálidos.
	Precipitación promedio de los cuatro meses más secos.
	Uso de suelo.
	Unidades hidrogeológicas.
	Presencia de fuentes de aprovechamiento (pozos, norias, canal, escurrimientos).
	Longitud de los escurrimientos naturales (km por km ²).
	Sistemas de almacenamiento de agua (bordo, tanques de almacenamiento).
	El drenaje descarga hacia una planta tratadora de aguas residuales.
	Manejo de residuos sólidos.
SOCIAL	Número de habitantes/km ² .
	Población flotante producto de actividades turísticas.
	Índice de Educación: Media de los años esperados de escolaridad y años promedio de escolaridad.
	Porcentaje de la población sin derechohabencia a servicios de salud.
	Índice de salud.
	Acceso dentro del entorno de la localidad a fuentes de agua.
	La población cuenta con planta potabilizadora
	Ocupantes de viviendas particulares que disponen de agua entubada.
	Caudal correspondiente a cada localidad o AGEB entre el número total de habitantes.
	Caudal correspondiente a cada localidad o AGEB entre el número de habitantes que tiene acceso a servicio de agua.
	Porcentaje de viviendas que cuenta con servicio de agua entubada.
	Porcentaje de las viviendas particulares habitadas que no disponen de excusado o sanitario.
	Porcentaje de las viviendas particulares habitadas que no disponen de drenaje.
	Índice de Marginación.
Índice de Desarrollo Humano.	
ECONÓMICO	PIB de actividades primarias.
	PIB de actividades secundarias.
	PIB de actividades terciarias.
	PIB per cápita.
	Inversión pública per cápita.
	Deuda pública per cápita.
	Población Económicamente Activa.
	Población Económicamente Activa Ocupada.
	Indicador de ingreso.
	Porcentaje de la inversión en desarrollo social del total de la inversión pública total.
	Porcentaje de la inversión en desarrollo económico pública del total de la inversión pública total.

4.2 DETERMINACIÓN DE MÁXIMOS Y MÍNIMOS DE INDICADORES

Para los indicadores seleccionados se requiere conocer su límite máximo y mínimo preferentemente a nivel de localidad, pero en el entorno nacional para poder realizar comparaciones al momento de replicar esta metodología en otros municipios. Las unidades de medida están dadas en función de las características del indicador y de la fuente de datos que lo publican.

Para el caso del uso de suelo, las unidades hidrogeológicas, las fuentes de aprovechamiento, los sistemas de almacenamiento, el tratamiento del agua residual y el manejo de residuos sólidos se definieron valores entre 0 y 1 en función de que tan favorable es la presencia de cada una de las características para el sistema ambiental, siendo 0 lo más desfavorable y 1 lo más favorable. En los casos en los que se etiqueta como “No requerido” se refiere a que en ese espacio geográfico no hay asentamientos humanos que requieren de drenaje, por ejemplo, pudiendo ser un área cubierta de bosque o pastizal.


















Doce indicadores, entre sociales y económicos, manejan el porcentaje como unidad de medida (derechohabencia a servicios de salud, ocupantes de viviendas particulares que disponen de agua entubada, Población Económicamente Activa, etc.), en unos casos, la información publicada ya se encuentra en este formato; en otros, el porcentaje se obtuvo dividiendo el número de habitantes que cumplen con lo establecido por el indicador entre la población total de la localidad o AGEB para así obtener el valor de ese indicador. En cuatro casos se utilizan índices, en un indicador se utiliza tasa como unidad de medida y en dos casos se valora si hay acceso al agua o no dentro de la localidad y si existe un sistema de potabilización, valorándose como 0 o 1.

Sobre la disponibilidad de información, una parte importante de la información económica no está disponible a nivel localidad, solamente a nivel municipal [Instituto Nacional para el Federalismo y el Desarrollo Municipal, 2010; Sistema Municipal de Base de Datos (SIMBAD), 2010] ya que existen restricciones de confidencialidad en algunas de las bases de datos publicadas, lo cual obligó a que el valor de los indicadores se asignara en función del número de habitantes de las localidades. Esta acción puede generar imprecisiones en las cifras del PIB por actividad económica y en el porcentaje de inversión en desarrollo, sin embargo, es un ejercicio que ayuda a construir un panorama de la distribución espacial dichos indicadores.

Para el caso de la información social, la mayor parte de esta se obtuvo del Censo de Población y Vivienda (INEGI, 2010), con cifras a nivel localidad y AGEB; y para los indicadores basados en índices, la información se obtuvo de CONAPO (2013) y del PNUD (2010) publicados a nivel localidad para todo el territorio nacional. Las unidades, valores máximos, mínimos y función de pertenencia definidos para cada indicador se muestran en el Cuadro 4.2.

Cuadro 4.2. Parámetros definidos para los indicadores seleccionados para los sistemas del agua.

INDICADOR	UNIDADES	MÍNIMO (a)	MÁXIMO (b)	FUNCIÓN DE PERTENENCIA
Temperatura promedio de los cuatro meses más secos.	°C	9.2	31.3	
Precipitación promedio de los cuatro meses más cálidos.	mm	10.3	1,044.50	
Precipitación promedio de los cuatro meses más secos.	mm	0.9	394.2	
Uso de suelo	Tipo	Bosque: 1, Pastizal: 0.7, Agrícola: 0.4, Urbano: 0.1		
Unidades hidrogeológicas	Tipo	a1: 1, a4: 0.8, c2: 0.7, c1: 0.6, c3: 0.5, b3: 0.4		
Presencia de fuentes de aprovechamiento (pozos, norias, canal, escurrimientos).	Tipo	Pozos: 0.9, OPDAPAS: 0.8, Manantial: 0.7, Norias: 0.5, Esc. Perennes 0.4, Esc. Int. 0.3		
Longitud de los escurrimientos naturales en km por km².	km/km²	3	30	
Sistemas de almacenamiento de agua (bordo, tanques de almacenamiento).	Tipo	No requerido: 1, Suficiente: 0.9, Insuficiente: 0.7, No: 0.1.		
El drenaje descarga hacia una planta tratadora de aguas residuales.	Tipo	No requerido: 1, Parcialmente, 0.7, , No: 0.1.		
Manejo de residuos sólidos.	Tipo	No requerido: 1, Insuficiente: 0.9, No: 0.1.		
Número de habitantes/km².	Hab/km²	0	5920	
Población flotante producto de actividades turísticas.	Visitantes	0	1,850,000	
Índice de Educación: Media de los años esperados de escolaridad y años promedio de escolaridad.	Índice	0.534	0.779	
Porcentaje de la población sin derechohabencia a servicios de salud.	Porcentaje	0	100	
Índice de salud. Mide el logro relativo de un país o estado respecto del valor mínimo de 20 años de esperanza de vida al nacer y del valor máximo de 83.4, definidos por el PNUD.	Índice	20	83.4	
Acceso dentro del entorno de la localidad a fuentes de agua. La UNESCO establece que una fuente de agua debe estar a menos de 1 km de distancia.	Binario	No: 0	Si: 1	
La población cuenta con planta potabilizadora	Binario	No: 0	Si: 1	
Ocupantes de viviendas particulares que disponen de agua entubada.	Porcentaje	0	100	
Caudal correspondiente a cada localidad o AGEB entre el número total de habitantes.	m³/hab/año	50	100	

INDICADOR	UNIDADES	MÍNIMO (a)	MÁXIMO (b)	FUNCIÓN DE PERTENENCIA
Caudal correspondiente a cada localidad o AGEB entre el número de habitantes que tiene acceso a servicio de agua.	m ³ /hab/año	50	100	
Porcentaje de viviendas que cuenta con servicio de agua entubada.	Porcentaje	0	100	
Porcentaje de las viviendas particulares habitadas que no disponen de excusado o sanitario.	Porcentaje	0	100	
Porcentaje de las viviendas particulares habitadas que no disponen de drenaje.	Porcentaje	0	100	
Índice de Marginación.	Índice	-1.63	5.097	
Índice de Desarrollo Humano: Conjuga la longevidad de las personas, su educación y el nivel de ingreso necesario para una vida digna.	Índice	0.207	0.917	
PIB de actividades primarias.	Porcentaje	0	100	
PIB de actividades secundarias.	Porcentaje	0	100	
PIB de actividades terciarias.	Porcentaje	0	100	
PIB per cápita por km ²	MXP/km ²	749	1,719,168	
Inversión pública per cápita por km ²	MXP/km ²	174.4	2622.4	
Deuda pública per cápita por km ²	MXP/km ²	0	7571.94	
Población Económicamente Activa.	Porcentaje	54.8	65.1	
Población Económicamente Activa Ocupada.	Porcentaje	92.1	97.7	
Indicador de ingreso.	Tasa	0.657	0.858	
Porcentaje de la inversión en desarrollo social del total de la inversión pública total.	Porcentaje	0	100	
Porcentaje de la inversión en desarrollo económico pública del total de la inversión pública total.	Porcentaje	0	100	

PIB por UT = PIB per cápita mínimo del país (53.5 en miles de pesos) por la densidad de población mínima del país (14) y PIB per cápita del DF (290.4 en miles de pesos) por la densidad de población máxima del país (5920).

Deuda Pública per cápita: Datos del 2010 el valor más alto corresponde al estado de Quintana Roo y el menor corresponde al estado de Tlaxcala.

Educación 2010 Chiapas y DF.

4.3 JERARQUIZACIÓN DE INDICADORES MEDIANTE LA APLICACIÓN DE LÓGICA DIFUSA.

Definidos los indicadores pasaron por un Proceso Analítico Jerárquico mediante el cual expertos en el tema valoraron los indicadores que son más importantes dentro de cada uno de los sistemas, cada indicador obtuvo un puntaje que va entre 0 y 1 siendo los más cercanos a 0 los menos relevantes y los más cercanos a 1 los más relevantes. La sumatoria de todos los valores de los indicadores pertenecientes a cada sistema debe ser igual a 1.

De los indicadores pertenecientes al sistema ambiental las unidades hidrogeológicas fueron las que tienen un peso mayor, diferenciándose unas de otras por su capacidad de almacenar y transmitir agua, en el caso de Ixtapan de la Sal este factor es fundamental para la disponibilidad de agua en el municipio ya que en la mayor parte de su territorio no se cuenta con unidades hidrogeológicas con características favorables para el abastecimiento de agua por fuentes subterráneas.

Otro factor muy altamente valorado es la presencia de fuentes de aprovechamiento, las cuales resultan importantes ya que, aunque no se cuente con un suministro seguro y constante durante el año, los manantiales y norias perennes suelen ser utilizados por los habitantes de la comunidad. En tercer orden de importancia está el tratamiento de aguas residuales, factor que llega influye directamente en la calidad del agua que puede ser aprovechada por ciertas comunidades y en el estado general ambiental del municipio.

El uso de suelo es considerado el cuarto indicador más importante, siendo relevante la cobertura de bosque para mantener la buena calidad del agua superficial y para la infiltración que alimenta los manantiales y norias intermitentes, por el contrario, la agricultura y las zonas urbanas pueden afectar la calidad del agua debido al uso de fertilizantes y pesticidas y la descarga de aguas residuales y residuos sólidos. Los indicadores de manejo de residuos y de sistemas de almacenamiento siguen en el orden de importancia, mientras que los indicadores de precipitación, temperatura y la red de drenaje fueron los menos valorados dentro del sistema.

Dentro del sistema social la distribución de los pesos fue más homogénea, destacándose los indicadores relacionados con la disponibilidad de agua entubada dentro de la vivienda, quedando en tercer puesto la disponibilidad de agua dentro de la localidad, es decir, que el acceso al agua ya sea en la vivienda o cercano a la vivienda tiene una valoración superior.

En este orden continúan el indicador de salud, además de los indicadores de disponibilidad de drenaje, excusado o sanitario que es una forma de medir el saneamiento en general señalando la parte de la población que no dispone de infraestructura adecuada para la eliminación de aguas residuales (CDS-ONU, 2001), seguidos por el Índice de Desarrollo Humano y el caudal correspondiente a las localidades o AGEB en función del número de habitantes con los que

cuentan. Al respecto se observa que se tiene una valoración mayor de la disponibilidad del agua sobre la cantidad de agua que dispone una localidad para abastecer a sus habitantes.

En el orden de importancia continúa la derechohabencia a servicios de salud tema ligado con la presencia de plantas potabilizadoras que ofrezcan agua con la calidad suficiente para ser consumida por la población. El número de habitantes y el Índice de Educación fueron los que se consideraron con el menor peso dentro del sistema.

En relación al sistema económico, el porcentaje de Población Económicamente Activa Ocupada fue el indicador con mayor peso, dicho indicador mide el grado de ocupación de la población asumiendo que mientras mayor sea este, mayor será el desarrollo económico de una localidad, factor ligado directamente con la disponibilidad de servicios básicos. En orden de importancia se encuentran los porcentajes de inversión que realizan las instituciones gubernamentales en desarrollo social y en desarrollo económico, siendo importantes para conocer cuántos recursos se destinan para dotar a la población de servicios básicos (entre los que se encuentra el agua y el saneamiento), y cuánto se destina en el fortalecimiento económico de la población, aspecto fuertemente ligado con el Índice de ingreso que se encuentra en cuarto grado de importancia.

El Producto Interno Bruto por sector tiene una valoración intermedia en el listado de indicadores, teniendo más peso el PIB por actividades terciarias, esto debido a la preponderancia de este sector en las actividades económicas y el desarrollo del municipio, teniendo menos importancia las actividades secundarias y primarias respectivamente. En menor rango de importancia se encuentra la inversión pública per cápita, la Población Económicamente Activa y la Deuda Pública per cápita, los dos primeros contrastando con los indicadores de PEAO y Porcentaje de Inversión en Desarrollo, que se encuentra mejor valorados, mostrando una falta de consistencia en esta valoración. El listado de indicadores ordenados conforme a los sistemas ambiental, social y económico con su respectivo valor ponderado se muestra en el Cuadro 4.3.

Cuadro 4.3. Valores ponderados de los indicadores de los sistemas ambiental, social y económico.

SISTEMA AMBIENTAL	
Indicador	Valor ponderado
Unidades hidrogeológicas	0.1336
Presencia de fuentes de aprovechamiento (pozos, norias, canal, escurrimientos).	0.1265
El drenaje descarga hacia una planta tratadora de aguas residuales.	0.1101
Uso de suelo	0.1079
Manejo de residuos sólidos	0.1047
Sistemas de almacenamiento de agua (bordo, tanques de almacenamiento).	0.1045
Precipitación promedio de los cuatro meses más cálidos.	0.0884
Precipitación promedio de los cuatro meses más secos.	0.0850
Longitud de los escurrimientos naturales en km por km ² .	0.0739
Temperatura promedio de los cuatro meses más secos.	0.0655

SISTEMA SOCIAL	
Indicador	Valor ponderado
Ocupantes de viviendas particulares que disponen de agua entubada.	0.0832
Porcentaje de viviendas que cuenta con servicio de agua entubada.	0.0808
Acceso dentro del entorno de la localidad a fuentes de agua.	0.0759
Índice de salud. Mide el logro relativo de un país o estado respecto del valor mínimo de 20 años de esperanza de vida al nacer y del valor máximo de 83.4.	0.0733
Porcentaje de las viviendas particulares habitadas que no disponen de drenaje.	0.0726
Porcentaje de viviendas particulares habitadas que no disponen de excusado o sanitario.	0.0719
Índice de Desarrollo Humano.	0.0714
Caudal correspondiente a cada localidad o AGEB entre el número total de habitantes.	0.0701
Caudal correspondiente a cada localidad o AGEB entre el número de habitantes que tiene acceso a servicio de agua.	0.0665
Porcentaje de la población sin derechohabiencia a servicios de salud.	0.0613
La población cuenta con planta potabilizadora	0.0597
Índice de Marginación.	0.0589
Número de habitantes/km ² .	0.0543
Población flotante producto de actividades turísticas	0.0534
Índice de Educación: Media de los años esperados y años promedio de escolaridad.	0.0461
SISTEMA ECONÓMICO	
Indicador	Valor ponderado
Población Económicamente Activa Ocupada.	0.1223
Porcentaje de la inversión en desarrollo social del total de la inversión pública total.	0.1212
Porcentaje de la inversión en desarrollo económico pública del total de la inversión	0.1055
Indicador de ingreso.	0.1048
PIB de actividades terciarias.	0.0920
PIB per cápita.	0.0873
PIB de actividades secundarias.	0.0825
PIB de actividades primarias.	0.0818
Inversión pública per cápita.	0.0809
Población Económicamente Activa.	0.0670
Deuda pública per cápita.	0.0548

4.4 ANÁLISIS ESPACIAL DE LOS INDICADORES DE GESTIÓN

Definidos los máximos y mínimos se procedió a generar mapas fuzificados de cada indicador (con valores entre 0 y 1) que muestran su comportamiento sobre el territorio municipal. Posteriormente se realizó una ponderación mediante el uso del módulo *Multi-criteria Evaluation* (MCE por sus siglas en inglés) del software IDRISI, ejercicio que permitió identificar las zonas en las que se presentan las mejores condiciones de cierto indicador y aquellas que requieren atención prioritaria por su bajo desempeño.

4.4.1. Análisis espacial de los indicadores ambientales

Los indicadores fuzificados del sistema ambiental se muestran en la Figura 4.4, son diez mapas representando el comportamiento espacial de los siguientes temas: **a)** Temperatura de los cuatro meses más secos, **b)** Precipitación de los cuatro meses más cálidos, **c)** Precipitación de los cuatro meses más secos, **d)** Uso de suelo, **e)** Unidades hidrogeológicas, **f)** Acceso al agua dentro del área de 1 km, **g)** Densidad de drenaje, **h)** Sistemas de almacenamiento, **i)** Sistemas de tratamiento de aguas residuales y **j)** Manejo de residuos sólidos.

Para el caso particular del sistema ambiental, se representan algunos indicadores cubriendo la totalidad del territorio, ya que los datos de origen son continuos (temperatura, precipitación, uso de suelo, unidades hidrogeológicas y densidad de drenaje), sin embargo, la información del resto de los indicadores se presenta a nivel de localidad, mostrando información únicamente de las partes del municipio en los que se encuentran asentamientos humanos.

Al final el mapa ponderado del sistema ambiental contiene valores para toda la extensión municipal, no obstante, al ponderar los tres sistemas, las celdas en las que no existe presencia de asentamientos humanos no muestra información, puesto que no hay forma de comparar los tres sistemas en esas celdas.

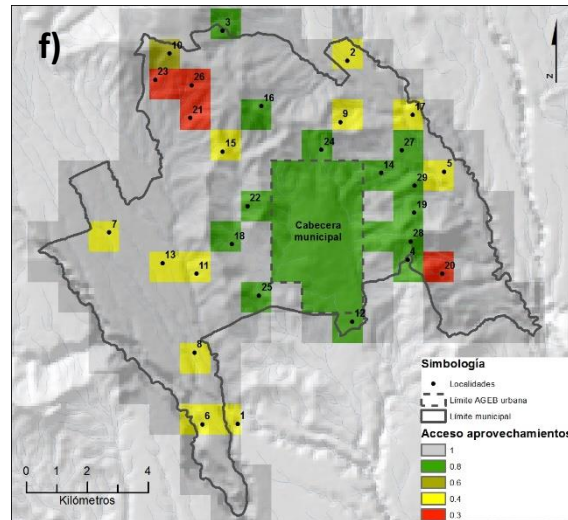
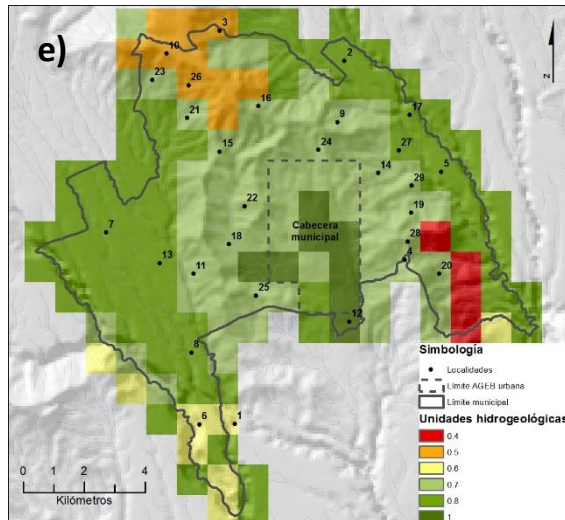
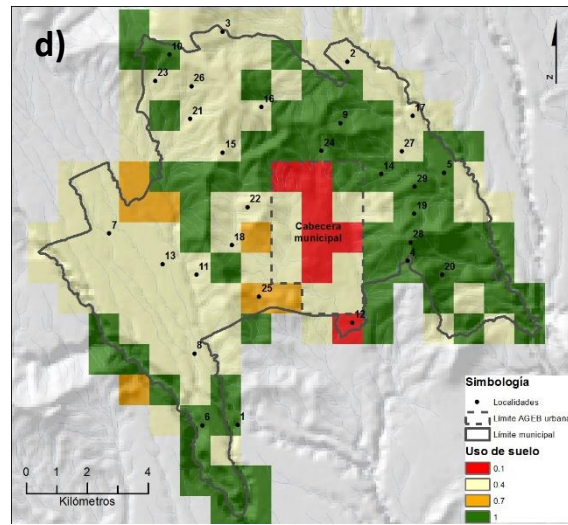
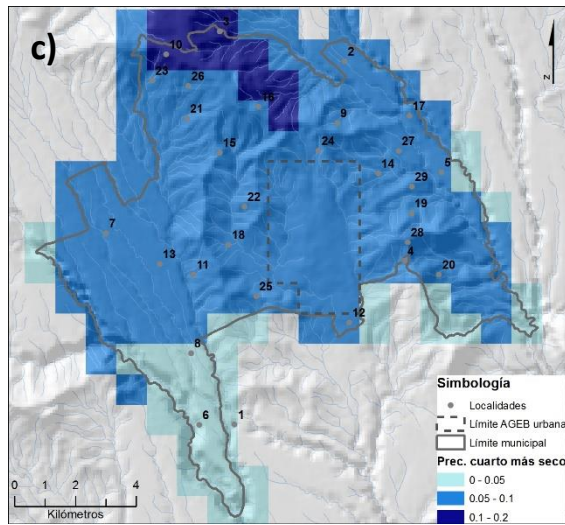
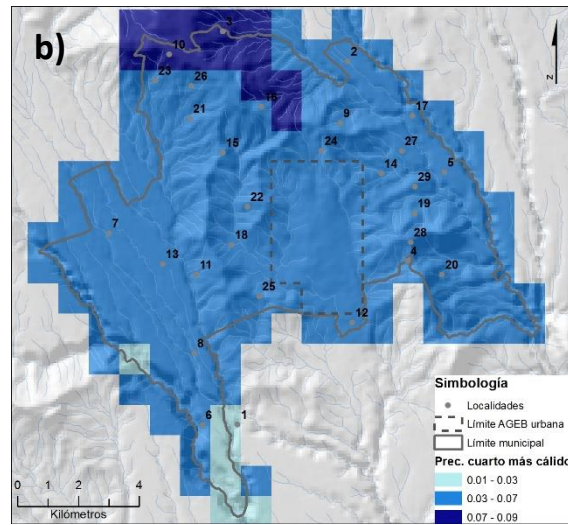
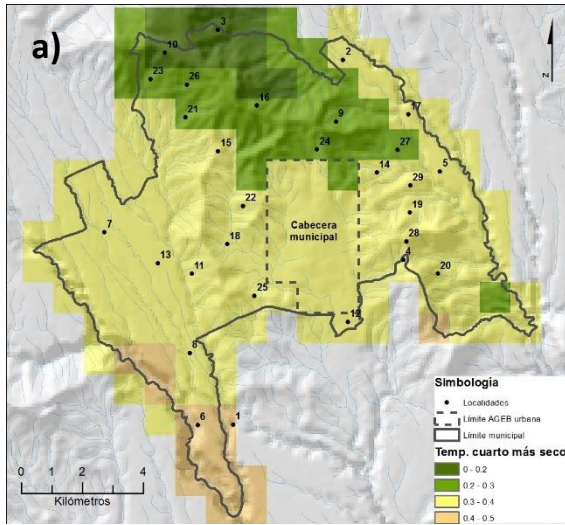




Figura 4.4. Mapas de indicadores fuzificados del sistema ambiental.

Estos mapas pasaron por un proceso de ponderación mediante el uso del módulo *Multi-criteria Evaluation* del software IDRISI, obteniendo un mapa con valores entre 0 y 1 cuyo resultado se observa en la Figura 4.5, del cual, las zonas que destacan por contar con los valores más bajos se encuentran en la mayor parte de las localidades alejadas de la cabecera municipal, principalmente La Falda, El rincón, Yervas Buenas, Plan de San Miguel, Ahuacatlán y El Abrojo con valores menores a 0.2.

En términos de disponibilidad, la mayor parte de estas localidades no cuentan con infraestructura para el almacenamiento de agua destinada para consumo humano, además, no disponen de un organismo operador encargado de proveer acceso a los recursos hídrico, por lo cual recurren a fuentes de abastecimiento como norias, manantiales o escurrimientos para satisfacer sus

necesidades diarias, este indicador es el segundo más importante de acuerdo a los valores ponderados obtenidos a partir de las encuestas hechas a los expertos.

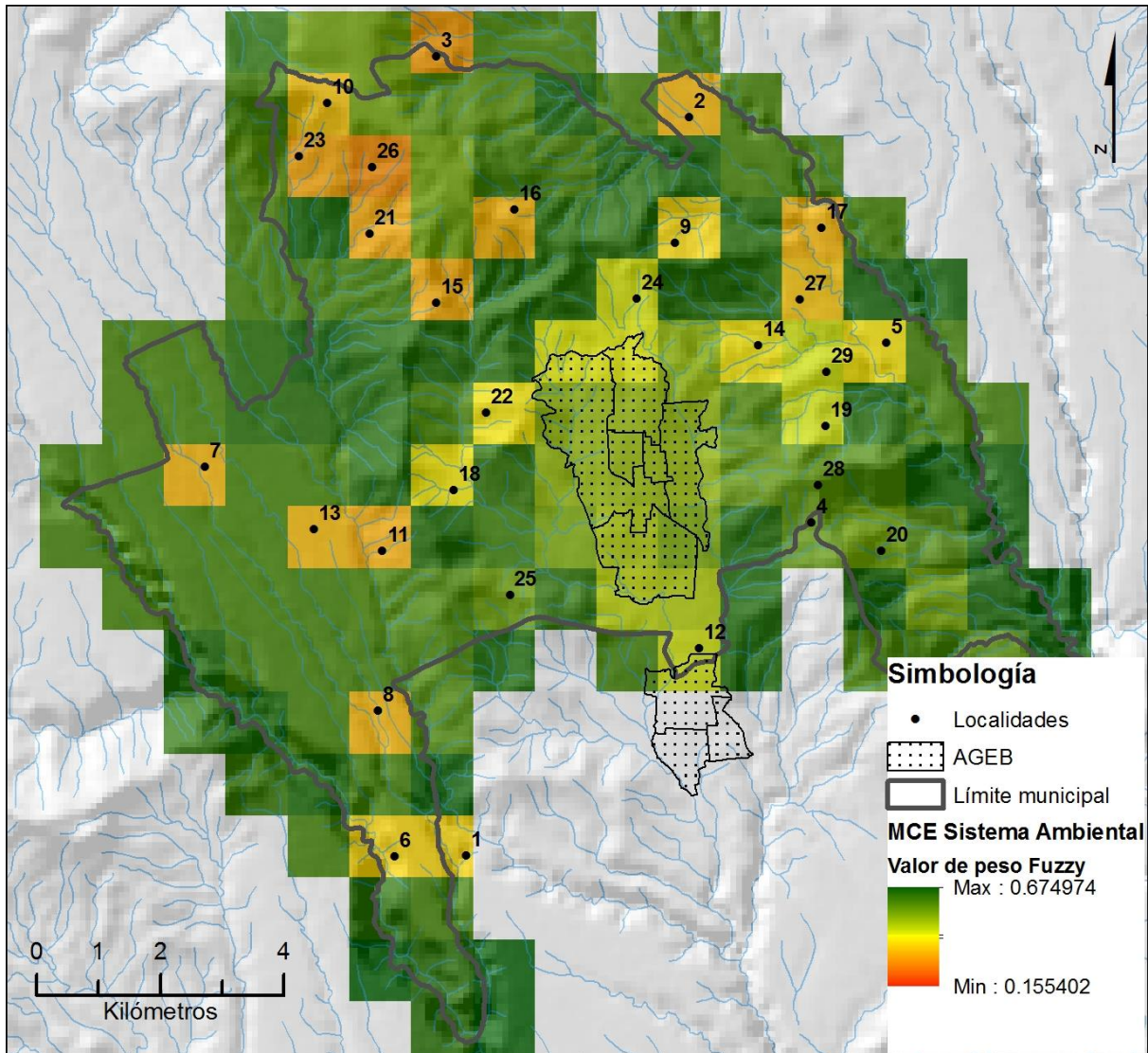
Con respecto a la calidad del agua en las localidades mencionadas, las aguas residuales se vierten hacia los escurrimientos sin ningún tipo de tratamiento previo lo cual tiene un impacto importante sobre todo el sistema ambiental de la zona de estudio (este indicador se encuentra en tercer puesto de importancia de acuerdo con la ponderación realizada). aunado a esto, dichas poblaciones no tienen implementado un programa de manejo de residuos sólidos, lo que provoca que una parte de esos residuos termine en algún cuerpo de agua, escurrimiento, canal, manantial o noria impactando negativamente su estado natural.

Otro aspecto importante a considerar es que el uso de suelo presente en las localidades está clasificado como agrícola, aspecto que puede considerarse como una fuente de contaminación difusa en función del uso de fertilizantes y pesticidas aplicados sobre el terreno.

Por otro lado, los valores más elevados, que a su vez son las partes con mejor evaluación ambiental, corresponden a las zonas donde el uso de suelo es bosque, donde no se realizan descargas puntuales de aguas residuales

En cuanto a los indicadores de precipitación, temperatura y densidad de drenaje, se observa una distribución más o menos uniforme, con poca variación en su comportamiento en toda la extensión del territorio municipal, presentando los valores más favorables (menor temperatura, mayor precipitación) en la porción noroeste de la zona de estudio. Para el caso de las unidades hidrogeológicas, solamente una pequeña porción parte central del municipio cuenta con depósitos aluviales, el área y espesor de esta unidad reduce su carácter de acuífero productivo, sin embargo, esta unidad hidrogeológica aumenta considerablemente el valor de las unidades territoriales en las que tiene influencia ya que, este indicador es el que cuenta con un mayor valor ponderado, lo cual le confiere un mayor peso.

Es así, que en el territorio mencionado los valores no están en el rango de los mínimos, a pesar de que el uso de suelo es urbano y no se cuenta con infraestructura para el almacenamiento de agua potable.



1	Coaxusco	9	Los Naranjos	17	Santa Ana Xochuca	25	Colonia Linda Vista
2	El Abrojo	10	Plan de San Miguel	18	Tecomatepec	26	La Falda
3	Ahuacatlán	11	El Refugio	19	Tlacoachaca	27	Llano De San Diego
4	Rancho San Diego	12	El Salitre	20	Yautepec	28	Mesón Dos
5	Llano de la Unión	13	Mesón Alejo	21	Yerbas Buenas	29	San Pedro Tlacoachaca
6	Malinaltenango	14	San Diego Alcalá	22	Arenal de las Ollas		
7	El Cedrito	15	San Jose del Arenal	23	El Rincón		
8	Mesón Nuevo	16	San Miguel Laderas	24	Mesón Juárez		

Figura 4.5. Mapa ponderado del sistema ambiental.

4.4.2. Análisis espacial de los indicadores sociales

Respecto al sistema social, los mapas con los valores fuzificados se muestran en la Figura 4.6, son quince mapas representando el comportamiento espacial de los siguientes temas: **a)** Densidad de población, **b)** Población flotante, **c)** Ocupantes de viviendas con acceso al agua, **d)** Acceso a aprovechamientos dentro de la localidad, **e)** Caudal correspondiente a cada habitante en litros por día, **f)** Caudal correspondiente a cada habitante con acceso al agua dentro de su vivienda en litros por día, **g)** La localidad cuenta con planta potabilizadora, **h)** Densidad de drenaje, **i)** Porcentaje de viviendas que disponen de agua entubada, **j)** Índice de desarrollo humano, **k)** Porcentaje de viviendas sin acceso a sanitario, **l)** Porcentaje de viviendas sin acceso a drenaje, **m)** Índice de educación, **n)** Acceso a servicios de salud y **o)** Índice de marginación.



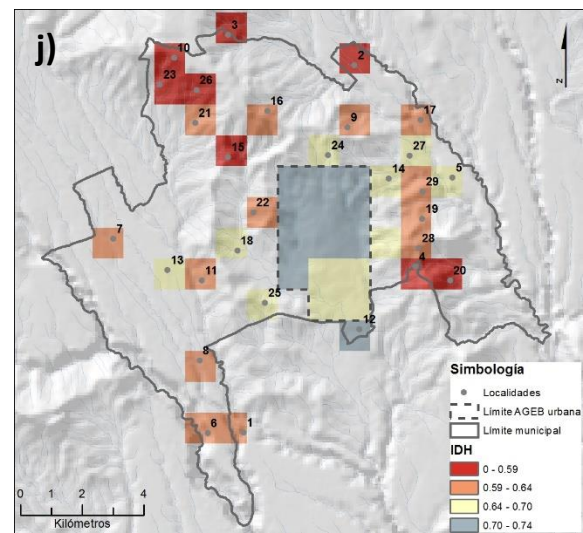
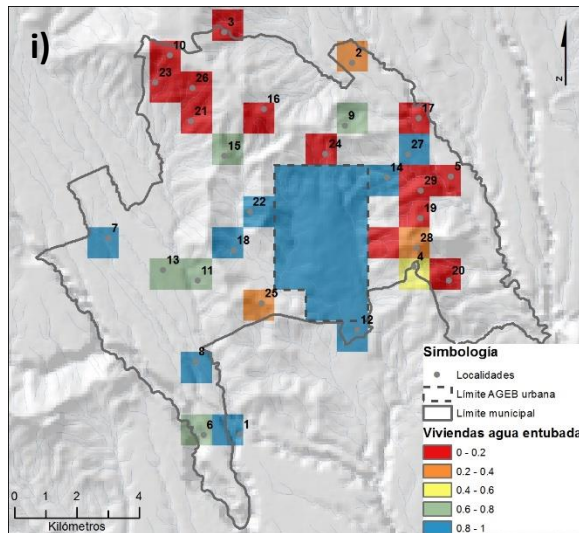
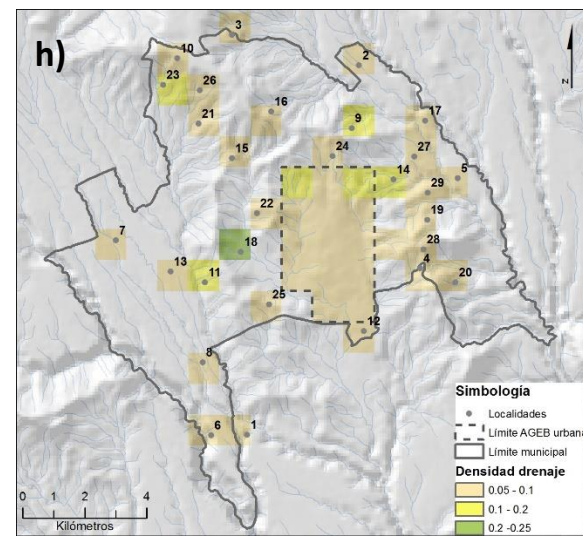
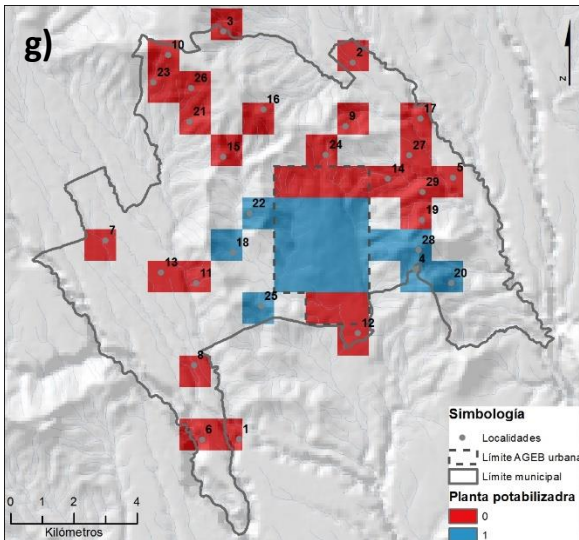
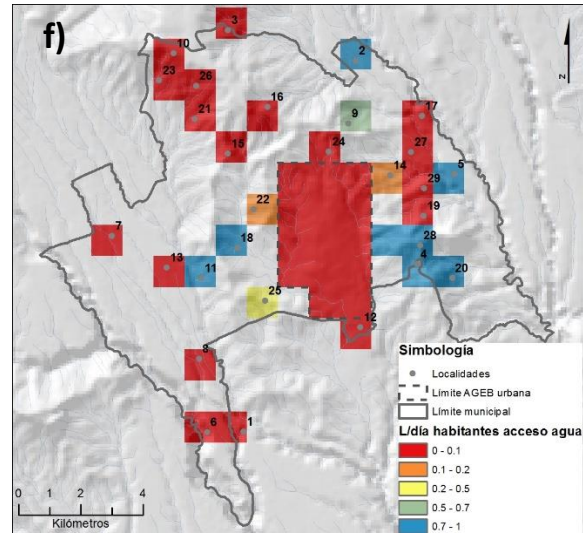
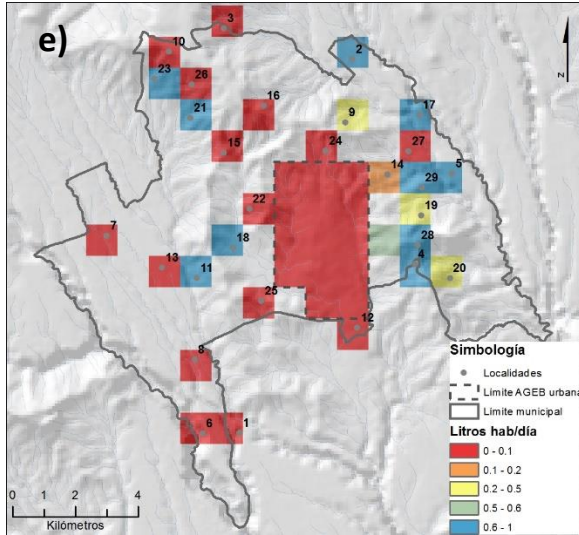




Figura 4.6. Mapas de indicadores fuzificados del sistema social.

Una vez ponderados y fuzificados estos indicadores individuales en un mapa final (Figura 4.7) se observa que la localidad llamada La Falda presenta el valor más bajo (0.30), seguida de Ahuacatlán, El Rincón, Plan de San Miguel, San Miguel Laderas, Mesón Juárez y Tlacoachaca; respondiendo principalmente al comportamiento de los indicadores de Ocupantes de viviendas particulares que disponen de agua entubada, Porcentaje de viviendas particulares que cuentan con servicio de agua entubada, Acceso a aprovechamientos dentro del entorno de la localidad, Disponibilidad de planta potabilizadora e Índice de Desarrollo Humano que señalan que los mayores esfuerzos para satisfacer las necesidades de los habitantes se concentran hacia la cabecera municipal, restándole atención a las localidades que se encuentran principalmente en la porción noroeste del municipio.

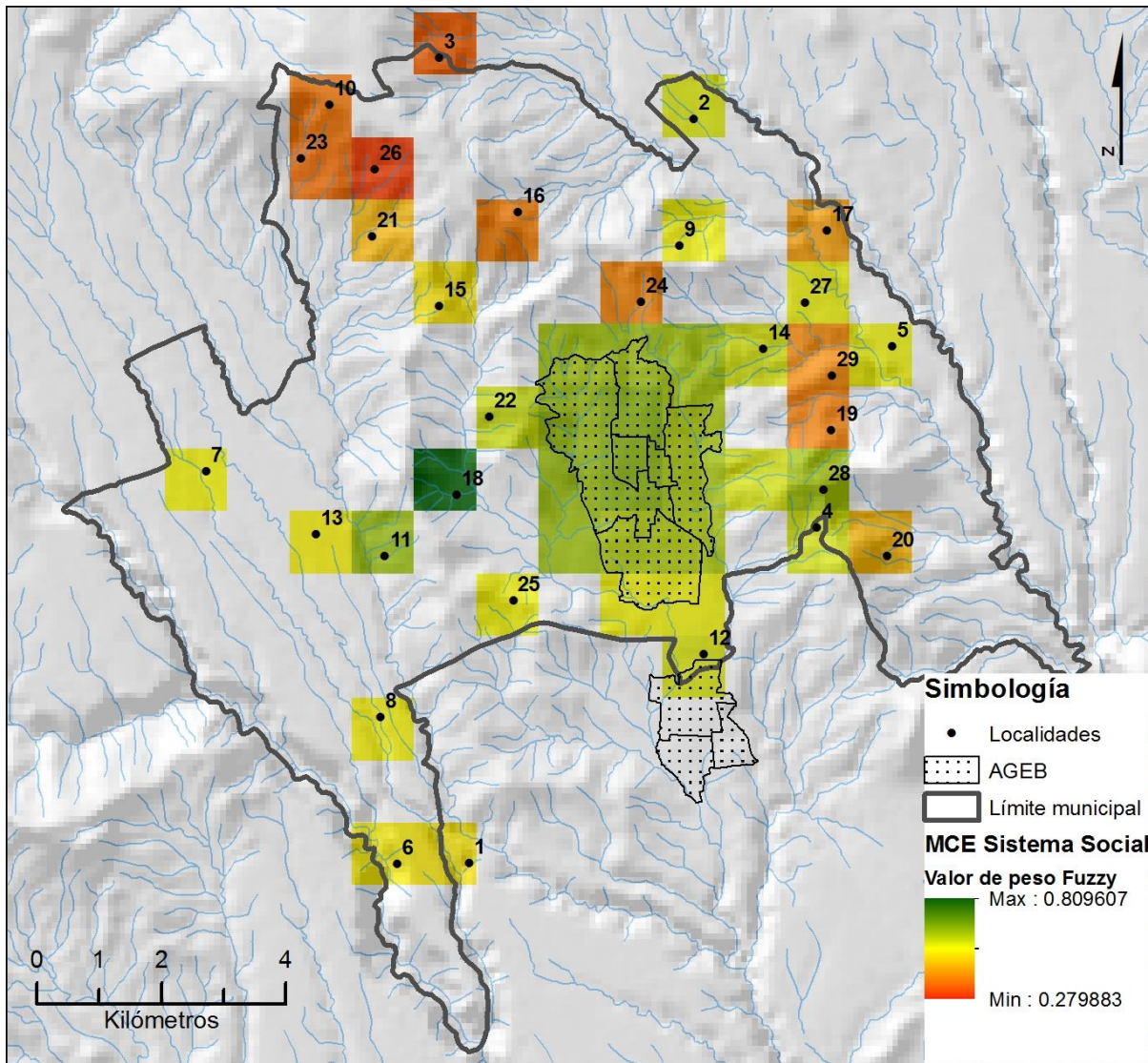
De igual forma, se observa que existen localidades con valores muy bajos en servicios básicos como el acceso a sanitarios o viviendas con acceso a drenaje, situación que afecta a poblaciones de la porción Este de la zona de estudio como Yautepec y los asentamientos humanos cercanos al residencial Rancho San Diego. Sin embargo, la cabecera municipal no cuenta con los valores más altos en todos los rubros evaluados, ya que presenta la puntuación más baja en los indicadores de Agua disponible por habitante (L/hab/día) y Agua disponible por personas con acceso al agua, situación que se explica debido al bajo caudal que ha sido concesionado para este centro urbano, el cual es insuficiente para el número de habitantes que ahí se concentran.

Otro indicador que tiene un impacto negativo sobre el área de la cabecera municipal es el de la población flotante, que aumenta en ciertos periodos del año debido a actividades turísticas, llegando a presentar aumentos anuales de hasta 1,850,000 personas que necesariamente requieren abastecimiento de agua durante su estancia, sobre este aspecto habrá que señalar que las actividades realizadas por actividad turística en el municipio exigen un alto volumen de recursos hídricos, ya que predominan dentro de sus prácticas recreativas las actividades acuáticas.

Un aspecto a resaltar es que la zona de la cabecera municipal no tiene un comportamiento uniforme en varios de los indicadores, mostrando valores menos favorables en la porción sur de las AGEB con respecto a los índices de desarrollo humano, marginación, servicios de salud y educación; concentrando los valores más convenientes para la gestión en la zona norte de la cabecera municipal, en las partes con mayor afluencia turística y que por consecuencia reciben más directamente los beneficios de esta actividad terciaria.

En términos del peso que ejercen los indicadores dentro de este sistema, la ponderación muestra una distribución equitativa en términos generales, esto a partir de las encuestas aplicadas a expertos, quienes no destacaron de manera clara uno o varios indicadores como los que tienen mayor peso dentro del sistema. Otro aspecto que pudo haber influenciado este comportamiento es la cantidad de indicadores considerados para su ponderación, ya que, al tratarse de un número

elevado, se pudieron desvanecer algunos límites entre los conceptos planteados, además de que como ya se señaló, el aumento en el número de indicadores genera una disminución en el índice de consistencia.



1	Coaxusco	9	Los Naranjos	17	Santa Ana Xochuca	25	Colonia Linda Vista
2	El Abrojo	10	Plan de San Miguel	18	Tecomatepec	26	La Falda
3	Ahuacatlán	11	El Refugio	19	Tlacoachaca	27	Llano De San Diego
4	Rancho San Diego	12	El Salitre	20	Yautepec	28	Mesón Dos
5	Llano de la Unión	13	Mesón Alejo	21	Yerbas Buenas	29	San Pedro Tlacoachaca
6	Malinaltenango	14	San Diego Alcalá	22	Arenal de las Ollas		
7	El Cedrito	15	San Jose del Arenal	23	El Rincón		
8	Mesón Nuevo	16	San Miguel Laderas	24	Mesón Juárez		

Figura 4.7. Mapa ponderado del sistema social.

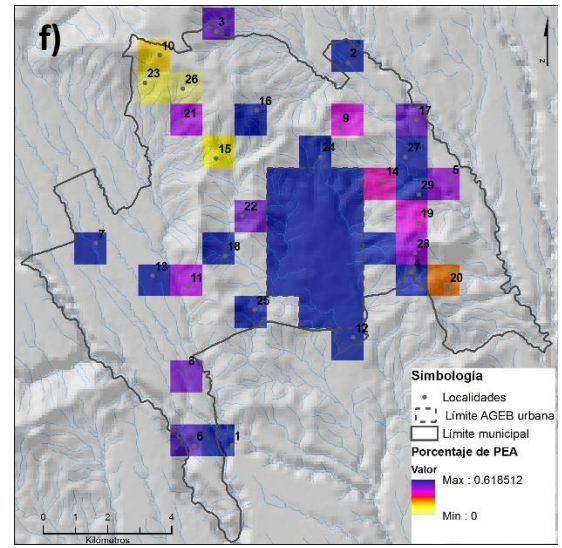
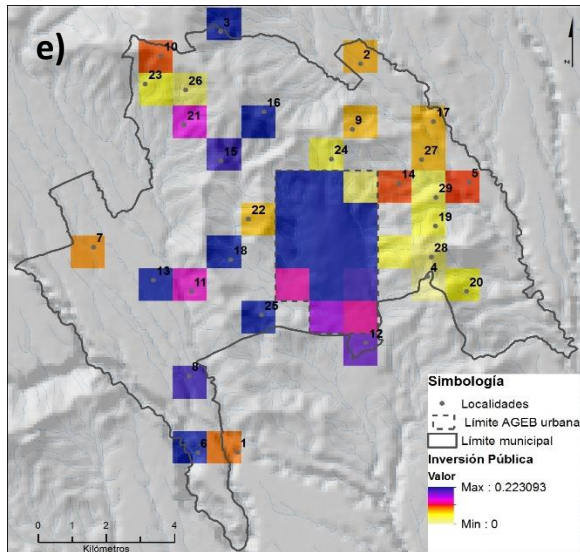
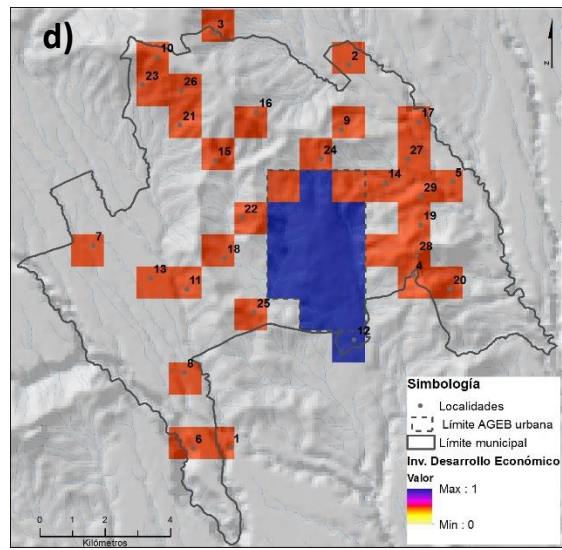
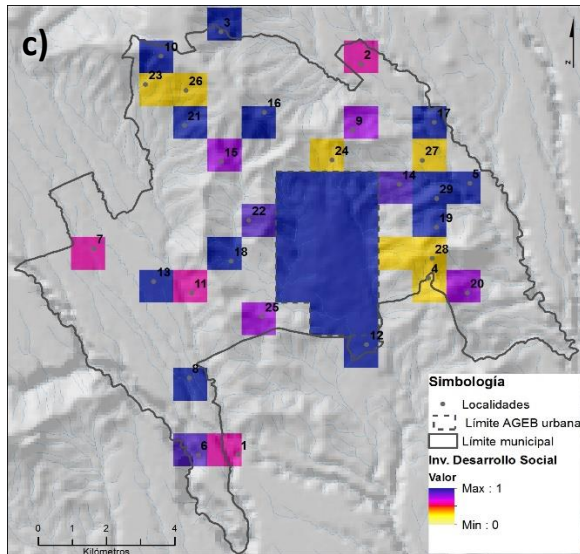
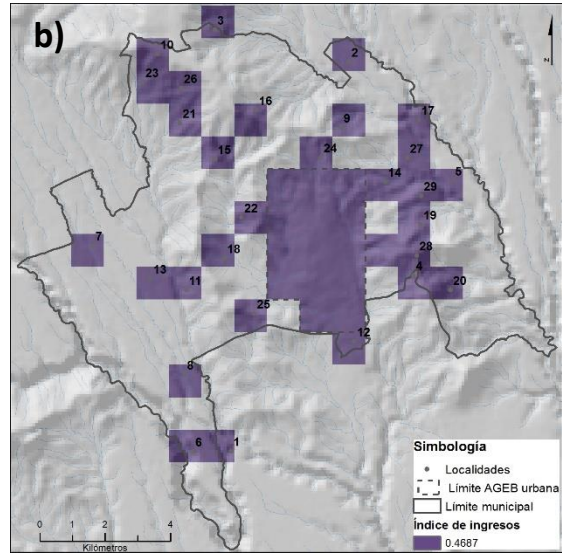
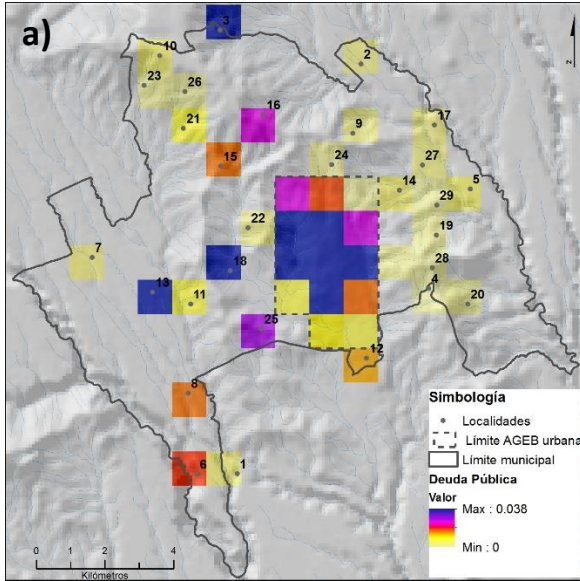
4.4.3. Análisis espacial de los indicadores económicos

La representación espacial de los indicadores fuzificados correspondientes al sistema económico se muestran en la Figura 4.8. En total son diez mapas que muestran la distribución y el valor de **a)** deuda pública, **b)** Índice de ingresos, **c)** Inversión en desarrollo social, **d)** Inversión en desarrollo económico, **e)** Inversión pública, **f)** Población económicamente activa, **g)** Población económicamente activa ocupada, **h)** PIB producto de actividades primarias, **i)** PIB de actividades secundarias y **j)** PIB de actividades terciarias.

La distribución de la mayor parte de estos indicadores sigue, al igual que en los sistemas anteriores, la misma distribución que la ubicación de las localidades y las AGEB urbanas, sin embargo, en los casos del PIB por sector la distribución se hizo, considerando el establecimiento de los sectores productivos.

Para ello, en el caso de las actividades primarias, se recurrió al mapa de uso de suelo, el cual indica las zonas del municipio en los que se llevan a cabo actividades agrícolas, tanto de riego como de temporal. Por otro lado, las actividades secundarias se localizaron mediante el listado del Sistema de Información Empresarial Mexicano (SEIEM) donde se registran las direcciones de los establecimientos, información que sirvió para su ubicación en un mapa mediante el uso de SIG; debido a la escasa actividad manufacturera, este indicador tiene una presencia muy acotada en una parte de la cabecera municipal.

En tercer lugar, el mapa de actividades terciarias se generó ubicando los establecimientos dedicados al hospedaje y a la actividad turística, este sector también tiene una influencia en el comercio y en la industria restaurantera, factores que se tomaron en cuenta para definir aquellas zonas donde se concentran estas prácticas económicas.



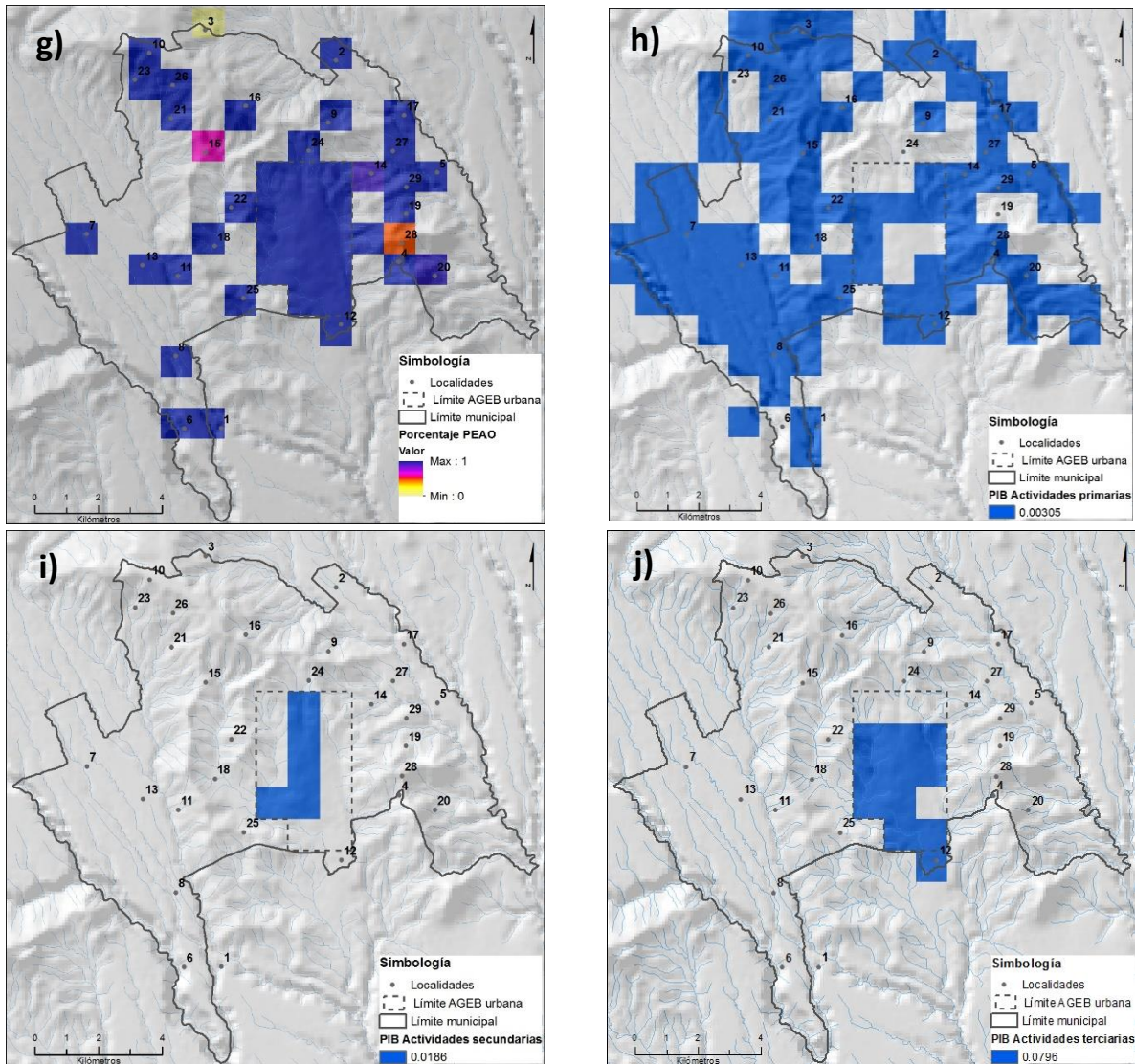
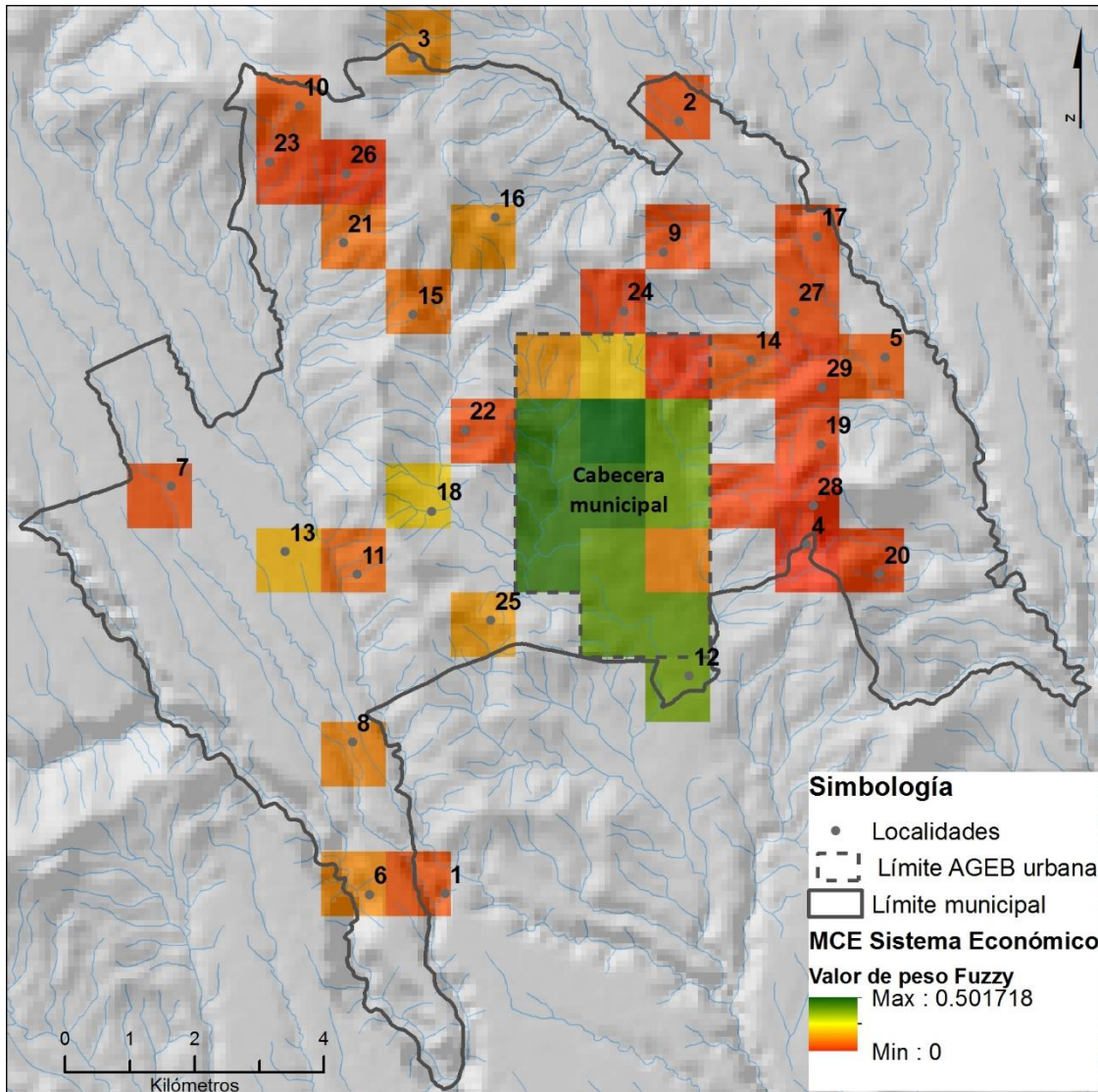


Figura 4.8. Mapas de indicadores fuzificados del sistema económico.

El mapa que representa el comportamiento en conjunto del sistema económico del municipio presenta la distribución de los valores más altos concentrados en la cabecera municipal, tal es el caso del indicador Deuda pública, donde las unidades territoriales con mayor densidad de habitantes muestran mayor deuda; sobre el Índice de ingresos, la distribución de estos datos es la misma en todo el municipio, por lo cual no fue posible mostrar alguna diferencia en ingresos en las localidades. Los valores del indicador de Inversión en desarrollo social se definieron a partir de la ubicación de escuelas, centros de salud, bibliotecas, equipamiento deportivo y recreativo descrito en el plan de desarrollo municipal, de igual manera se consideró la cobertura de médicos y profesores por número de habitantes, el mapa muestra una distribución de valores altos a lo largo del municipio, sin embargo, se presentan localidades con valores muy bajos principalmente en la zona este y norte del municipio, siendo las comunidades más afectadas El Rincón y La Falda.



1	Coaxusco	9	Los Naranjos	17	Santa Ana Xochuca	25	Colonia Linda Vista
2	El Abrojo	10	Plan de San Miguel	18	Tecomatepec	26	La Falda
3	Ahuacatlán	11	El Refugio	19	Tlacoachaca	27	Llano De San Diego
4	Rancho San Diego	12	El Salitre	20	Yautepec	28	Mesón Dos
5	Llano de la Unión	13	Mesón Alejo	21	Yerbas Buenas	29	San Pedro Tlacoachaca
6	Malinaltenango	14	San Diego Alcalá	22	Arenal de las Ollas		
7	El Cedrito	15	San Jose del Arenal	23	El Rincón		
8	Mesón Nuevo	16	San Miguel Laderas	24	Mesón Juárez		

Figura 4.9. Mapa ponderado del sistema económico.

4.4 ÍNDICE DE GESTIÓN DE LOS RECURSOS HÍDRICOS

La ponderación mediante AHP de la cartografía resultante de los sistemas ambiental, social y económico del agua generó un mapa en el cual se observa el comportamiento del conjunto de indicadores sobre la parte del territorio municipal que cuenta con datos en los tres sistemas (Figura 4.10).

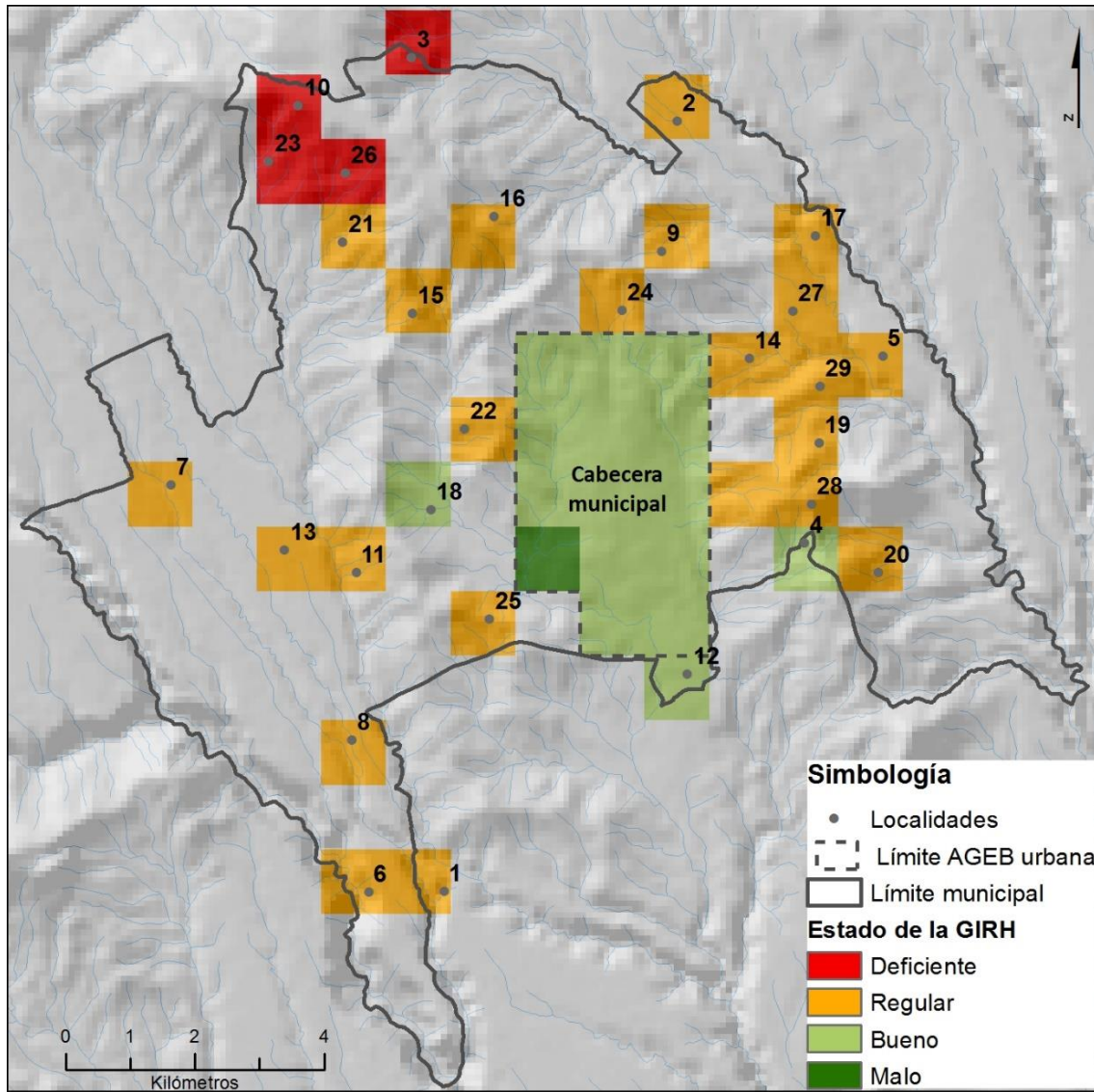
El conjunto de valores se agrupó en cuatro partes porcentualmente iguales (cuartiles) que fueron clasificadas en función de la representatividad que tienen del estado del sistema integral de los recursos hídricos en el municipio, resultando en las siguientes categorías: **Deficiente:** 0 - 0.25, **Regular:** 0.25 – 0.50, **Bueno:** 0.50 – 0.75, **Óptimo:** 0.75 – 1.

Los resultados muestran que cuatro localidades (Coaxusco, Ahuacatlán, El Rincón y La Falda) se encuentran en el rango de “Deficiente” con valores inferiores a 0.25, representando el 9% del área analizada dentro del municipio y el 6% de la población total con 2090 habitantes, destacando que la localidad de Ahuacatlán es la tercera más importante en número de habitantes se refiere.

La categoría “Regular” es la más representativa en términos de área, considerando 23 localidades que en conjunto equivalen al 52% de las unidades territoriales con información, a pesar de esto, estas localidades representan el 33% del total de población del municipio, es decir, que s

La categoría “Bueno” es la segunda más numerosa en términos de extensión territorial, abarcando tres localidades rurales y la mayor parte de la cabecera municipal, cubriendo así, el 36% del territorio que muestra información espacial en los tres sistemas. En contraste con la categoría “Regular”, estas localidades y AGEB urbanas concentran el 59% de la población total del municipio destacando su importancia para la Gestión integrada de los Recursos Hídricos de la zona de estudio.

Para la categoría “Óptimo” se observa que solamente el 1% de las unidades territoriales cuentan con esta valoración, presentándose en la porción suroeste de la cabecera municipal, concentrando solamente el 2% de la población total del municipio.



1	Coaxusco	9	Los Naranjos	17	Santa Ana Xochuca	25	Colonia Linda Vista
2	El Abrojo	10	Plan de San Miguel	18	Tecomatepec	26	La Falda
3	Ahuacatlán	11	El Refugio	19	Tlacoachaca	27	Llano De San Diego
4	Rancho San Diego	12	El Salitre	20	Yautepec	28	Mesón Dos
5	Llano de la Unión	13	Mesón Alejo	21	Yerbas Buenas	29	San Pedro Tlacoachaca
6	Malinaltenango	14	San Diego Alcalá	22	Arenal de las Ollas		
7	El Cedrito	15	San José del Arenal	23	El Rincón		
8	Mesón Nuevo	16	San Miguel Laderas	24	Mesón Juárez		

Figura 4.10. Mapa del estado de la Gestión Integrada de Recursos Hídricos en Ixtapan de la Sal.

De acuerdo con el mapa resultante, el nivel más bajo del estado de la GIRH se encuentra en noroeste del municipio, esto responde a la baja valoración que se obtuvo en los mapas ponderados de cada uno de los sistemas. El sistema ambiental influye en esta valoración ya que a pesar de tener mejores valores en los indicadores de precipitación y temperatura no está bien valorado en los indicadores de almacenamiento, tratamiento de aguas residuales y manejo de residuos sólidos.

Por su parte, el sistema social es el que tiene una mayor influencia dado que los indicadores de ocupantes de vivienda con acceso al agua, el acceso a aprovechamientos, el caudal correspondiente a cada localidad entre el número total de habitantes y el número de habitantes que tiene acceso al agua, además de tener los valores más bajos en el indicador de acceso a aprovechamientos dentro de la localidad, no se cuenta con planta potabilizadora, presenta los valores más bajos en viviendas con agua entubada y fundamentalmente en los índices de marginación y desarrollo humano. Por último, el sistema económico tiene una influencia que se observa principalmente en los indicadores de Inversión Pública, Inversión en Desarrollo Económico y Social, y la Población Económicamente Activa.

En conjunto, se identifica que las localidades de Coaxusco, Ahuacatlán, El Rincón y La Falda son las que requieren una atención prioritaria en términos de Gestión Integrada de Recursos Hídricos ya que se encuentran en clara desventaja con respecto al resto de las localidades del municipio.

La categoría “Regular” abarca la mayor parte de las localidades restantes, con excepción de Rancho San Diego, El Salitre y Tecomatepec, se observa que el estado de la GIRH es apenas aceptable, teniendo una influencia importante los indicadores del sistema ambiental como las unidades hidrogeológicas, que no se cuenta con sistemas de almacenamiento de agua, las aguas residuales no son tratadas y no se cuenta con un programa de manejo de residuos sólidos en la mayoría de los casos.

Los indicadores del sistema social también influyen en esta categoría, destacando el caudal correspondiente a cada localidad entre el número total de habitantes y el número de habitantes que tiene acceso al agua, que el mayor número de localidades no cuenta con planta potabilizadora para cubrir los requerimientos de calidad óptimos para su consumo, además de que el índice de educación presenta los valores más bajos en las localidades rurales, y en general en el Índice de Desarrollo Humano.

En tercera instancia, los indicadores del sistema económico que más impactan en esta categoría son, en primer lugar, la inversión en desarrollo social, que es el segundo con mayor peso ponderado, y el PIB tanto de actividades secundarias como de actividades terciarias, los cuales están centralizados en una parte de la cabecera municipal y no distribuidos homogéneamente en el municipio.

Los valores que comprenden la categoría “Bueno” se concentran en la cabecera municipal y en tres localidades que se encuentra próximas a ésta (Rancho San Diego, El Salitre y Tecomatepec). Los aspectos que contribuyen a asignarle un valor positivo a estas unidades territoriales son el manejo de residuos sólidos y el tratamiento de aguas residuales, que, si bien no se encuentra implementado para la totalidad de las colonias que comprenden la cabecera municipal, se canalizan la mayor parte de ellas hacia la planta de tratamiento. El contar con un sistema de almacenamiento de agua para consumo humano también es un factor benéfico, a pesar de que este no permita abastecer a la población por un tiempo prolongado, pero si es una herramienta para enfrentar contingencias y eventos de escasez.

En el aspecto social, si bien se tienen valores negativos en los indicadores de densidad de población, población flotante y el caudal correspondiente a cada localidad tanto entre el número total de habitantes como entre el número de habitantes que tiene acceso al agua; los indicadores de viviendas con agua entubada, las viviendas con drenaje. El acceso a sanitario y el contar con una planta potabilizadora contribuyen a que los valores sean más positivos que negativos, además de que una parte de esta zona tuvo los valores más altos en el índice de marginación y el índice de desarrollo humano.

En referencia al sistema económico, los indicadores que más han favorecido a esta categoría son la inversión tanto en desarrollo social, como en desarrollo económico, lo cual ha favorecido principalmente al sector terciario, motor de la actividad económica en el municipio, aspecto que incide directamente en los indicadores de población económicamente activa y población económicamente activa ocupada.

Finalmente, la categoría “Óptimo” se encuentra en presente en la porción suroeste de la cabecera municipal, dentro del polígono definido por las AGEB urbanas, esta zona cuenta con los factores positivos que le dan la categoría de “Bueno” a la cabecera municipal, pero mejora en otros aspectos, como son las unidades hidrogeológicas, la densidad de población, y la presencia de actividades del sector secundario, además de tener un valor bajo en el índice de marginación y tener cubiertos los aspectos de calidad de los recursos hídricos, como es la presencia de una planta potabilizadora, manejo de residuos y que las aguas residuales son canalizadas a una planta tratadora de aguas residuales.

Capítulo 5 – Conclusiones

Con fundamento en los resultados obtenidos en los apartados anteriores, se expone una serie de conclusiones que se listan a continuación.

El estudio del estado de los recursos hídricos en Ixtapan de la Sal se realizó a través del enfoque de la Gestión Integrada de Recursos Hídricos, dividiendo la problemática en 3 sistemas: Ambiental, Social y Económico lo que permitió identificar mediante trabajo de campo y gabinete las variables que tienen una influencia preponderante en la configuración del municipio, entre las que destacan:

- a) La dinámica del sistema hidrogeológico en el municipio ha condicionado la disponibilidad de recursos hídricos para los pobladores de la zona, ya que se trata de una región con alta complejidad, donde se presentan rocas de origen ígneo, sedimentario y metamórfico, predominando estas últimas en el basamento de la porción central del municipio, lo que restringe el almacenamiento y transferencia de agua en volúmenes adecuados para el abastecimiento de la población.
- b) Bajo este contexto, se generó un modelo del aprovechamiento del agua superficial, destacando que el abastecimiento de agua en Ixtapan de la Sal depende en mayor medida de la concesión que llega al municipio a través de un canal a cielo abierto donde, al momento de realizar los trabajos de campo, se identificó que el mayor volumen le corresponde a la empresa Nueva Ixtapan (158.7 l/s), seguido por el distrito de riego (90 l/s) y el OPDAPAS con 16.2 l/s concesionados. Aunado a esto, existen localidades que no cuentan con el servicio proporcionado por OPDAPAS, lo que las deja en una situación marginal para disponer de agua tanto en cantidad como en calidad. Este factor influye directamente en la calidad de vida de la población que no se encuentra dentro del área de influencia de la cabecera municipal.
- c) En contraste, las características geológicas que restringen el abastecimiento de agua, han permitido que, por otro lado, Ixtapan de la Sal destaque en el ámbito turístico, ya que la emergencia de manantiales de aguas termales ha sido un factor importante para el desarrollo económico de la zona, fomentando el surgimiento de parques acuáticos y

actividades relacionadas con el turismo recreativo y medicinal debido a las propiedades hidroquímicas de las aguas termales, que se consideran benéficas para la salud.

- d) En este sentido, el municipio presenta un flujo importante de turistas que se acentúa en épocas vacacionales, lo cual aumenta considerablemente los requerimientos de agua para cubrir las necesidades tanto de los visitantes como de los residentes, factor que aumenta la presión sobre los recursos hídricos, restringiendo la disponibilidad per cápita de agua.
- e) La ocupación económica está cargada principalmente hacia el sector terciario, el cual ha mantenido un crecimiento constante en detrimento del sector primario, principalmente a partir de la década de los ochenta. Este factor destaca la dependencia de la disponibilidad de los recursos hídricos para mantener y desarrollar las actividades económicas predominantes en el municipio.
- f) La falta de disponibilidad de agua en el municipio puede ser un factor que limite el crecimiento económico mediante la inversión en el sector secundario, condicionándose así el desarrollo del municipio y de la población.
- g) El análisis histórico de sistema social permitió entender la importancia que han tenido los recursos hídricos en la organización social a lo largo de cientos de años, definiéndose tres etapas principales en la historia del municipio: México prehispánico, Época colonial y Época reciente; cada una con sus particularidades que han sido definidas principalmente por el aprovechamiento de los recursos hídricos termales y la escasez del agua superficial.
- h) La escasez de recursos hídricos en el municipio ha generado algunos conflictos sociales e inconformidad por parte de la población, la cual se ha manifestado impidiendo la instalación de nueva infraestructura a cambio de que se le proporcione el servicio de agua potable.

Las variables identificadas en el proceso de caracterización fueron ordenadas en modelos conceptuales, en los que se distinguen las entradas, procesos y salidas de cada uno de los sistemas, además de las interrelaciones que existen entre variables, facilitando así el proceso de selección de indicadores que juegan un papel preponderante en su respectivo sistema.

Debido a que la información geográfica proporcionada por el INEGI representa a las localidades rurales como puntos y no como polígonos, los indicadores correspondientes a cada sistema se representaron sobre el territorio municipal teniendo como base una malla de 1 x 1 km, lo cual permitió considerar un área de influencia de cada localidad sobre su territorio inmediato, teniendo así una mayor representatividad a nivel municipal; asimismo, esta malla permitió

empatar la información climática generada por WorldClim con la información a nivel localidad, ya que la escala en la que se publica esta información también es de 1 x 1 km.

La aplicación del Proceso Analítico Jerárquico permitió ponderar los indicadores representativos de los sistemas mediante una consulta a expertos, principalmente del ámbito académico, facilitando así la identificación de los indicadores que tienen mayor peso en la configuración de los sistemas ambiental, social y económico.

El uso de lógica difusa para la normalización de los valores máximos y mínimos de cada indicador arrojó mapas con valores dentro del rango de 0 y 1 permitiendo así, realizar procesos analíticos entre información espacial que presenta unidades de medición diferentes entre un indicador y otro.

La sobreposición de los indicadores espacializados generó mapas en los que se muestran las AGEB o localidades en un rango de valoración del estado de la Gestión Integrada de Recursos Hídricos mediante categorías que pueden ser: “Deficiente”, “Regular”, “Bueno” y “Óptimo”, dependiendo de qué tan positivo o negativo sea su presencia dentro del territorio. Con esto, fue posible identificar las partes del territorio que requieren atención prioritaria para mejorar su estado en términos de gestión.

BIBLIOGRAFÍA

- Aboites, L. (2004) «De bastión a amenaza. Agua, políticas públicas y cambio institucional en México, 1947-2001» en *El futuro del agua en México*. Guadalajara, Jalisco, Universidad de Guadalajara, El colegio de México, 89-113.
- AGUA.org y Fondo para la Comunicación y la educación Ambiental, A.C. (2013) *Guía para Municipios en Materia de Gestión Integrada de Recursos Hídricos*.
- Aguirre, M. (2011) *La cuenca hidrográfica en la gestión integrada de los recursos hídricos*. REDESMA, 5(1), 10-20.
- Alaniz-Álvarez, S. A. y Nieto-Samaniego, A. F. (2005) *El sistema de fallas Taxco-San Miguel de Allende y la Faja Volcánica Transmexicana, dos fronteras tectónicas del centro de México activas durante el Cenozoico*. Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana, 57(1), 65–82.
- Anderies, J. M., Janssen, M. A., y Ostrom, E. (2004) *A framework to analyze the robustness of social-ecological systems from an institutional perspective*. Ecology and Society, 9(1), 18.
- Astorga, Y. (2013) *Guía para la aplicación de la Gestión Integrada del Recurso Hídrico (GIRH) a nivel municipal.*, Tegucigalpa, M.D.C., Honduras, Global Water Partnership Central America.
- Batllore, Eduardo, González, Julio, Díaz, Julio, y Febles, José luís (2006) *Caracterización hidrológica de la region costera noroccidental de Yucatan*. Investigaciones Geográficas, (59), 74-92.
- Boyd, D. R. (2003) *Unnatural law: rethinking Canadian environmental law and policy*, Vancouver, UBC Press.
- Burton, J. (2003) *Integrated water resources management on a basin level : a training manual*, Paris; Sainte-Foy (Québec), UNESCO ; Éditions MultiMondes.
- Calizaya, A., Meixner, O., Bengtsson, L., y Berndtsson, R. (2010) *Multi-criteria Decision Analysis (MCDA) for Integrated Water Resources Management (IWRM) in the Lake Poopo Basin, Bolivia*. Water Resources Management, 24(10), 2267-2289.
- Campa, M. F. (1978) *La evolución Tectónica de Tierra Caliente, Guerrero*. Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana, XXXIX(2), 52-64.
- Campa, M. F., de León, R. T., Iriondo, A., y Premo, W. R. (2012) *Caracterización geológica de los ensambles metamórficos de Taxco y Taxco el Viejo, Guerrero, México*. Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana, 64(3), 369–385.
- Cap-Net (2010) *Gestión de aguas subterráneas en la GIRH. Manual de capacitación.*, Cap-Net.

- Cap-Net (2008) *Gestión integrada de los recursos hídricos para organizaciones de cuencas fluviales*, Pretoria, Sudáfrica, UNDP.
- CONAGUA (2011a) *Agenda del Agua 2030*, México, D.F., SEMARNAT.
- CONAGUA (2009a) Atlas del agua en México 2009 [1]. [en línea] C:\Biblioteca\Academico\Hidrología\Hidrología México\SEMARNAT Atlas del agua en México 1 [2009].pdf.
- CONAGUA (2009b) Atlas del agua en México 2009 [2]. [en línea] C:\Biblioteca\Academico\Hidrología\Hidrología México\SEMARNAT Atlas del agua en México 2 [2009].pdf.
- CONAGUA (2008a) *Estadísticas del Agua de la Región Hidrológico-Administrativa XIII, Aguas del Valle de México.*, CONAGUA.
- CONAGUA (2011b) Estadísticas del agua en México 2011.
- CONAGUA (2013) Estadísticas del agua en México 2013.
- CONAGUA (2008b) *Guía Incorporación de la variable ambiental*, México, D.F., SEMARNAT.
- Consejo Consultivo del Agua A.C. (2011) *La Gestión del Agua en Las Ciudades de México*, México, DF.
- Cotler, Helena (2009) *Lecciones aprendidas del manejo de cuencas en México*, México D.F., Instituto Nacional de Ecología (INE) ;Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) ;Fundación Gonzalo Río Arronte I.A.P. ;WWF la Organización Mundial de Conservación.
- Daniell, K. A. y Barreteau, O. (2014) Water governance across competing scales: Coupling land and water management. *Journal of Hydrology*, 519, 2367-2380.
- FAO (2009) *¿Por qué invertir en ordenación de las cuencas hidrográficas?*, Roma, Italia, FAO.
- Fasciolo, G., Puebla, P., Mendoza, V., y Cifuentes, O. (2011) *Construcción de indicadores de gestión de cuencas: Marco teórico, ejemplos y casos*, Buenos Aires, Argentina, Cap-Net.
- Feás, J. (2008) Una metodología multicriterio para la gestión sostenible de recursos hídricos.
- Gobierno del Estado de México (2008) Plan Estatal de Desarrollo sustentable del Estado de México. [en línea] C:\Biblioteca\Academico\Geografía\Geografía de México\Atlas Plan Estatal de Desarrollo Estado de México\Plan estatal de desarrollo urbano.pdf.
- Gobierno Municipal de Ixtapan de la Sal (2013) Plan de Desarrollo Municipal Ixtapan de la Sal 2013-2015.

- Gobierno Municipal de Ixtapan de la Sal (2003) Plan Municipal de Desarrollo Urbano de Ixtapan de la Sal, Estado de México.
- Günther, G. (2010) «Entre el lucro y la desigualdad: los servicios de agua potable en el Distrito Federal.» en (in)justicia social, identidad e (in)equidad retos de la modernidad. México, D.F, Universidad Autónoma Metropolitana (UAM), Unidad Xochimilco, División de Ciencias Sociales y Humanidades, Departamento de Política y Cultura, 255-284.
- GWP y INBO (2009) *Manual para la Gestión Integrada de Recursos Hídricos en Cuencas*, U.K.
- Hajkovicz, S. y Higgins, A. (2008) A comparison of multiple criteria analysis techniques for water resource management. *European Journal of Operational Research*, 184(1), 255-265.
- Ho, W. (2008) Integrated analytic hierarchy process and its applications – A literature review. *European Journal of Operational Research*, 186(1), 211-228.
- INEGI y SEMARNAP (2000) *Indicadores de desarrollo sustentable en México*, Instituto Nacional de Ecología. [en línea]
- Instituto Nacional para el Federalismo y el Desarrollo Municipal (2010) Fondos de inversión 1998-2010.
- Juan, J. A. (1994) La hidrogeoquímica y su aplicación en la región de Ixtapan de la Sal - Tenancingo, Estado de México.
- Karnib, A. (2004) An Approach to Elaborate Priority Preorders of Water Resources Projects Based on Multi-Criteria Evaluation and Fuzzy Sets Analysis. *Water Resources Management*, 18, 13-33.
- Liberatore, M. J. y Nydick, R. L. (2008) The analytic hierarchy process in medical and health care decision making: A literature review. *European Journal of Operational Research*, 189(1), 194-207.
- López, E. (1980) *Geología de México*, México, D.F., Escolar.
- Maceira, D., Kremer, P., y Finucane, H. (2007) El desigual acceso a los servicios de agua corriente y cloacas en la Argentina. *Políticas Públicas Análisis No 39*. [en línea] http://cofes.org.ar/descargas/info_sector/Agua_y_Economia/El_desigual_acceso_agua_potable_Cippec.pdf (Accedido octubre 12, 2015).
- Martín, B., Gómez, E., y Montes, C. (2009) Un marco conceptual para la gestión de las interacciones naturaleza-sociedad en un mundo cambiante. *Cuaderno Interdisciplinar de Desarrollo Sostenible (CUIDES)*, (3), 229–258.
- Martín, J. y Vecino, J. B. (2007) Método multicriterio para apoyo a la planificación hídrica. *Observatorio Medioambiental*, 10, 57–77.

- Mesa, P., Martín-Ortega, J., y Berbel, J. (2008) Análisis multicriterio de preferencias sociales en gestión hídrica bajo la Directiva Marco del Agua. *Economía Agraria y Recursos Naturales*, 8(2), 105–126.
- Molina, J. L. (2009) Análisis integrado y estrategias de gestión de acuíferos en zonas semiáridas. Aplicación del caso de estudio del Altiplano (Murcia, SE Spain).
- Moreno, J. M. (2002) El Proceso Analítico Jerárquico (AHP), fundamentos, metodología y aplicaciones.
- Moreno, J. M., Aguarón, J., y Escobar, M. (1998) Validez, robustez y estabilidad en decisión multicriterio. Análisis de sensibilidad en el proceso analítico jerárquico. *Revista de la Real Academia de Ciencias Exactas Físicas y Naturales*, 92(4), 387-397.
- Moriarty, P., Butterworth, J., y Batchelor, C. (2006) *La gestión integrada de los recursos hídricos y el subsector de agua y saneamiento doméstico*, International Water and Sanitation Centre.
- Niemeijer, D. y De Groot, R. S. (2008) A conceptual framework for selecting environmental indicator sets. *Ecological Indicators*, 8(1), 14-25.
- ONU (2010) El derecho humano al agua y al saneamiento.
- ONU (2000) «Resolución 55/2 de la Asamblea General de la Organización de las Naciones Unidas.» en New York, NY, ONU. [en línea] <http://www.un.org/millennium/declaration/ares552e.htm>.
- Pires, A. (2015) Multi-criteria and Participatory Approach to Socio-Economic, Environmental and Institutional Indicators for Sustainable Water Use and Management at River Basin Level.
- PNUD (2010) Índice de Desarrollo Humano (IDH) para las entidades federativas (2008, 2010 y 2012).
- Polanco, C. (2006) Indicadores ambientales y modelos internacionales para toma de decisiones. *Gestión y Ambiente*, 9(2), 27-41.
- Prato, T. y Fulcher (1998) «Protecting soil and water resources through multiobjective decision making.» en S. A. El-Swaify y D. S. Yakowitz (eds.), *Multiple objective decision making for land, water, and environmental management : proceedings of the First International Conference on Multiple Objective Decision Support Systems (MODSS) for Land, Water and Environmental Management: Concepts, Approaches, and Applications*. Lewis Publishers.
- Quiroga, R. (2009) *Guía metodológica para desarrollar indicadores ambientales y de desarrollo sostenible en países de América Latina y el Caribe*, Santiago de Chile, Naciones Unidas, CEPAL.

- Quiroga, R. (2007) *Indicadores ambientales y de desarrollo sostenible: avances y perspectivas para América Latina y el Caribe*, Santiago de Chile, CEPAL.
- Ramírez, M. (2004) El método de jerarquías analíticas de Saaty en la ponderación de variables. Aplicación al nivel de mortalidad y morbilidad en la provincia del chaco.
- Royuela, M. A. (2001) «Los Sistemas de Indicadores Ambientales y su Papel en la Información e Integración del Medio Ambiente» en I Congreso de Ingeniería Civil, Territorio y Medio Ambiente. [en línea] http://www.ciccp.es/webantigua/icitema/Comunicaciones/Tomo_II/T2p1231.pdf (Accedido julio 31, 2014).
- Saaty, T. L. (1990) How to make a decision: The Analytic Hierarchy Process. *European Journal of Operational Research*, 48, 9-26.
- Sandre, Is. y Murillo, D. (2008) *Agua y Diversidad Cultural en México*, Montevideo, Uruguay, PHI-LAC. [en línea] C:\Biblioteca\Academico\Hidrología\Hidrología México\ [UNESCO, PHI] Agua y diversidad cultural en México.pdf.
- SECTUR, GEM, FONATUR, y UAEM (2013) *Agenda de competitividad Ixtapan de la Sal 2013-2018*,
- SIIMA (2001) *Estudio de evaluación geohidrológica en el acuífero de Tenancingo, Edo. de México.*, Toluca, México., CONAGUA.
- Sistema Municipal de Base de Datos (SIMBAD) (2010) Egresos municipales 1998-2008.
- UNESCO, IHP, y NARBO (2009) *Introduction to the IWRM Guidelines at River Basin Level*, UNESCO; IHP; NARBO.
- UNESCO, IHP, World Water, y NARBO (2008) *IWRM Guidelines at River Basin Level | Part 2-1 The Guidelines for IWRM Coordination*, UNESCO.
- Vargas, S. (2010) *Guía para la construcción de consensos en la gestión integrada del agua*, México, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua ;Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales ;Comite Nacional Mexicano Programa Hidrológico Internacional.
- Vrba, J. y Lipponen, A. (2007) *Groundwater Resources Sustainability Indicators*, UNESCO. [en línea] C:\Biblioteca\Academico\Hidrología\Ecología\Groundwater resources sustainability indicators [Libro].pdf.
- WWAP (2003) *Agua para todos, agua para la vida. | Informe de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos en el Mundo.*, New York, UNESCO Pub. : Berghahn Books.
- WWP, Technical Advisory Committee (2000) *Manejo integrado de recursos hídricos*, Stockholm, Global water partnership.

Anexos



Encuesta: Usuarios de Recursos Hídricos en Ixtapan de la Sal



Los resultados de la presente encuesta serán parte del trabajo de tesis doctoral titulado “Gestión de Recursos Hídricos en Ixtapan de la Sal”, desarrollado en el Centro Interamericano de Recursos del Agua (CIRA), perteneciente a la Facultad de Ingeniería, de la Universidad Autónoma del Estado de México.

Fecha _____

1. Información General:

- 1.1 Nombre del encuestado: _____
- 1.2 Colonia: _____
- 1.3 Edad: _____
- 1.4 Ocupación: _____

2. Abastecimiento

2.1 ¿Cuáles son las fuentes que abastecen de agua a Ixtapan de la Sal?

2.2 ¿Cuántos días por semana tiene suministro de agua en su casa?

1-2

3-4

5-7

2.3 ¿El agua suministrada en su casa es suficiente para cubrir sus necesidades?

Si

No

2.4 ¿Considera adecuada la tarifa por el servicio del agua?

Si

No

2.5 ¿Considera que algún sector es mayormente beneficiado con el suministro de agua?

Si

No

¿Cuál?

Doméstico

Comercial

Turístico

Agricultura

2.6 ¿Cómo califica el desempeño del Organismo Operador del Agua?

Bueno

Regular

Malo

2.7 ¿Considera que los canales de comunicación entre la autoridad encargada del manejo del agua y la población funcionan correctamente?

Si

No

¿Por qué?

2.8 Considera que la cantidad de agua que se destina a la actividad turística es:

Adecuado

Excesivo

Insuficiente

¿Por qué?

3. Problemática

3.1 ¿Qué problemas relacionados con el agua ha detectado en el municipio?

3.2 ¿Ha detectado algún problema relacionado con el manejo del agua termal?

Si

No

¿Cuáles?

3.3. ¿El agua termal influye de manera directa o indirecta con alguna de sus actividades?

Si

No

¿Cuáles?

3.4 ¿Qué acciones considera que se deberían tomar para mejorar el estado de los recursos hídricos en su municipio?

3.5 ¿En qué medida el cambio de actividad agrícola a turística ha beneficiado al municipio?

Mucho

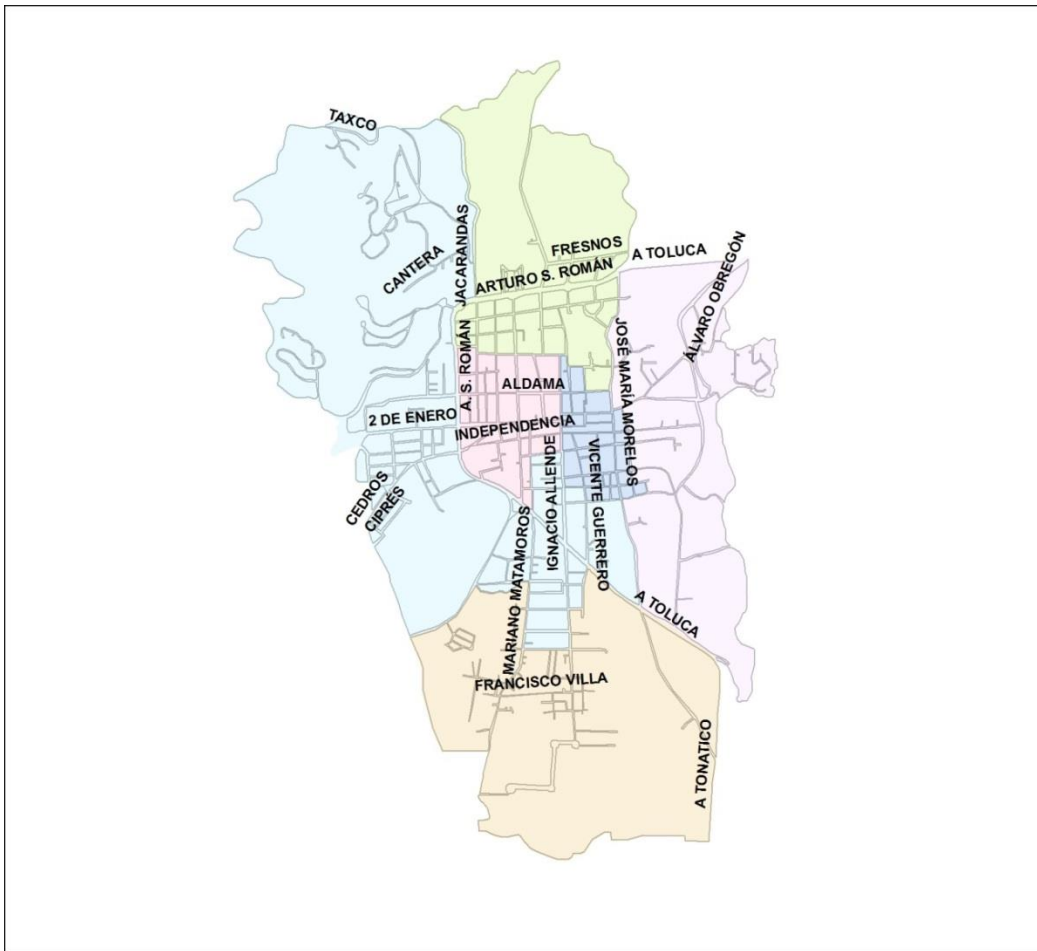
Poco

Nada

3.6 ¿Qué sector considera que debería tener mayor atención para resolver sus problemas hídricos? (Asigne un valor considerando que 1 tiene mayor peso y 5 menor peso).

- Doméstico
- Comercial
- Turístico
- Agropecuario
- Industrial

Con la finalidad de identificar el acceso a los servicios hídricos en cada zona de Ixtapan de la Sal se ha generado un mapa. Favor de marcar la zona en la que se encuentra ubicada su negocio o vivienda.



GRACIAS POR SU COOPERACIÓN.