

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE QUERÉTARO



Facultad de Ciencias Naturales

Facultad de Ingeniería

Facultad de Psicología

Facultad de Filosofía

Facultad de Ciencias Políticas y Sociales

Facultad de Química

Maestría En Gestión Integrada De Cuencas

PROPUESTAS DE MANEJO HÍDRICO CONJUNTO EN LA SUBCUENCA TÁMBULA- PICACHOS, GUANAJUATO

TESIS

Que como parte de los requisitos para obtener el grado de
Maestro en Gestión Integrada de Cuencas

Presenta

Mario Alberto Hernández Hernández

Dirigida por

Dr. Alfredo Amador García

Co-director

Dr. Raúl Francisco Pineda López

Santiago de Querétaro, Qro.

Noviembre del 2010



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE QUERÉTARO

Facultad de Ciencias Naturales
Facultad de Ingeniería
Facultad de Psicología
Facultad de Filosofía
Facultad de Ciencias Políticas y Sociales
Facultad de Química

Maestría en Gestión Integrada de Cuencas

PROPUESTAS DE MANEJO HÍDRICO CONJUNTO EN LA SUBCUENCA TÁMBULA-PICACHOS, GUANAJUATO

TESIS

Que como parte de los requisitos para obtener el grado de
Maestro en Gestión Integrada de Cuencas

Presenta:

Ing. Mario Alberto Hernández Hernández

Dirigido por:

Dr. Alfredo Amador García

Co-director:

Dr. Raúl Francisco Pineda López

SINODALES

Dr. Alfredo Amador García
Presidente

Dr. Raúl Francisco Pineda López
Secretario

Dra. Sonia Tatiana Sánchez Quispe
Vocal

M. en C. Patricia Roitman Genoud
Suplente

Dr. Abel Solera Solera
Suplente

Biol. Jaime Ángeles Ángeles
Director de la Facultad

Dr. Luis Gerardo Hernández Sandoval
Director de Investigación y Posgrado

Centro Universitario
Querétaro, Qro. México, Noviembre del 2010

RESUMEN

El manejo y la gestión hídrica conjunta del agua a nivel de cuencas se ha vuelto una forma integral de atender el abastecimiento del agua mediante la diversificación de fuentes, la racionalización y uso sustentable, partiendo de la modelación de los sistemas superficiales y subterráneos. Conocer los usos y la disponibilidad del agua en la Subcuenca Tábula-Picachos nos permite modelar y analizar situaciones o escenarios de manejo alterno que pudiesen presentarse a mediano y largo plazo dentro de la zona de estudio, atendiendo principalmente a dos extremos de manejo: de continuidad en la tendencia de explotación y escenarios de conservación y uso sustentable. Mediante el análisis del uso del agua en la zona se determinó que las tres principales demandas de agua son: uso agropecuario (83%), uso urbano (15%) y uso industrial (2%), se calcularon las tendencias de crecimiento de las demandas agropecuarias y urbanas a 15 y 40 años, pasando de 43.32Hm³ en 2008 a 50.31Hm³ para 2025 y 92.49Hm³ para 2050. Se calcularon las componentes del balance hídrico superficial para un período de 50 años, mediante el modelo hidrológico de Témez. Se calibró un modelo de acuífero por Autovalores y Autovectores en el programa AQUIVAL, para un registro de 7 años de valores de niveles piezométricos (NP) en el Acuífero San Miguel de Allende (SMA), con una profundidad promedio inicial de 274.14m. Se simuló 4 escenarios alternos del manejo conjunto del agua en la subcuenca en el programa AQUATOOL DMA, presentándose para el año 2004 un descenso entre 1.9 y 3.4m en los NP del acuífero SMA y un déficit de volumen de 12.6Hm³, mientras que para el año 2025 se registra un descenso entre 3.9 y 5.6m en el NP y un cambio de almacenamiento en el acuífero de 40.5Hm³. Por último se realizó un acercamiento con actores que inciden en el manejo del agua a nivel local, describiendo el manejo que hacen del agua desde los distintos sistemas de producción agropecuarios presentes en la subcuenca, así como el cuidado de las zonas consideradas como de recarga para los acuíferos.

Palabras clave: Manejo hídrico conjunto, Cuenca, Balance hídrico, Modelación, Acuífero, Aquatool, Escenarios de manejo, Actores clave, Subcuenca Tábula-Picachos

ABSTRACT

The operation and the integrated water management on watersheds has become an integral way to respond to the water supply through diversification of sources, the rationalization and sustainable use, based on the modeling of surface and groundwater systems. Knowing the uses and the availability of water in the sub-basin Tábula-Picachos allows us to model and analyze situations or alternative management scenarios that may arise in the medium and long term within the study area, based primarily on two ends of management: continuity in the trend of exploitation and scenarios of conservation and sustainable use. By analyzing the use of water in the area, it was determined that the three main demands for water are used for agriculture (83%), urban use (15%) and industrial use (2%), the growth trends of agricultural and urban demand were calculated to 15 and 40 years from 43.32Hm³ in 2008 to 50.31Hm³ in 2025 and 92.49Hm³ in 2050. The surface water balance components were calculated for a period of 50 years by Témez hydrological model. It was calibrated an aquifer model by Eigenvalues and Eigenvectors in the AQUIVAL program to a record of 7 years worth of groundwater levels (NP) in the Aquifer San Miguel de Allende (SMA) with an initial average depth of 274.14m. Four alternative scenarios were simulated about the integrated water management in the watershed in the program AQUATOOL DMA, presenting a decrease in 2004 between 1.9 and 3.4m in the aquifer NP of SMA and a volume deficit of 12.6Hm³ in 2025, recording a decrease between 3.9 and 5.6m in the aquifer NP and a change of storage of 40.5Hm³. Finally, it was made an approach with actors involved in water management at a local level, describing how they deal with water from the different agricultural production systems that are present in the watershed, and the care of the considered recharge areas to the aquifers.

Keywords: Integrated water management, Watershed, Water balance, Modeling, Aquifer, Aquatool, Management scenarios, Key actors, sub-basin Tábula-Picachos

AGRADECIMIENTOS

A Dios, mis padres, hermanos, familiares y amigos.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) por su apoyo económico para la culminación de este posgrado y por haberme permitido realizar una estancia en el extranjero

A la Universidad Autónoma de Querétaro (UAQ), por haberme permitido desarrollarme en un nuevo nivel profesional.

A la Maestría en Gestión Integrada de Cuencas (MAGIC) por esta visión integral de conocer la realidad y entender nuestro entorno. A todos los maestros de la MAGIC que nos compartieron un poco de su conocimiento y aportaron nuevas visiones para nuestro desarrollo profesional.

A la Universidad Politécnica de Valencia (UPV) y en particular al Departamento de Ingeniería Hidráulica y Medio Ambiente (DIHMA), por todas sus atenciones prestadas durante mi estancia en sus instalaciones.

A mis compañeros de generación, por sus enseñanzas y aportaciones que me han hecho valorar y tener una nueva visión sobre los distintos tipos de aprendizaje y formaciones.

A mis sinodales, por su asesoría y apoyo durante la realización de este proyecto de tesis. Gracias por sus particulares puntos de vista y contribuciones, los cuales moldearon y enriquecieron el resultado de esta tesis.

A los ejidatarios, productores, funcionarios y personas entrevistadas, con los que sin su apoyo y confianza hubiese sido imposible aterrizar en lo social este proyecto de tesis.

DEDICATORIAS

A Dios, por todas las alegrías del camino que implica la vida.

A mis padres, con mucho cariño y respeto, por sus esfuerzos y apoyo incondicional que me han brindado en el transcurso de mi vida y estudios. Gracias por su apoyo para culminar esta nueva formación académica. Gracias por ser un estímulo al esfuerzo de lograr mis metas y objetivos.

A mis hermanos, porque directa o indirectamente han contribuido al cumplimiento de una nueva meta en mi vida, porque han sido un estímulo y apoyo para continuar con esta formación profesional.

A mis compañeros, pues con su apoyo y aliento motivaron mi búsqueda de la superación profesional. Gracias por su tiempo y paciencia para entender los distintos puntos de vista y lograr conjuntar una visión conjunta de esta nueva formación que hemos adquirido.

A mis amigos, quienes siempre me brindaron su apoyo, cariño y admiración por lograr superarme profesionalmente. Gracias por todo su valioso tiempo y consejos.

ÍNDICE

RESUMEN.....	III
ABSTRACT.....	IV
AGRADECIMIENTOS.....	V
DEDICATORIAS.....	VI
ÍNDICE.....	VII
ÍNDICE DE CUADROS.....	X
ÍNDICE DE FIGURAS.....	XII
CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN GENERAL	1
I.1. Introducción	1
I.2. Justificación	2
I.3. Objetivos.....	3
I.3.1. General.....	3
I.3.2. Específicos	4
I.4. Estructura del trabajo.....	4
I.5. Marco conceptual.....	6
I.5.1. El proceso del ciclo hidrológico.....	6
I.5.2. Hidrología superficial y subterránea	9
I.5.3. Balance hídrico.....	10
I.6. Marco de referencia	15
I.6.1. Gestión y manejo integrado de cuencas.....	15
I.6.2. Sustentabilidad y desarrollo.....	17
I.6.3. Actual política de manejo del agua en México.....	18
I.6.4. Estrategias e instrumentos para el manejo de cuencas	21
I.6.5. Unidades de estudio para el manejo de recursos.....	22
I.6.6. Escenarios de manejo hídrico conjunto	23
I.7. Literatura citada	26
CAPÍTULO 2: ANÁLISIS DEL MANEJO DEL AGUA EN LA SUBCUENCA ESPECÍFICA TÁMBULA-PICACHOS, GUANAJUATO	29
II.1. Introducción	29
II.2. Delimitación del área de estudio.....	30
II.2.1. Características biofísicas.....	31
II.2.1.1 Fisiografía y climatología	31
II.2.1.2. Uso del suelo y vegetación	32

II.2.2. Características socio-económicas.....	33
II.3. Concepción metodológica.....	35
II.3.1. Estimación de las demandas de agua.....	35
II.3.2. Proyecciones de crecimiento de las demandas de agua.....	36
II.3.3. Cambios en el uso del suelo	37
II.4. Resultados.....	38
II.4.1. Demandas de agua por principales usos	38
II.4.1.1. Uso agropecuario.....	40
II.4.1.2. Uso urbano	46
II.4.1.3. Uso industrial	48
II.4.2. El manejo del agua a mediano y largo plazo.....	50
II.4.2.1. Incremento de las demandas agropecuarias	50
II.4.2.2. Incremento de la población y la demanda urbana	54
II.4.3. Análisis cualitativo de los cambios en el uso del suelo.....	58
II.5. Conclusiones	62
II.6. Literatura citada	64
CAPÍTULO 3: LA MODELACIÓN CONJUNTA DEL SISTEMA HÍDRICO DE LA SUBCUENCA ESPECÍFICA TÁMBULA-PICACHOS, GUANAJUATO...	66
III.1. Introducción	66
III.2. Área de estudio.....	68
III.2.1. Hidrología superficial.....	68
III.2.2. Hidrología subterránea	78
III.3. Metodología	81
III.3.1. Modelación de sistemas hidrológicos.....	81
III.3.2. Parámetros de los modelos hidrológicos.....	84
III.3.2.1. Modelos hidrológicos superficiales	86
III.3.2.2. Modelos hidrológicos subterráneos	90
III.3.3. Instrumentos de análisis en la modelación hídrica conjunta..	92
III.3.4. Concepción de los balances hídricos	97
III.3.4.1. Balance de aguas superficiales	98
III.3.4.2. Balance de aguas subterráneas	101
III.3.5. Modelación hídrica conjunta en AQUATOOL DMA	102
III.3.5.1. Módulo de simulación del manejo del agua	104

III.3.45.2 Módulo de simulación de acuíferos.....	107
III.4. Resultados.....	108
III.4.1. Modelación superficial.....	108
III.4.1.1. Componentes del balance hídrico.....	110
III.4.1.2. Escurrimiento e infiltración por el modelo de Témez.....	125
III.4.2. Modelación subterránea.....	131
III.4.2.1. Calibración del acuífero San Miguel de Allende	131
III.4.3. Simulación conjunta del manejo del agua en la subcuenca	142
III.4.3.1. Esquema de trabajo en AQUATOOL DMA.....	142
III.4.3.2. Escenarios de manejo adoptados.....	146
III.4.3.3. Resultado de las simulaciones.....	149
III.5. Conclusiones.....	152
III.6. Literatura citada.....	160
CAPÍTULO 4: MANEJO DEL AGUA Y ACTORES EN LA SUBCUENCA ESPECÍFICA TÁMBULA-PICACHOS, GUANAJUATO.....	164
VI.1. Introducción.....	164
VI.2. El manejo del agua y la subcuenca.....	166
VI.2.1. Conflictos por el agua.....	166
VI.3. Metodología.....	170
VI.3.1. Antecedentes metodológicos del manejo de recursos en la subcuenca específica Támara-Picachos.....	170
VI.3.2. Escenarios de manejo simulados.....	174
VI.4. Resultados.....	176
VI.4.1. Actores e informantes clave.....	176
VI.4.2. Zonas de mayor demanda hídrica.....	187
VI.3. Zonas prioritarias para la recarga de acuíferos.....	194
VI.5. Propuestas de manejo alterno.....	201
VI.6. Conclusiones.....	205
VI.7. Literatura citada.....	212
CONCLUSIONES GENERALES.....	214
ANEXOS.....	221

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro		Página
2.1	Uso del suelo y vegetación, registrado para el año 2003.....	32
2.2	Registro anual del uso del agua en el Municipio de San Miguel de Allende, Gto.....	39
2.3	Demanda de agua por microcuenca (Hm ³ /año).....	45
2.4	Demanda de agua por microcuenca para abastecimiento urbano (Hm ³ /año).....	48
2.5	Demanda de agua por microcuenca y uso industrial (Hm ³ /año).....	49
2.6	Demanda total de agua por microcuenca (Hm ³ /año).....	50
2.7	Volumen de extracción registrados para la subcuenca Tábula-Picachos para el período de 1950 al 2007.....	51
2.8	Incremento en la demanda agropecuaria en la subcuenca Tábula-Picachos.....	54
2.9	Población para los años 2000 y 2007 en la subcuenca Tábula-Picachos, Gto.....	54
2.10	Incremento de población para las localidades de la subcuenca Tábula-Picachos.....	56
2.11	Incremento de la demanda urbana para las nueve microcuencas de la subcuenca Tábula-Picachos (Hm ³ /mes).....	57
3.1	Microcuencas o unidades de intervención.....	69
3.2	Principales características morfológicas de las unidades de intervención en la zona de estudio.....	70
3.3	Estaciones meteorológicas cercanas a la zona de estudio.....	109
3.4	Volumen de precipitación media en la subcuenca Tábula-Picachos...	111
3.5	Escorrentamiento medio mensual (Método de la analogía hidrológica)....	114
3.6	Método de la Curva Numérica (CN).....	117
3.7	Método de la NOM-011 CNA-2000 (Factor K).....	117
3.8	Uso del suelo y vegetación asociados a distintos valores de escurrimento directo.....	119
3.9	Factor de escurrimento "F" por el Método de la NOM-011 CNA-2000...	120
3.10	Factor de escurrimento "CN" por el Método de la Curva Numérica....	120
3.11	Volumen de escurrimento medio mensual por el Método de HEC-	121

	HMS	
3.12	Comparativa del cálculo de escurrimiento directo mensual para el año 2000 (Hm ³ /mes).....	121
3.13	Promedio de evapotranspiración anual.....	123
3.14	Balance hídrico para la subcuenca específica Támbula-Picachos, Gto. (Hm ³ /año).....	125
3.15	Variables a simular en el modelo de Témez para la obtención del escurrimiento directo y la recarga potencial.....	129
3.16	Elevaciones piezométricas registradas entre 1998 y 2004 en la zona de estudio (msnm).....	134
3.17	Atributos hidrométricos del acuífero Cuenca Alta del Río Laja, Gto..	137
3.18	Volumen almacenado en bordos para cada microcuenca de la subcuenca Támbula-Picachos, Gto.....	147
3.19	Modificación en las demandas consuntivas de la subcuenca Támbula-Picachos para la simulación en AQUATOOL DMA.....	148
4.1	Zonas de producción lechera en San Miguel de Allende, Gto.....	192

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura		Página
1.1	Definición del esquema de trabajo adoptado en el proyecto de tesis.....	6
1.2	Esquema conceptual del ciclo hidrológico.....	7
1.3	Esquema general de una cuenca hidrológica.....	8
1.4	Esquema comparativo de la disponibilidad de agua por cada m ³ de agua en la Tierra.....	11
2.1	Mapa base de la subcuenca específica Támbula-Picachos, Municipio de San Miguel de Allende, Gto.....	30
2.2	Porcentajes de cobertura de servicios en la subcuenca Támbula-Picachos.....	33
2.3	Porcentajes de los servicios con que cuentan las viviendas en la subcuenca Támbula-Picachos.....	34
2.4	Promedio anual (2005, 2006, 2007) del uso del agua en el Municipio de San Miguel de Allende, Gto.....	39
2.5	Tipos de superficie general y tipos de agricultura practicados en la subcuenca Támbula-Picachos.....	40
2.6	Mapa de uso de suelo y vegetación del año 2003 elaborado para la subcuenca Támbula-Picachos, Gto.....	41
2.7	Porcentajes de superficie agrícola de riego y de temporal por microcuenca.....	42
2.8	Superficies agrícolas y tenencia de la tierra en la subcuenca Támbula-Picachos, de acuerdo al tipo de agricultura.....	42
2.9	Ejidos registrados dentro de la subcuenca Támbula-Picachos y sus superficies (en ha), de acuerdo al tipo de agricultura (riego y temporal)..	43
2.10	Porcentaje de demanda de agua para riego agrícola por microcuenca dentro de la subcuenca Támbula-Picachos.....	46
2.11	Porcentajes por microcuenca de demanda de agua superficial y subterránea para el abastecimiento público.....	48
2.12	Porcentaje de demanda de agua por microcuenca para el abastecimiento industrial en el área de estudio.....	50
2.13	Incremento en la demanda agropecuaria para la subcuenca Támbula-	53

	Picachos para los años 2025 y 2050	
2.14	Gráfico de incremento de población en las localidades de la subcuenca Tábula-Picachos.....	56
2.15	Incremento en la demanda anual para las localidades de la subcuenca Tábula-Picachos.....	58
2.16	Valores de degradación ambiental para la subcuenca Tábula-Picachos, de acuerdo a Córdova et al., 2010.....	59
2.17	Mapa de uso de suelo y vegetación para el año 2020, de acuerdo a Córdova et al., 2010.....	61
3.1	Microcuencas y unidades de escurrimiento.....	69
3.2	Configuración hidrológica superficial de la subcuenca Tábula-Picachos, Gto.....	72
3.3	Arroyo El Macho, que desciende del cerro de La Márgara, ubicado en la parte media de la microcuenca El Huizachal (Punto 6).....	73
3.4	Arroyo Fajardo, que desciende de cerro de Tábula, ubicado en la microcuenca Guadalupe de Tábula (Punto 2).....	73
3.5	Arroyo El Capulín, el cual desciende del cerro Los Picachos, por la microcuenca de Sosnabar en la cuenca alta (Punto 12).....	73
3.6	Puntos de monitoreo en la subcuenca Tábula-Picachos.....	74
3.7	Bordos en la parte alta de la microcuenca de Alcocer (Punto 14).....	75
3.8	Bordo de tierra junto al cerro de la Márgara en la microcuenca de El Huizachal (Punto 7).....	75
3.9	Bordo de tierra y mampostería cerca de la localidad de La Campana en la microcuenca de Sosnabar (Punto 11).....	76
3.10	Sistema de bordería de tierra cerca de la localidad de Cabras de Begoña y al fondo la presa Ignacio Allende (Puntos 16 y 17).....	76
3.11	Sistema de bordería en las localidades de Fajardo y Guadalupe de Tábula en la microcuenca Guadalupe de Tábula (Puntos 1, 2, 3).....	76
3.12	Bordo de tierra en la microcuenca de Cerritos (Punto 9).....	76
3.13	Bordo de tierra cercano a la localidad de Moral del Puerto de Nieto, dentro de la microcuenca Puerto de Nieto (Punto 6).....	77
3.14	Bordo de tierra cercano a la localidad de Santa Teresita en la microcuenca de Santa Teresita de Don Diego (Punto 18).....	77
3.15	Represa de mampostería “Las Colonias” dentro de la zona del Charco	77

	del Ingenio en la microcuenca San Miguel de Allende (Punto 20)	
3.16	División de acuíferos en el municipio de San Miguel de Allende, de acuerdo a los registros de CEAG para 2009.....	78
3.17	Zonas de veda incidentes en la subcuenca Tábula-Picachos, Gto.....	80
3.18	Descripción esquemática del flujo de agua en el modelo hidrológico de Témex.....	96
3.19	Diagrama del funcionamiento del balance hídrico general en una cuenca hidrográfica.....	98
3.20	Tesselación de las 5 principales estaciones meteorológicas cercanas a la subcuenca Tábula-Picachos.....	109
3.21	Esquema conceptual para el cálculo de las componentes del balance hídrico en la zona de estudio.....	110
3.22	Serie de precipitación media anual para la subcuenca Tábula-Picachos	111
3.23	Media móvil de la precipitación media registrada en la subcuenca Tábula-Picachos.....	113
3.24	Media móvil del escurrimiento determinado por el método de la analogía hidrológica.....	116
3.25	Medias móviles calculadas para el período de años de 1989 al 2004 para la subcuenca Tábula-Picachos.....	118
3.26	Comparativa del escurrimiento directo entre tres distintas metodologías...	122
3.27	Serie de temperatura media anual de 1954 al 2004 para la subcuenca Tábula-Picachos.....	123
3.28	Serie de evapotranspiración potencial media anual de 1954 al 2004 para la subcuenca Tábula-Picachos.....	124
3.29	Ubicación de represas de mampostería, cercanas a la ciudad de San Miguel de Allende, Gto.....	128
3.30	Correspondencia en la evolución del escurrimiento entre el aforo de una cuenca vecina a la zona de estudio y el escurrimiento calculado con el modelo de Témex.....	129
3.31	Escurrimiento medio mensual calculado en el modelo de Témex para cuatro distintas alternativas.....	130
3.32	Evolución del escurrimiento medio anual para la serie de precipitaciones modelada en Témex.....	131
3.33	Evolución de la recarga potencial media anual para la serie de	131

	precipitaciones y escurrimientos modelados en Témex	
3.34	Malla de discretización del acuífero SMA en la subcuenca Tábula-Picachos y niveles piezométricos registrados entre 1998 y 2004.....	132
3.35	Distribución del NP en el acuífero San Miguel de Allende, ubicación de celdas de monitoreo.....	134
3.36	Representación dl NP y del terreno en la diagonal de la Figura 3.35.....	135
3.37a	Dimensiones de la malla del modelo de acuífero.....	136
3.37b	Condiciones de contorno y celdas activas del modelo.....	136
3.38	Valores de transmisividad y coeficiente de almacenamiento iniciales adoptados para el modelo de acuífero.....	136
3.39	Demanda media anual en el acuífero SMA.....	137
3.40	Evolución inicial del NP en el modelo de acuífero SMA adoptado para AQUIVAL.....	139
3.41	Evolución inicial del volumen almacenado y escurrido en el modelo del acuífero SMA adoptado para AQUIVAL.....	139
3.42	Pendiente de descenso del NP registrado para las celdas 2-1, 3-3 y 4-4 en el período de 1994 a 2004.....	140
3.43	Pendiente de descenso del NP calculado para las celdas 2-1, 3-3 y 4-4 del modelo adoptado para el acuífero SMA.....	141
3.44	Pendiente de descenso del volumen total almacenado y escurrido para las celdas 2-1, 3-3 y 4-4 del modelo adoptado para el acuífero San Miguel de Allende.....	141
3.45	Aportaciones intermedias para la UE-1 de la subcuenca Tábula-Picachos.....	144
3.46	Esquema de trabajo para la simulación del manejo hídrico conjunto en la subcuenca Tábula-Picachos, Gto.....	145
3.47	Abatimiento del nivel freático en tres celdas del modelo del acuífero San Miguel de Allende.....	149
3.48a,b,c	Tendencia en el cambio de almacenamiento para el acuífero SMA.....	151
3.49	Variación del consumo de agua en los últimos 50 años a nivel mundial...	154
4.1	Organizaciones no gubernamentales que trabajan en la zona de estudio..	166
4.2	Distinta intensidad en el uso del agua.....	168
4.3	Distintos tipos de productividad en el campo regional.....	169
4.4	Escenarios de manejo alterno en la subcuenca Tábula-Picachos	174

4.5	Entrevista a ejidatarios en las zonas consideradas como de recarga en la subcuenca Tábula-Picachos.....	177
4.6	Mapa social de actores incidentes en el manejo de agua en la subcuenca Tábula-Picachos.....	179
4.7	Principales tipos de cultivos de riego en la zona de estudio	188
4.8	Producción agrícola intensiva de alfalfa y espárrago en la zona de estudio	189
4.9	Tipos de agricultura y su superficie en la subcuenca Tábula-Picachos...	190
4.10	Zonas ejidales y agricultura de riego temporal en la subcuenca Tábula-Picachos.....	191
4.11	Zonas de mayor demanda de agua en la subcuenca Tábula-Picachos.....	192
4.12	Ganado bobino de producción lechera en la subcuenca.....	193
4.13	Zonas de recarga prioritarias de acuerdo a Córdova et al., 2010.....	194
4.14	Mapa social ideal de actores incidentes en el manejo del agua en la subcuenca Tábula-Picachos.....	202
4.15	Toma de acuerdos desde lo institucional y el manejo del agua desde lo local en la zona de estudio.....	207

CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN GENERAL

I.1. Introducción

El agua, como principal componente de todos los seres vivos, es vista como un eje articulador entre procesos y funciones ambientales y sociales, así como un factor fundamental para la existencia y desarrollo del ser humano. La vinculación entre el ambiente y el ser humano es la base para el diseño de políticas de manejo y gestión de recursos hídricos dentro de un territorio de intervención llamado Cuenca (Cotler, 2004). Incentivar el manejo óptimo y racional del agua dentro de un territorio, debe atender tramas tan complejas y variadas (tanto en tiempo como en espacio) como el entorno, la ideología social y la economía de una región en particular.

El hombre, de manera natural, requiere del agua para su subsistencia y por ello, desde hace siglos ha desarrollado y perfeccionando técnicas y estrategias que le permiten asegurar la disponibilidad y abastecimiento del agua en su entorno para la ejecución y desarrollo de sus diversas actividades (Toledo, 1999). El aumento poblacional y sus consecuentes necesidades materiales (que propicien un cierto grado de desarrollo social), imponen progresivamente mayores exigencias y restricciones a los sistemas hídricos, ya que la intensificación de la interacción entre el manejo del agua en una cuenca y su entorno (considerando los sectores de abastecimiento urbano, producción agrícola, energética, industrial, silvicultura, etc.), se traduce en trastornos ambientales que modifican los sistemas acuáticos, manifestándose principalmente como un impacto notorio en la productividad de sistemas naturales y artificiales (Sahuquillo, 1991).

De acuerdo a Vargas (2003), la evaluación e implementación de propuestas alternas sobre un manejo hídrico conjunto (uso del agua superficial y subterránea), posibilita la adopción de un sistema integral de manejo del agua, el cual permite flexibilizar las demandas y acotarlas a la disponibilidad del recurso hídrico dentro de una cuenca, tomando como base los diferentes fenómenos que se suscitan dentro de este territorio de intervención (como son los procesos de escurrimiento

superficial, captación, infiltración, evaporación), las interacciones existentes entre los movimientos locales, intermedios o regionales del agua subterránea (y su disposición en los distintos acuíferos con los que interactúa el agua superficial), así como los usos antrópicos (actuales y futuros) dentro de esta unidad de estudio, con la finalidad de coadyuvar e incentivar el uso racional de los recursos naturales de un territorio y específicamente, promover un proceso que permita generar un manejo hídrico con carácter sustentable.

I.2. Justificación

El sistema hidrológico de la Cuenca Lerma-Chapala está constituido por el río Lerma, que es el colector principal del sistema con poco más de 700 km de longitud, teniendo su origen en la laguna de Almoloya, al sureste de la ciudad de Toluca, capital del Estado de México. Al río Lerma se le integran en su recorrido los ríos La Gavia, Jaltepec, de la Laja, Silao-Guanajuato, Turbio, Angulo, Duero, de la Pasión y Zula, hasta desembocar en el Lago de Chapala, que es el cuerpo de agua más grande del país (IMTA, 2001).

Con el fin de evaluar el funcionamiento y eficacia de un esquema de modelación del manejo del agua, por su potencial para explorar reglas de asignación del agua y generación de propuestas alternativas de manejo y operación del sistema hídrico conformado por la “Subcuenca Tábula-Picachos”, que permitan preservar los escurrimientos superficiales hacia el lago de Chapala (con una visión a largo plazo) y provean los máximos volúmenes aprovechables para los usos agrícolas, pecuarios y de agua potable en la subcuenca, se adopta el uso del software AQUATOOL DMA (en particular con las interfaces SimGes y Aquival), el cual cuenta con un entorno de trabajo que permite la modelación de las actuales prácticas de manejo y asignación del agua superficial y subterránea, así como con la posibilidad de generación de escenarios espacio-temporales del consumo y recarga dentro del sistema delimitado por la subcuenca (Andreu et al., 1984, 1996, 1997, 2007).

En base a lo observado en el trabajo de recopilación de información, mapas, documentos, archivos, etc., así como en el informe “Formación de una línea de base científica para el manejo integrado de la subcuenca específica Támbula-Picachos en San Miguel de Allende, Guanajuato”, a cargo de la Universidad Autónoma de Querétaro y de la Maestría en Gestión Integrada de Cuencas (UAQ, 2009), la localización de la microcuenca de San Miguel Allende (microcuenca de carácter urbano) es un punto con alto grado de riesgo, puesto que es el punto de salida de los escurrimientos de una gran porción de la subcuenca (abarcando el escurrimiento de al menos otras 6 microcuencas). La localización de la microcuenca dentro de esta zona representa un incremento en la vulnerabilidad y susceptibilidad de la incidencia de eventos extraordinarios y procesos de riesgo hidrológico, que si bien son incipientes o poco conocidos por la población, deben ser tomados en cuenta por las autoridades competentes y así poder prevenirlos o mitigarlos.

La prevención y mitigación ante riesgos hidrológicos que permita reducir el riesgo de vulnerabilidad ante inundaciones en las partes bajas de la subcuenca (por efecto de precipitaciones extremas), o la adopción de un sistema de operación del manejo del agua superficial y subterránea (que mitiguen los efectos adversos de períodos extremos de sequía y precipitación extrema en la zona), incrementará la calidad de vida de los habitantes, tanto en la zona urbana como rural de la subcuenca.

I.3. Objetivos

I.3.1. General

Contribuir al manejo sustentable y racional del agua en la subcuenca Támbula-Picachos, mediante la generación de propuestas alternas y reglas de operación para el manejo del recurso hídrico superficial y subterráneo, que permitan priorizar la disponibilidad del recurso a lo largo de un año hídrico.

I.3.2. Específicos

- Determinar la disponibilidad de agua superficial y subterránea mediante la recopilación, depuración y manejo de información estadística, de estudios de campo publicados y consulta con las instituciones federales, estatales y municipales que administran y tienen incidencia en el manejo del agua dentro de la subcuenca
- Determinar las demandas, usos y consumos hídricos al interior de la subcuenca Támbula-Picachos, así como su espacialización por microcuencas, tanto para el escenario de manejo actual, como para las proyecciones a futuro
- Generar un esquema simplificado que represente el funcionamiento hidrológico de la subcuenca y la intervención que el hombre tiene en ella, mediante una interface de simulación de distintas propuestas alternas para un manejo hídrico conjunto, con carácter sustentable
- Describir a los actores incidentes en el manejo conjunto del agua, vinculando los resultados de la modelación y plasmando los puntos de vista de distintos actores incidentes en la toma de decisiones a nivel de subcuenca

I.4. Estructura del trabajo

El presente proyecto de tesis se encuentra estructurado de tal forma que permita observar el cumplimiento de los objetivos generales y específicos planteados, basándose en un trabajo multidisciplinario que incluye una serie de etapas, las cuales son:

- Etapa de caracterización: Esta primera etapa comprende el acopio de información que sea la base del estudio integral de los procesos que se suscitan en la subcuenca

- Etapa de diagnóstico: En esta siguiente etapa se analizarán los datos recabados, donde se detectarán y discutirán los siguientes aspectos:
 - o Cuáles son las demandas actuales de agua por la población y actividad económica de cada microcuenca
 - o Cómo se suscitan las demandas espacialmente en la subcuenca (uso agropecuario, demanda industrial y abastecimiento urbano)
 - o Como crecerá la población en la subcuenca a mediano y largo plazo y su respectiva demanda urbana
 - o Cómo crecerá la demanda de agua para uso agropecuario a mediano y largo plazo
 - o Cómo evolucionarán los niveles del agua en el acuífero San Miguel de Allende

- Etapa de determinación de propuestas de manejo: En esta etapa se esbozarán aquellas prácticas que, en base a los escenarios de manejo actual y futuro dentro de la subcuenca, permitan una optimización del recurso hídrico conjunto

- Etapa de vinculación : En este apartado se pretende empatar la labor de concientización y difusión del manejo sustentable del recurso hídrico, realizado mediante el trabajo a nivel subcuenca:
 - o Como parte de las líneas de acción sobre una política de manejo sustentable del agua a nivel subcuenca y de las labores de concientización llevadas a cabo por el grupo multidisciplinario de trabajo, atendiendo a líneas como la protección, la restauración y la conservación del ambiente en la subcuenca
 - o El acercamiento con actores involucrados en el manejo y la toma de decisiones sobre el uso del agua en distintos niveles de intervención: lo comunitario, lo privado, lo institucional y lo organizacional descentralizado

En la definición de la estructura del trabajo (Figura 1) se sigue el planteamiento para una hipótesis de segundo grado, en la cual es de interés el conocer las relaciones causa-efecto, derivadas de la toma de decisiones sobre el manejo del agua en la subcuenca Támara-Picachos, Gto., simplificándose en el siguiente esquema:



Figura 1.1. Definición del esquema de trabajo adoptado en el proyecto de tesis

1.5. Marco conceptual

1.5.1. El proceso del ciclo hidrológico

De acuerdo a Soto (2007), el agua no permanece de forma estacionaria sobre la Tierra, sino que establece un circuito entre el agua los océanos, la atmósfera y la litosfera de forma permanente. Esto es lo que se conoce como el “Ciclo Hidrológico”. Este concepto se basa en el permanente movimiento o transferencia de las masas de agua, tanto de un punto del planeta a otro, como entre sus diferentes estados (líquido, gaseoso y sólido). Este flujo de agua se produce por dos causas principales, que son la energía del sol y la gravedad.

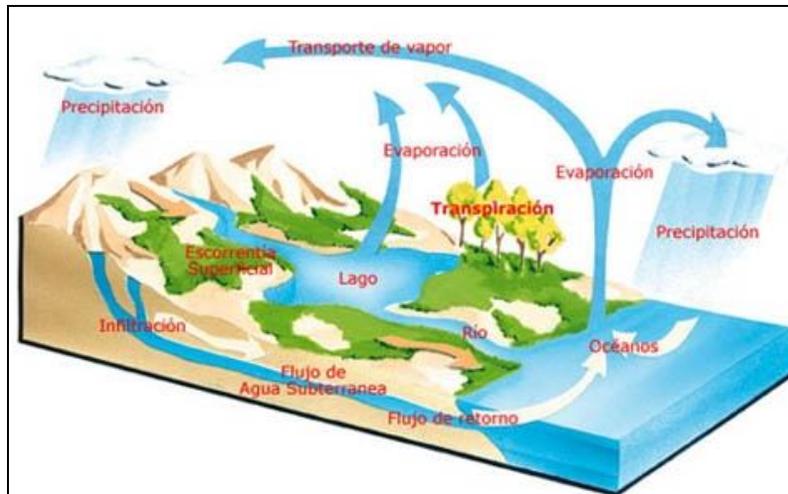


Figura 1.2. Esquema conceptual del ciclo hidrológico

El ciclo hidrológico es un concepto útil en el estudio de la hidrología, que describe la circulación del agua en la Tierra (Figura 2). Aunque se trata de un concepto simple, el fenómeno es enormemente complejo e intrincado, compuesto de muchos ciclos interconectados de extensión continental, regional y local (Soto, 2007). A pesar de que el volumen de agua en el ciclo hidrológico permanece esencialmente constante, su distribución y calidad cambia constantemente sobre los continentes, las regiones y dentro de las propias cuencas.

Campos (2004 b), señala que la hidrología de una región está determinada por sus patrones climáticos (tiempo atmosférico) y físicos (topología, geología y vegetación). Sin embargo, también existen cambios y alteraciones en el ciclo hidrológico, producto de la actividad humana (riego, fertilización de cultivos, deforestación, extracción de aguas subterráneas, construcción de embalses, vertido de aguas residuales, etc.), mismos que cada vez son más recurrentes y tangibles dentro del entorno de las cuencas.

Los fenómenos o procesos hidrológicos que integran el concepto del ciclo hidrológico (que se suscitan en un área o cuenca), son extremadamente complejos, por lo que ante la ausencia del conocimiento total de los fenómenos, Aparicio (2005) señala que mediante el enfoque de sistemas pueden representarse de forma simplificada dichos fenómenos. Dentro de este sistema debe existir una serie de secuencias o procesos interconectados que forman al

sistema en sí. De esta forma, el ciclo hidrológico representa un sistema que tiene como componentes a la precipitación, infiltración, evaporación, escurrimiento y otras fases, o lo que (ordenado de otra manera), pueden ser agrupados en subsistemas como: agua atmosférica, agua superficial y agua subterránea.

Las cuencas hidrográficas y los acuíferos, como sistemas hidrológicos, son estructuras con determinado volumen, limitadas por sus fronteras, que acepta entradas y salidas de agua. Sin embargo, hay que considerar que el procedimiento para reproducir sintéticamente el comportamiento de un sistema (la modelación de un sistema hidrológico), implica un cierto grado de aproximación aleatoria, puesto que su entrada principal (la precipitación), es un fenómeno impredecible y los datos de salida o respuesta no suelen ser los idóneos (Eagleson, 1970).

La cuenca hidrográfica (Figura 3) es una unidad biogeográfica donde las personas comparten el espacio, sus identidades, tradiciones y culturas, socializan y trabajan en función de la disponibilidad de recursos. La cuenca tiene componentes bióticos, abióticos, socioculturales, económicos e institucionales estrechamente vinculados con el agua, que la convierten en una unidad de planeación y gestión por excelencia. Por tanto, cuando se vincula al ambiente y al hombre en el diseño de políticas de manejo y gestión de recursos hídricos en un territorio, el manejo óptimo y racional del agua dentro del mismo, debe atender tramas tan complejas y variadas como el entorno, la ideología social y la economía de una región en particular.

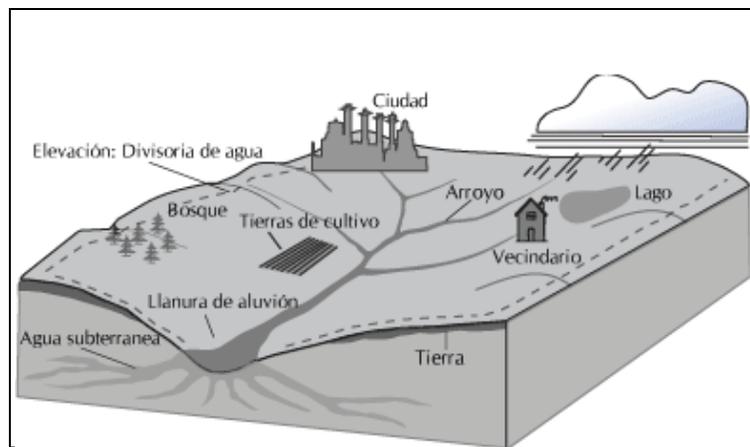


Figura 1.3. Esquema general de una cuenca hidrográfica

Es importante reconocer al ciclo hidrológico como un proceso que es continuo, pero irregular en el espacio y el tiempo, por lo que cualquier acción del hombre en una parte del ciclo, alterará consecuentemente a este ciclo para una determinada región. Los cambios importantes introducidos por el manejo del hombre sobre el agua, actúan en algunas regiones de manera progresiva al desecar zonas pantanosas, modificar el régimen de los ríos, o al construir embalses.

I.5.2. Hidrología superficial y subterránea

En el ciclo hidrológico, la transferencia de agua desde la Tierra hasta la atmósfera es concebida por medio de dos fenómenos naturales: la evaporación (desde la superficie de un depósito de agua y del propio suelo), y por la transpiración (que ocurre desde los animales y vegetales). De acuerdo a Campos (2004 b) la hidrología superficial se basa en el estudio de la fase terrestre del ciclo hidrológico, abarcando tres aspectos principales:

- La cuantificación de los recursos hídricos disponibles
- La estimación y el manejo de eventos extremos (avenidas máximas y sequías)
- El aprovechamiento de estos recursos

Algunas de las aplicaciones prácticas se encuentran en el diseño y operación de estructuras hidráulicas que permiten hacer uso del agua superficial de manera controlada a través de un año hídrico. El estudio de esta rama de la hidrología (haciendo uso de la modelación de los procesos biofísicos que se suscitan dentro de una cuenca), proporciona las bases y lineamientos para la planeación, el control y aprovechamiento del agua superficial.

Como ya se mencionó, el ciclo hidrológico comprende la entrada, el almacenamiento y la salida del agua desde la hidrosfera, la litosfera y de la atmósfera en general. En lo que se refiere al agua subterránea, Llamas (2001) comenta que es posible calcular el movimiento de humedad dentro de la litósfera

mediante el llamado “Presupuesto Local de Agua”, el cual es de suma importancia para determinar en qué estado se encuentra el almacenamiento del agua en el subsuelo, la cual es vital para la transpiración de las plantas, el florecimiento de la agricultura y el consumo urbano local, principalmente.

El recurso hídrico subterráneo que se encuentra a mayor profundidad puede permanecer oculto durante miles o millones de años y a nivel global, esta agua representa cerca de 1/3 del 1.0% del total de agua en la Tierra, es decir unas 20 veces más que el total de las aguas superficiales de todos los continentes e islas. Este recurso es de esencial importancia para la civilización porque supone la mayor reserva de agua potable en las regiones habitadas por los seres humanos.

El agua subterránea puede volver a la atmósfera por evapotranspiración cuando el nivel saturado queda próximo a la superficie del terreno. Otras veces, se produce la descarga de las aguas subterráneas, la cual pasará a engrosar el caudal de los ríos, alimentando directamente al cauce o a través de manantiales, o descargas en el mar, u otras grandes superficies de agua. Esta agua es almacenada dentro de depósitos naturales llamados “acuíferos”, que están compuestos por estratos de roca altamente permeable. Al estar el agua en contacto con distintos estratos de roca, la composición del agua de los acuíferos varía según la naturaleza del suelo o la roca de su lecho.

1.5.3. Balance hídrico

En la hidrología, el concepto de “Balance Hídrico”, de acuerdo a Soto (2007), es la aplicación de la conservación de una masa de agua en su fase líquida, correspondiente a una zona concreta y a un período de tiempo determinado. La zona física considerada habitualmente es la cuenca hidrográfica, es decir, aquella que no tiene aportaciones superficiales ni subterráneas de otras áreas y el período de tiempo es normalmente de un año, comúnmente denominado como “año hidrológico”.

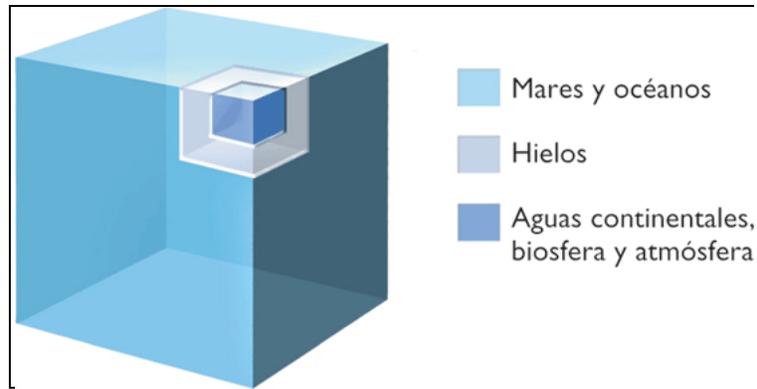


Figura 1.4. Esquema comparativo de la disponibilidad de agua por cada m³ de agua en la Tierra

En la Figura 4 se muestra un esquema de 1m³ de agua del planeta, del cual comparativamente solo el 3% es agua dulce y de éste solo menos del 1% es agua continental aprovechable. Dicho de otra forma, del total de agua en la Tierra, el 72% se considera como agua salada contenida en los mares y océanos. Un 25% se encuentra en la superficie terrestre y un 3% es considerando como agua dulce, contenida en forma de hielo (80%), bajo la superficie terrestre (19%), en la atmósfera y biósfera (0.7%) y en arroyos, ríos y lagos (0.3%).

Si se considera a la masa de agua dentro de un sistema cerrado, el balance de aguas puede representarse a grosso modo como:

$$(E) - (S) = (V), \text{ donde:}$$

E: representa las entradas de agua al sistema

S: representa las salidas de agua del sistema

V: representa la variación de volumen en el sistema

De acuerdo a esta última ecuación y re-definiendo las componentes de la misma, se puede expresar de manera general al balance de aguas como:

$$(V) = (P) - (Q), \text{ donde:}$$

P: representa la precipitación dentro del sistema

Q: representa el escurrimiento hacia un punto de salida del sistema

Ahora bien, en casos que tienen que ver con la distribución y manejo de recursos hídricos (a gran escala o en cuencas específicas), es imprescindible tomar en cuenta con mayor detalle las variables que intervienen en el ciclo hidrológico, relacionándolas de forma más concreta dentro del balance hídrico, de entre ellas, es indispensable conocer:

- La precipitación
- La evapotranspiración
- El escurrimiento superficial
- El almacenamiento superficial y subterráneo
- El flujo de agua subterránea

En base a lo anterior, Soto (2007) señala que al aplicar una “Ecuación General del Balance Hídrico” dentro de una cuenca específica (en la cual se contemple tanto el agua que circula superficialmente, como subterráneamente), se debe llegar a una expresión con la siguiente forma:

$$(P) + (Qa) + (G) = (ET) + (Q) + (dS), \text{ donde:}$$

P: representa la precipitación en un período seleccionado

Qa: cuantifica el aporte superficial de cuencas vecinas

G: constituye el flujo neto del agua subterránea, desde y hacia cuencas vecinas

ET: representa la evapotranspiración real en la cuenca

Q: cuantifica el caudal superficial que sale de la cuenca que se analiza

dS: indica el cambio en el almacenamiento superficial y subterráneo (incluyendo el almacenamiento en cauces, embalses, suelo y acuíferos)

En general la precipitación y el caudal pueden ser medidos físicamente, la evapotranspiración real y potencial pueden ser calculadas mediante distintas formulaciones propuestas y por último, las variaciones en los almacenamientos y la infiltración pueden ser calculadas mediante la diferencia algebraica entre otros

elementos del balance. Varis (2003) señala que los balances hídricos generalmente pueden dividirse en tres tipos distintos: para un año hidrológico, para un largo período de años y para una determinada tormenta.

- Balance para un año hidrológico. Generalmente comienza por un mes en el que la reserva de agua sea prácticamente nula, calculando el balance de aguas atendiendo a la expresión: $(precipitación) = (volumen\ de\ escurrimiento) + (evaporación) \pm (variación\ de\ los\ almacenamientos)$
- Balance para un largo período de años. La ecuación que aplica en este caso es: $(precipitación) = (evaporación) + (almacenamiento)$, ya que la variación de los escurrimientos a lo largo de muchos años es compensada (tendiendo a una media de escurrimiento), por lo cual, este término no participa dentro del balance
- Balance para una tormenta. En la cuantificación del agua dentro de períodos cortos (como en el caso de una tormenta o de un determinado día del año), la ecuación de balance se transforma como: $(precipitación) = (intercepción\ de\ la\ vegetación) + (infiltración) + (humedad\ en\ el\ suelo) + (almacenamiento)$

Ahora bien, de acuerdo a Soto (2007), en su concepción más simple, el balance hídrico constituye un proceso global gobernado por el ciclo hidrológico, el cual al ser adaptado a una cuenca hidrográfica (en la que sea considerado solo el movimiento superficial del agua), este balance puede ser representado mediante la siguiente ecuación:

$$(P) - (E) - (ETR) - (I) \pm (S) = 0, \text{ donde:}$$

P (mm): Precipitación media anual

E (mm): Escurrimiento superficial medio anual

ETR (mm): Evapotranspiración real media anual

I (mm): Infiltración media anual

S (mm): Variación del almacenamiento hídrico (a largo plazo su valor es poco importante, se considera igual a cero)

Por otro lado, Campos (2004) señala que para el cálculo del balance de aguas subterráneas, este se realiza siguiendo un balance de masas durante una unidad de tiempo determinada (generalmente anualmente), en el cual se consideran los siguientes aspectos:

(E) = (S) + (Da), donde:

E (Hm³/año): entradas al sistema subterráneo

S (Hm³/año): salidas del sistema subterráneo

Da (Hm³/año): diferencia en el almacenamiento subterráneo

En este sentido, las entradas al sistema (E) están representadas por la infiltración de agua de lluvia, del retorno de agua de riego y en menor medida por fugas en el sistema de agua potable o las descargas de agua residual. Por su parte, las salidas del sistema (S) son debidas principalmente a las extracciones por bombeo, afloramientos superficiales (en forma de manantiales o galerías filtrantes) y por las aportaciones directas del acuífero a un río superficial. Al tomar en cuenta estas dos componentes del balance de masas puede ser obtenida la tercera componente como la una diferencia en el almacenamiento dentro del acuífero (Da).

Marañón (1999) señala que en un gran número de acuíferos del país es cada vez más común obtener un “déficit” en el balance del agua subterránea, debido a que actualmente los volúmenes de extracción a los que se ven impuestos los acuíferos (para satisfacer las demandas de agua que el hombre le impone) no se corresponden linealmente con las aportaciones naturales (resultado del proceso de infiltración, asociado al lento movimiento del agua entre los estratos del subsuelo). Por lo cual, en el proceso de cálculo del balance hídrico también es posible definir probables zonas de infiltración y recarga hacia los acuíferos con los que se encuentra relacionada directamente una cuenca hidrográfica, permitiendo

generar un mejor proceso de planeación sobre el manejo del agua (Zanaphre, 2008).

I.6. Marco de referencia

I.6.1. Gestión y manejo integrado de cuencas

La cuenca, sea en forma independiente o interconectada con otras, es la unidad territorial más aceptada para la gestión integrada de los recursos hídricos. Las políticas para utilizar el territorio de una cuenca como base para la gestión del agua han tenido diferentes enfoques y una desigual evolución en los países de América Latina y el Caribe (Dourojeanni, 2002). El concepto de cuenca hidrográfica ha ido evolucionando a la par de la atención que se le presta al cuidado y manejo de los recursos dentro de esta, pasando desde un enfoque meramente hidrológico, a uno con carácter integral y sistémico, donde el agua se considera como el eje rector de procesos y funciones entre el carácter ambiental y el antrópico; donde interactúan otros elementos y aspectos económicos, sociales, culturales y dentro de esto, el ser humano se vuelve parte integral de la gestión (Zury 2004; Jiménez 2005).

Entre las distintas definiciones de cuenca, podemos destacar la de enfoque sistémico de Ramakrishna (1997) quien señala que la cuenca está conformada por componentes biofísicos (agua y suelo), biológicos (flora y fauna) y antropocéntricos (socioeconómicos, culturales e institucionales) los cuales están en equilibrio entre sí, de tal manera que al afectarse uno de ellos, se produce un desbalance que pone en peligro todo el sistema. La misma es compartida por Jiménez (2005) quien además señala que la cuenca es un todo, funcionalmente indivisible e interdependiente conformada por las interrelaciones dinámicas en el tiempo y en el espacio de diferentes subsistemas, entre los que destacan el social, productivo, físico, biológico, económico, tecnológico, institucional y legal, entre otros.

Zury (2004) menciona que las cuencas acogen a una población humana que para sobrevivir aprovecha los recursos que hay en ella, lo cual genera a

menudo conflictos en un escenario que es social y económico y que requiere de mecanismos de concertación. Jiménez (2005) indica que el manejo de cuencas se debe hacer con gestión en el sentido de manejar, aprovechar y conservar los recursos naturales en las cuencas, esto en función de las necesidades humanas y buscando un equilibrio entre la equidad, la sustentabilidad y el desarrollo.

El planteamiento de procesos de planificación y coordinación a nivel de cuencas se vuelve muy importante a fin de que los recursos existentes puedan ser utilizados de manera óptima, que los conflictos sean minimizados y la base de los recursos naturales pueda ser conservada (Orozco, 2006). Por esta razón, la cuenca es una unidad de planificación donde los habitantes deben ser los actores protagónicos y las organizaciones comunitarias la base del desarrollo local. Sin embargo, deben existir otros actores no locales como soporte en la planificación y acción, teniendo estos también presencia, para así lograr una gestión integrada y eficiente con un enfoque multidisciplinario e interinstitucional.

La perspectiva del “manejo integral de cuencas” es un concepto que va más allá de la planeación y administración de los recursos hídricos y del análisis de la cantidad y calidad del agua al interior de un área delimitada por un “parteaguas” natural. De acuerdo con la definición proporcionada por el Instituto Nacional de Ecología (INE 2002), el manejo integrado de cuencas puede definirse como “un proceso de formulación, implementación y evaluación de planes y programas dirigidos tanto al aprovechamiento de los recursos naturales con fines productivos como al control y prevención de los procesos de degradación ambiental”.

En este sentido, la gestión integral es definida como la gestión conjunta, compartida y colaborativa, donde diferentes actores locales como productores, grupos organizados, gobiernos locales, empresa privada, ONG, instituciones nacionales, organismos donantes y cooperantes integran esfuerzos, recursos, experiencias, y conocimientos para desarrollar procesos dirigidos a lograr impactos favorables y un grado de sustentabilidad en el manejo de los recursos naturales y el ambiente en las cuencas hidrográficas.

El concepto de integralidad no solamente toma en cuenta el manejo, sino también la gestión, razón por la cual resulta más holístico, hecho que en el contexto actual resulta más apropiado, dado las corrientes antropogénicas en las que se está enfocando el proceso de desarrollo en las cuencas. Reforzando lo anterior, Prins (2005) señala que las organizaciones de base (instituciones gubernamentales) deben asumir un rol más relevante, dejando al técnico y a las instituciones el papel de facilitadores de procesos o sirviendo de agentes promotores del cambio de las interacciones entre las poblaciones locales y sus recursos naturales.

I.6.2. Sustentabilidad y desarrollo

El desarrollo sustentable no se refiere a una meta tangible ni cuantificable a ser alcanzada en determinado plazo y momento. Es un concepto que lleva implícito el poder armonizar por lo menos tres objetivos conflictivos en el mediano y corto plazo: sociales, ambientales y económicos. Se refiere a la posibilidad de mantener un equilibrio entre estos factores que explican un cierto nivel de desarrollo del ser humano en vinculación al lugar que habita y la interacción entre territorios, nivel que es siempre transitorio y en constante evolución o cambio (Dourojeanni, 2002). Al menos, en teoría, esta evolución debería ser conducente a mejorar la calidad de vida de los seres humanos. La articulación entre los objetivos puede hacerse con diferentes grados de preferencia entre los mismos, es decir enfatizando, por ejemplo, más lo ambiental que lo económico, y aún así alcanzar metas de desarrollo sustentable.

Uno de los procesos para alcanzar metas de desarrollo sustentable se vincula a la sustentabilidad ambiental y, por lo tanto, está asociado a la gestión de territorios, sus elementos naturales y sus recursos, y a la dinámica de intercambio entre varios territorios. Ello explica por qué el desarrollo está estrechamente asociado a las demandas que exige cada cultura o estilo de vida, a la globalización de los procesos económicos, sociales y ambientales, y a la capacidad negociadora entre regiones o países. El llamado desarrollo sustentable es, por lo tanto, la resultante de un conjunto de decisiones y procesos que deben

llevar a cabo generaciones de seres humanos con relación a sus intereses, demandas, conocimientos y organización, tanto de los territorios que ocupan como de los otros territorios con los cuales interactúan. Las decisiones se deben tomar dentro de condiciones siempre cambiantes, con información usualmente insuficiente, sujetas a incertidumbres y con metas poco compartidas (Campos et al., 2005).

Ubicar y comprender el contexto en el que se desenvuelve la acción de gestores y manejadores de recursos de una cuenca hidrográfica, permite detectar el rumbo en el que se pretenden encaminar acciones que detonen o incentiven la participación social, cuidado y respetando al entorno y sin olvidar las escalas sociales básicas como la comunidad. En este sentido, el carácter multidisciplinario de la gestión integrada en cuencas permite ubicar las acciones y propuestas en un marco de desenvolvimiento del desarrollo rural y urbano que apueste por la sustentabilidad del manejo de los recursos ambientales en el entorno de las sociedades y su propia percepción de desarrollo.

I.6.3. Actual política de manejo del agua en México

En los últimos años el sector hidráulico en México ha evolucionado hacia un manejo integrado del agua, esto gracias a dos situaciones: la transformación del marco jurídico y de la visión administrativa a nivel federal, así como al proceso de trabajo mediante la planeación participativa con los usuarios. Valencia (2004), señala que en la actualidad el control, distribución y administración del agua dentro de las cuencas hidrográficas (incluyendo sus acuíferos relacionados), así como la regulación de la explotación y aprovechamiento de la misma, necesariamente deberá propiciar la preservación y sustentabilidad de este manejo, tanto en cantidad como calidad.

A partir de 1996, la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA, 2007) toma un enfoque distinto en el manejo del agua, haciéndolo más eficaz y participativo, con el fin de lograr integrar, depurar y homologar la información asociada con el agua y sus diferentes usos, basándose en:

- Identificación de problemáticas y alternativas de solución conjunta
- Realización e integración de programas de acción y escenarios de manejo a largo plazo (2000-2025)
- Priorización de acciones de intervención de carácter general y específico, acorde a la situación de cada región hidrológica del país

Valencia (2004), señala que los principios que orientan el “Programa Nacional Hídrico” (2000-2006) de México y que aplican como marco de referencia en el manejo y gestión de cuencas hidrográficas son:

- El desarrollo del país debe tender a la sustentabilidad
- El agua es un recurso estratégico y materia de seguridad nacional
- Dado que la cuenca es la forma natural de ocurrencia de un ciclo hidrológico, es la unidad de planeación adecuada
- Se pretende lograr el manejo integrado de los recursos naturales
- La problemática requiere de resoluciones participativas locales

Por otra parte, el “Programa Nacional de Microcuencas” (PNM), surge en febrero de 2002 como una estrategia de la “Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación” (SAGARPA) a través del “Fideicomiso de Riesgo Compartido” (FIRCO) para satisfacer las siguientes premisas (Pineda, 2002):

- Proponer un nuevo enfoque de atención territorial al sector rural, reubicando y reconociendo la potencialidad de los recursos naturales y los diferentes actores que en él intervienen
- Promover el uso de tecnologías y metodologías para la rehabilitación, el manejo, el uso y el aprovechamiento racional y eficiente de los recursos naturales
- Propiciar las condiciones para el fomento económico diversificado, rentable, permanente y con equidad, para la población con mayor marginalidad y abandono en el sector rural

- Fortalecer la coordinación y concurrencia institucional multisectorial en la ejecución de acciones de desarrollo integral en las microcuencas
- Asegurar la participación plena y decidida de la población de las microcuencas, en la definición y ejecución de iniciativas de desarrollo local, congruentes con su realidad ambiental, socioeconómica, cultural y política
- Reconocer que no es sólo tarea del gobierno mexicano, la atención del sector rural, que es preciso involucrar a instituciones públicas y privadas y a la sociedad civil en aspectos de planeación, programación, financiamiento y ejecución de acciones para lograr un desarrollo rural integral
- Aplicar de manera práctica, fehaciente y tangible lo propuesto en la “Ley de Desarrollo Rural Sustentable”

En la actualidad, el “Programa Nacional Hídrico” (2007-2012) establece la necesidad de contar con la suficiente cantidad de agua de calidad en la república mexicana, reconoce su necesidad de su uso eficiente y la protección de los cuerpos de agua, mismos que garanticen un desarrollo sustentable y la preservación del ambiente y sus ecosistemas relacionados (CONAGUA, 2008).

Por otro lado, el deterioro ambiental (visto desde la deficiencia en el manejo del agua) ha tomado gran relevancia en debates locales, nacionales e internacionales, puesto que esta afecta directamente la gobernabilidad y la sustentabilidad de la sociedad en su conjunto. Por tanto, incentivar estudios a nivel cuenca para contrarrestar problemas de degradación de recursos naturales (con el empleo de una metodología para el manejo hídrico conjunto), dará como resultado soluciones que incentiven la rehabilitación ambiental mediante procesos naturales e inducidos, acorde al manejo racional y sustentable del agua por parte del hombre.

I.6.4. Estrategias e instrumentos para el manejo de cuencas

Puesto que las jurisdicciones político-administrativas (países, estados, municipios o regiones) no coinciden con los límites territoriales de las cuencas, gran parte de las decisiones que afectan al ciclo hidrológico, al aprovechamiento del agua y a los habitantes de una cuenca, etc., no pueden ser consideradas en las interrelaciones que ocurren dentro de este sistema integrado.

Además, es común que la gestión del agua se fragmente por sectores responsables de su control y aprovechamiento, por tipos de usos, por la fuente donde se capta y otras arbitrariedades similares. Se administra un sistema integrado y un recurso compartido en forma parcelada y en consecuencia se crean mayores situaciones de conflicto con relación al aprovechamiento del agua en lugar de evitarlas, minimizarlas o solucionarlas (Dourojeanni, 2002).

Diversidad de herramientas e instrumentos han sido desarrollados para trabajar en el manejo de recursos naturales y proyectos de desarrollo rural, aplicables al manejo de cuencas. Jiménez (2005) elaboró una lista, en la cual recopila las principales herramientas que facilitan el manejo integrado de cuencas, las cuales son:

- Diagnóstico de cuencas
- Planes de manejo
- Línea base científica
- Leyes y normas
- Determinación de prioridades
- Áreas críticas
- Tecnologías y prácticas
- Modelos de simulación
- Ordenamiento territorial
- Gestión de riesgos
- Organismos de cuencas
- Financiamiento sustentable

- Organización y participación comunitaria
- Sistemas de seguimiento y evaluación
- Sistematización y acopio de información
- Capacitación y esquemas de educación ambiental

Faustino (2005) señala que para implementar programas y proyectos de manejo de cuencas se requiere de procesos de mediano y largo plazo, así como el implementar diferentes tipos de estrategias, que van desde aquellas que caracterizan los recursos y modelan el manejo de los mismos (los procesos que se suscitan dentro de una cuenca), hasta aquellas estrategias dirigidas hacia la gestión de recursos (que permiten la integración y participación de distintos actores igualmente a distintos niveles), como es el caso de la adopción de esquemas de educación ambiental.

Ahora bien, cabe señalar que el uso de cualquiera de estas herramientas e instrumentos depende ineludiblemente del contexto específico del sitio de intervención y circundantes, de las organizaciones ejecutoras y de los objetivos que los proyectos o programas se fijen.

I.6.5. Unidades de estudio para el manejo de recursos

En base a lo descrito por Cotler (2004), se han observado avances significativos a nivel político en relación con el uso y manejo de los recursos naturales, al quedar este manejo inserto en los “Planes de Desarrollo Económico y Social” de la política pública, donde se plasma a las cuencas hidrográficas como las unidades geofísicas objeto de planificación y manejo de sus propios recursos, con fines de producción y desarrollo, atendiendo y promoviendo un proceso de sustentabilidad en el manejo de sus recursos.

Existen diversas unidades de intervención, que atienden a distintas formas de gestión, manejo, acercamiento e incidencia. Mientras que las microcuencas son las unidades de intervención precisas para el trabajo comunitario, las unidades de

escurrimiento lo son para llevar a cabo estudios de fenómenos hidrológicos como la precipitación, el escurrimiento, la infiltración, evaporación, etc. Adicionalmente, manejadas muchas veces de manera política, se encuentran las grandes regiones hidrológicas, que son unidades de manejo hídrico de gran visión y donde intervienen en su manejo y gestión una serie de actores muy distintos. Por último, las subunidades de gestión y manejo intermunicipales o interestatales como lo son las subcuencas, generalmente requieren de una mayor intervención de actores políticos, dependencias de gobierno, inversionistas privados, organizaciones civiles, sociedad en general, investigadores, entre otros.

La planeación por subcuencas, por tanto, es en sí una tarea de actores de multidisciplina, que se da de manera natural al existir intereses sobre el manejo de los recursos dentro de una gran extensión de territorio. Pineda (2002), señala que al adecuar el modelo de intervención comunitaria (participativa e incluyente) en pro del desarrollo sustentable (en que se basa la gestión y manejo por cuencas hidrográficas), junto con la planificación por subcuencas (o regiones políticas interconectadas), es necesario hacer observar que, tanto los actores como las intervenciones, son a escalas y niveles totalmente distintos.

I.6.6. Escenarios de manejo hídrico conjunto

Un escenario se define como una representación plausible de una variable (o conjunto de variables) en el futuro, que puede ser construido sobre la base de distintos supuestos, derivados de la evolución histórica de las variables (Hernández, 2007). Del mismo modo, un escenario de manejo hídrico conjunto se define como aquella representación plausible del manejo hídrico en el futuro, el cual se caracteriza por un cierto número de variables y se construirá a partir de la evolución histórica de tendencias de manejo y la incidencia de factores de cambio en el manejo actual, que detonen un efecto favorable hacia la conservación y explotación sustentable de los recursos hídricos.

Sin embargo, Hernández (2007) señala que, debido a las numerosas incertidumbres en el manejo actual y su relación con múltiples factores de

regulación de la explotación hídrica conjunta, no es recomendable leer los resultados de las simulaciones de manejo hídrico como predicciones a corto plazo, sino por el contrario, se aconseja que los escenarios futuros representados en las distintas simulaciones sean vistos como una gama de proyecciones con amplio espectro de cobertura de incertidumbres en la representación del manejo hídrico conjunto a mediano y largo plazo.

Por otro lado, en lugares donde confluye la existencia tanto del recurso hídrico superficial como subterráneo, el manejo planeado y coordinado de ambas fuentes proporciona un mejor resultado ante las diversas demandas de agua en una cuenca, contrario a si se realiza la explotación excesiva de una sola fuente. De esta forma, Andreu et al., (1984, 1996, 1997, 2007), sostiene que el denominado “manejo hídrico conjunto” es contemplado como una solución alterna para enfrentar problemas de suministro de agua.

En algunos lugares la explotación del agua subterránea ha obedecido a la inexistencia del recurso de forma superficial o bien, puesto que las demandas de agua y la presencia del recurso superficial a través del año no coinciden. También existen lugares donde a pesar de la abundancia del recurso superficial, éste se encuentra con derechos de concesión, por lo que nuevos usuarios tienen que recurrir a otras fuentes de abastecimiento, como es el caso de los acuíferos o aguas residuales tratadas. Esto último, generalmente sucede en regiones áridas o semiáridas, como es el caso de las cuencas del norte y centro del país.

Generalmente, el manejo hídrico conjunto ha sido poco ordenado, siendo solo en casos extremos donde se tienen importantes limitaciones en el abastecimiento del agua (como claramente es el caso de la cuenca del Valle de México, algunas zonas costeras, metropolitanas o de climas áridos y semiáridos en el país), por lo que para su manejo han requerido el planteamiento de soluciones de carácter sistémico, no solo atendiendo a la demanda actual (con sus deficiencias y limitaciones), sino que ahora deberán tender a adoptar un manejo hídrico conjunto de carácter sustentable, mismo que les permita abastecer las demandas futuras de agua.

De acuerdo a Andreu et al., (1984, 1996, 1997, 2007), la aplicación de un sistema planificado para el manejo hídrico conjunto dentro de una cuenca (con un carácter de manejo sustentable del recurso), puede denotar las siguientes ventajas:

- Diversificación en las fuentes de suministro y, de igual manera, de las alternativas de manejo
- Uso del agua subterránea ya almacenada como un recurso temporal, que permita mitigar inversiones en el sistema superficial y adaptar las variaciones anuales de la demanda de agua
- Mayor regulación del recurso hídrico, dependiendo de la presencia de años húmedos o años secos, mismos que son cada vez más marcados por el efecto del cambio climático
- Uso del acuífero como un elemento de distribución del agua, de acuerdo a su gran distribución horizontal
- Uso del acuífero como un elemento de almacenamiento, mediante recargas artificiales
- Un acuífero puede ser utilizado como un depósito de mezcla de aguas de distinta calidad y a su vez como elemento de filtración de las mismas

En este sentido, la diversificación de fuentes de abastecimiento, como es el caso del manejo hídrico conjunto (uso del agua superficial y subterránea) y el establecimiento de reglas de operación para su manejo (que permitan la optimización del uso a través del tiempo), coadyuva en la adopción del manejo sustentable del agua dentro de una cuenca. Aunado a lo anterior, el planteamiento de prácticas de explotación racional y técnicas de recarga de los acuíferos, propicia el mantenimiento de la funcionalidad y estructura natural del ambiente en relación con el manejo antrópico del agua en una cuenca (usos agrícola, urbano e industrial, principalmente), misma que es esencial para el desarrollo económico y social de una región.

I.7. Literatura citada

- Andreu, J., Capilla, J., y Sanchís, E. 1996. AQUATOOL, a generalized decision-support system for water-resources planning and operational management. Journal of Hydrology. 37p. Valencia, España.*
- Andreu, J.; Solera, A.; Capilla, J.; Blanco, L. 1997. AQUIVAL. Modulo para el pre-proceso y simulación de acuíferos. <http://www.upv.es/aquatool/>. Valencia, España.*
- Andreu, J.; Solera, A.; Capilla, J.; Ferrer, J. 2007. Modelo SIMGES de Simulación de la Gestión de Recursos Hídricos, incluyendo Utilización Conjunta. Versión 3.00. Manual del Usuario. Ed. Universidad Politécnica de Valencia. Valencia, España.*
- Aparicio, F. 2005. Fundamentos de hidrología superficial. Editorial Limusa. Grupo Noriega. 83p. México, DF.*
- Campos, D. 2004 b. Estimación y Aprovechamiento de los Escurrimientos. 440p. San Luis Potosí, México.*
- Campos, J. J.; Faustino, J.; Jiménez, F. 2005 a. La cogestión de cuencas hidrográficas en América Central. Propuesta para el análisis en el grupo de pensamiento. CATIE. 17p. Costa Rica.*
- CONAGUA. 2007. Comisión Nacional del Agua. Estadísticas del agua en México. Página oficial: <http://cna.gob.mx>. 248 p. México.*
- CONAGUA. 2008. Programa Nacional Hídrico 2007-2012. Comisión Nacional del Agua. http://www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/Noticias/PNH_07_08.pdf. 163p. México.*
- Cotler, H. 2004. La cuenca Lerma-Chapala: algunas ideas para un antiguo problema. Gaceta Ecológica del Instituto Nacional de Ecología. p 4. México, DF.*
- Dourojeanni, A. 2002. Gestión del agua a nivel de cuencas, recursos naturales e infraestructura. 83p. CEPAL, ONU.*
- Eagleson, P. S. 1970. Dynamic Hydrology. The hydrologic cycle. Mc Graw-Hill. 462p. New York, USA.*

- Faustino, J. 2005. *Entidades y organismos de cuencas. Material del curso de Manejo Integrado de Cuencas II*. CATIE. 50p. Costa Rica.
- Hernández, L. (2007). "Efectos del cambio climático en los sistemas complejos de los recursos hídricos". *Aplicación a la cuenca del Júcar. Tesis doctoral de la Universidad Politécnica de Valencia*. 233p. Valencia, España.
- IMTA. 2001. *Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. Coordinación de Tecnología Hidrológica. Análisis del sistema de presas ubicadas en la cuenca del Lerma-Chapala, informe final*. 48p. México.
- INE. 2002. *Instituto Nacional de Ecología. Términos comunes de la Dirección General de Investigación en Ordenamiento Ecológico y Conservación de Ecosistemas*. <http://www.ine.gob.mx/glosario>. México.
- Jiménez, F. 2005. *Diagnóstico de Cuencas Hidrográficas. Material del curso Manejo Integrado de Cuencas Hidrográficas I*. CATIE. 13p. Costa Rica.
- Llamas, M. R. 2001. *La Inserción de las Aguas Subterráneas en los Sistemas de Gestión Integrada. Departamento de Geodinámica. Universidad Complutense*. 59p. España.
- Marañón, B. 1999. *La gestión del agua subterránea en Guanajuato. La experiencia de COTAS. Taller de transiciones en materia de tenencia de la tierra y el cambio social*. 17p. México, DF.
- Orozco, P. P. 2006. *Experiencias organizativas para el manejo de cuencas*. CATIE. 192p. Nicaragua.
- Pineda, R. 2002. *Gestión de cuencas hidrográficas en México. Plan nacional de microcuencas*. UAQ. 21p. Querétaro, México.
- Prins, C. 2005. *Procesos de innovación rural en América Central: reflexiones y aprendizajes*. CATIE. 245p. Costa Rica.
- Ramakrishna, B. 1997. *Estrategias de Extensión para el Manejo Integrado de Cuencas Hidrográficas: Conceptos y Experiencias. Serie de Investigación y Educación en Desarrollo Sostenible.. IICA*. 338p. Costa Rica.
- Sahuquillo, A. 1991. *Planificación hidrológica, los riesgos y el medio ambiente. Departamento de Ingeniería Hidráulica y Medio Ambiente. Universidad Politécnica de Valencia*. p 47. Valencia, España.

- Soto, L. 2007. *Hidrología Superficial*. <http://www.mitecnologico.com/ic/Main>. Ensenada, BC, México.
- Toledo, V. M. 1999. *Hacia una modernidad alternativa: globalización, neoliberalismo y desarrollo sustentable*. 118p. México, DF.
- UAQ. 2009. *Formación de una línea de base científica para el manejo integrado de la subcuenca específica Tábula-Picachos en San Miguel de Allende, Guanajuato. Maestría en Gestión Integrada de Cuencas*. 582p. Querétaro, México.
- Valencia, J.C. 2004. *La planeación hidráulica en México. La Gestión del agua en México: los retos para el desarrollo sustentable*. Universidad Autónoma Metropolitana. 102p. México, DF.
- Vargas, J. 2003. *Agua en espacios naturales: impacto y modelación*. Departamento de Ingeniería Civil. Universidad de Concepción. 92p. Concepción, Uruguay.
- Varis, O. 2003. *Escasez de agua y vulnerabilidad: México desde una perspectiva global. Agua, medio ambiente y desarrollo en el Siglo XXI*. Colegio de Michoacán, SUMA, IMTA. 476p. Morelia, México.
- Zanaphre, L. 2008. *Sistemas de Información Geográfica aplicados al diagnóstico de cuencas. Curso de manejo del ArcView en la obtención del balance hídrico y la erosión en cuencas hidrográficas*. Querétaro, México.
- Zury, W. 2004. *Manual de planificación y gestión participativa de cuencas y microcuencas. Proyecto de Apoyo Forestal Comunal en los Andes de Ecuador*. ONU. SOBOC. 384p. Ecuador, 2004.

CAPÍTULO 2

ANÁLISIS DEL MANEJO DEL AGUA EN LA SUBCUENCA ESPECÍFICA TÁMBULA-PICACHOS, GUANAJUATO

II.1. Introducción

El agua que es aplicada por parte del hombre para lograr distintos fines se conoce como los usos del agua. Un esquema del uso del agua, definido para la dotación de distintos consumidores con fines particulares y por cierta unidad de tiempo, se conoce como demanda de agua. Los usos del agua pueden dividirse en consuntivos y no consuntivos. Los usos consuntivos, también denominados como consumos de agua, que son dados al recurso hídrico son para el abastecimiento municipal, agrícola e industrial, principalmente. Los usos no consuntivos contemplan el uso del agua para lograr un fin, entre ellos la navegación, generación de energía eléctrica y la recreación, los cuales no representan una demanda extractiva de agua.

El sistema hidrológico de la Cuenca Lerma-Chapala está constituido por el río Lerma que es el colector principal del sistema, con poco más de 700 km de longitud, que tiene su origen en la laguna de Almoloya, al sureste de la ciudad de Toluca capital del Estado de México, al cual se le integran en su recorrido los ríos La Gavia, Jaltepec, de la Laja, Silao-Guanajuato, Turbio, Angulo, Duero, de la Pasión y Zula, hasta desembocar en el Lago de Chapala, el cuerpo de agua más grande del país (IMTA, 2001).

A fin de evaluar el funcionamiento y eficacia de un esquema de modelación para la generación de políticas de optimización en la operación del sistema hídrico conformado por la subcuena Támbula-Picachos, así como su potencial para explorar reglas de asignación del agua que, como objetivo final, permitan preservar el lago de Chapala en el largo plazo y provean los máximos volúmenes aprovechables para los usos agrícolas, pecuarios y de agua potable en la subcuena, se elige el uso de un análisis de múltiples variables con enfoque social, económico y ambiental en el entorno de trabajo del software AQUATOOL DMA, el cual permite la modelación de prácticas de manejo hídrico conjunto, así

como la generación de infinidad de escenarios espacio-temporales del consumo y recarga en el sistema delimitado por la subcuenca Tábula-Picachos (Andreu et al, 2007).

II.2. Delimitación del área de estudio

El área de estudio se localiza en la porción Este del Municipio de San Miguel de Allende, al Noreste del Estado de Guanajuato, conformada por una extensión de 390.224 km². Limita al Este con el Estado de Querétaro y el Cerro de “La Márgara”, al Sur con el Municipio de Celaya y los Cerros de “Tábula” y “Los Picachos” y al Oeste con la Presa de Allende. La subcuenca Tábula-Picachos se encuentra ubicada en las coordenadas extremas de proyección UTM (datum ITRF92, Figura 2.1):

X superior = 310,146.62 Y superior = 2, 318,195.33

X inferior = 346, 337.58 Y inferior = 2, 300, 752.05

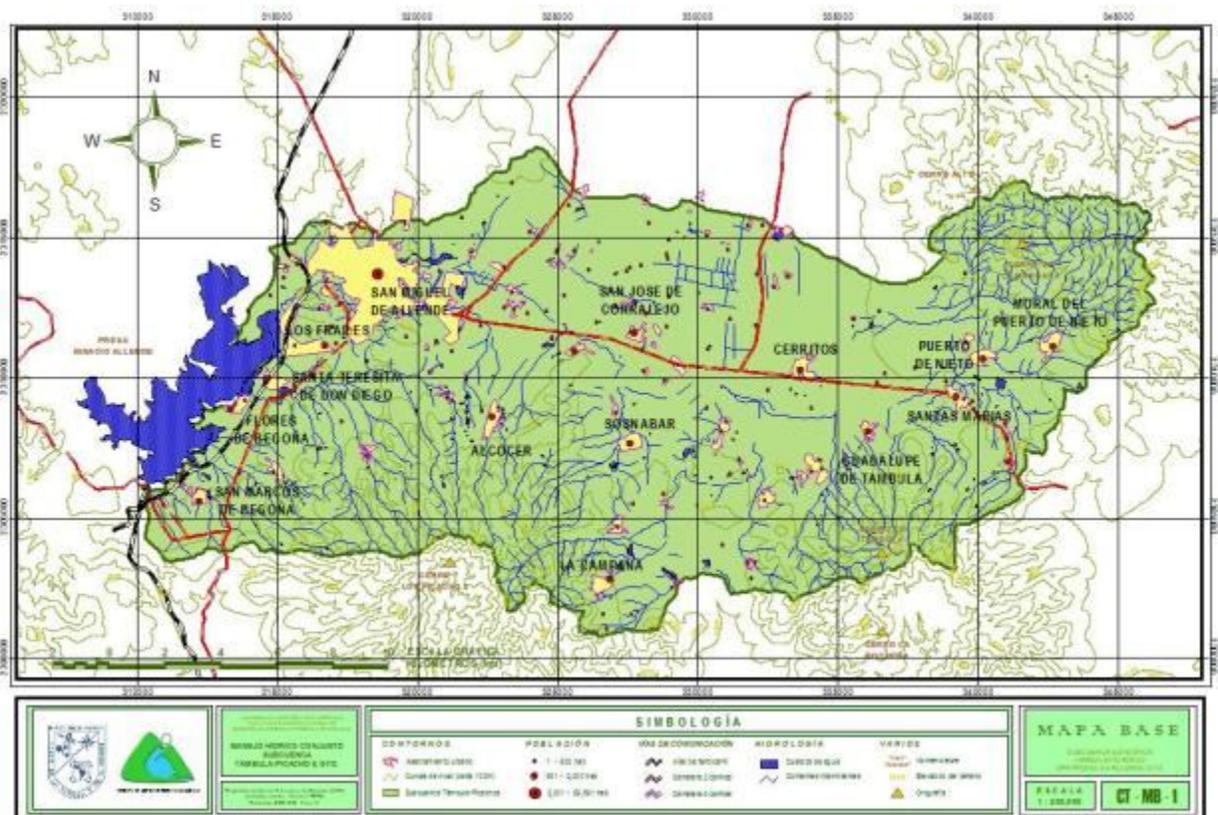


Figura 2.1. Mapa base de la Subcuenca específica Tábula-Picachos, Municipio de San Miguel de Allende, Gto.

II.2.1. Características biofísicas

II.2.1.1. Fisiografía y climatología

El área de estudio está localizada dentro de la provincia fisiográfica del Eje Neovolcánico¹ (en las sub-provincias de las “Sierras de Querétaro” y las “Sierras Volcánicas”). Está constituida por diversas “unidades geomorfológicas”², tales como barrancos, laderas sedimentarias y volcánicas, mesas volcánicas, paleo-abanicos, pies de monte, planicies aluviales, terrazas volcánicas y valles aluviales. Los principales “tipos de suelo” y sus porcentajes que se encuentran presentes dentro del área de estudio son los vertisoles (43.6%), litosoles (25.5%), feozem (18.1%) y rendzina (12.8%).

En el área de estudio y sus alrededores se localizan 8 estaciones meteorológicas, las cuales corresponden a: La Begoña, Cinco Señores, Corral de Piedras, El Charape, Los Rodríguez, Presa Jalpa, San José Iturbide y San Miguel Allende. Los datos de temperatura registrados en las estaciones consultadas en ERIC III³, registran al Norte del área de estudio un clima predominantemente de tipo seco o “B” (67%) y de tipo templado o “C” (33%) al Sur y Sureste de la subcuenca, basándose en el programa MODIFICA⁴ y usando los criterios de clasificación de climas de acuerdo a García (2006).

De acuerdo al análisis climático del documento “DMI-STP”, dentro del área de estudio se registra una temperatura predominantemente superior a los 12°C entre los meses de Marzo a Octubre. De igual manera, entre los meses de Junio a Septiembre se registran precipitaciones de entre 90 y 120mm de altura de lámina de agua y una evaporación superior a los 100mm en todos los meses del año.

¹ De acuerdo a lo registrado en la Enciclopedia de los Municipios de México, sobre el Estado de Guanajuato. <http://www.municipio.gob.mx/work/templates/enciclo/guanajuato/medi.htm>

² De acuerdo a los shapets de “Tipo de Suelo” y “Unidades Geomorfológicas”, manejados para la subcuenca Támbula-Picachos.

³ ERIC III: Extractor Rápido de Información Climática, versión III, con datos de estaciones climáticas de toda la República Mexicana hasta el año 2004, desarrollado por el IMTA.

⁴ Programa de reclasificación de tipos de clima, de acuerdo a los criterios de clasificación de la maestra Enriqueta García de la UNAM, 2004.

II.2.1.2. Uso de suelo y vegetación

La cuenca Lerma-Chapala, de acuerdo a Cotler et al. (2006), ha sido considerada característicamente una zona de asentamientos humanos y de actividad agrícola e industrial recientemente. La cuenca cuenta actualmente con aproximadamente 11 millones de habitantes, los cuales generan una gran presión sobre los recursos naturales como producto de sus actividades económicas, lo cual repercute sobre las decisiones que el gobierno ha adoptado sobre el manejo de los recursos en la cuenca, en la actualidad tendientes a la generación de propuestas de conservación y restauración de los recursos naturales en la cuenca. Los principales usos dados al suelo dentro de la subcuenca Támbula-Picachos, registrados en los “shapes” del OET-GTO (2008), están conformados como se presenta en la Tabla 2.1.

TABLA 2.1. USOS DE SUELO Y VEGETACIÓN, REGISTRADO PARA EL AÑO 2003

TIPO	DESCRIPCIÓN DEL USO DE SUELO Y VEGETACIÓN	ÁREA (km ²)	PORCENTAJE STP
1	<i>Agricultura de temporal</i>	119.96	30.74%
2	<i>Pastizal inducido</i>	82.91	21.25%
3	<i>Agricultura de riego (incluye agricultura de humedad)</i>	42.29	10.84%
4	<i>Matorral xerófilo perturbado</i>	32.27	8.27%
5	<i>Asentamientos humanos</i>	20.00	5.12%
6	<i>Vegetación secundaria, arbustiva y herbácea</i>	18.90	4.84%
7	<i>Bosque de encino perturbado</i>	17.76	4.55%
8	<i>Selva baja caducifolia perturbada</i>	11.92	3.05%
9	<i>Terracería, camino y brecha</i>	8.87	2.27%
10	<i>Bosque de encino</i>	7.90	2.03%
11	<i>Matorral xerófilo</i>	7.86	2.02%
12	<i>Cuerpo de agua (incluye canales, presas y bordos)</i>	3.75	0.96%
13	<i>Infraestructura (incluye granjas)</i>	3.57	0.91%
14	<i>Río intermitente, (incluye cauce de río)</i>	2.76	0.71%
15	<i>Zona sin vegetación aparente</i>	2.24	0.57%
16	<i>Vialidad pavimentada</i>	1.95	0.50%
17	<i>Selva baja caducifolia</i>	1.67	0.43%
18	<i>Sitio de extracción de materiales</i>	1.52	0.39%
19	<i>Zona inundable</i>	0.76	0.19%
20	<i>Vegetación riparia</i>	0.74	0.19%
21	<i>Frutales</i>	0.62	0.16%
TOTAL (km²):		390.22	

De acuerdo a Rzedowski (2006), el área de estudio pertenece a la “región florística xerofítica mexicana”, la cual tiene afinidad a la “región neo-tropical”, con una vegetación predominantemente compuesta por matorral xerófilo, pastizales y bosque espinoso. En las partes altas de la zona pueden encontrarse relictos de bosques con especies de Quercus, Salvia, Senecio, Eipatorion, Muhlenbergia, etc. En la zona, las principales comunidades vegetales están compuestas por matorral xerófilo, bosque tropical caducifolio y de encinar.

II.2.2. Características socio-económicas

De acuerdo a CONAGUA (2007) y la recopilación de datos de Ortega (2009), a subcuenca Támbula-Picachos se encuentra dentro de la región hidrológica administrativa Lerma-Santiago-Pacífico, en la subregión de planeación del Medio Lerma y dentro del Estado de Guanajuato. La subcuenca incluye la cabecera municipal del Municipio de San Miguel de Allende y un total de 131 localidades registradas por INEGI para el año 2000. Las localidades con mayor población son San Miguel de Allende (59,691 hab.), Puerto de Nieto (1,154 hab.) y Santa Teresita de Don Diego (1,091 hab.).

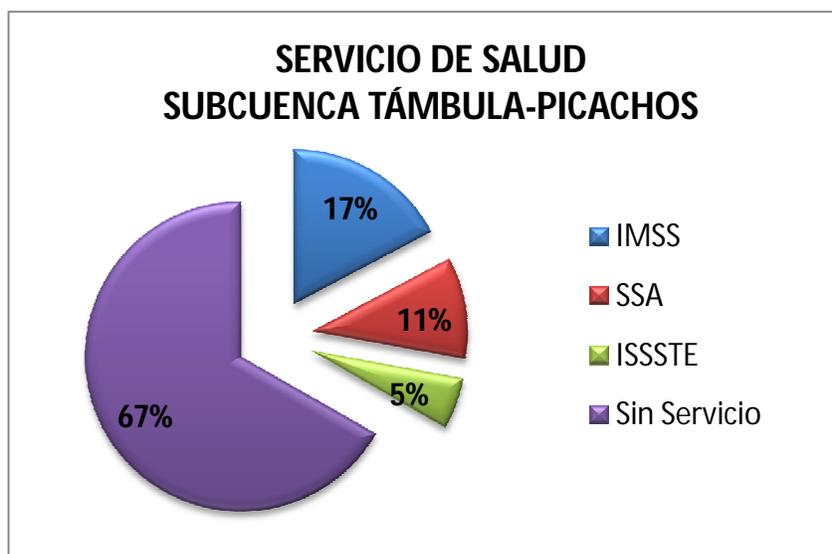


Figura 2.2. Porcentajes de Cobertura de Servicios en la Subcuenca Támbula-Picachos.

Para el II Censo de Población y Vivienda del INEGI (2005), se registran un total de 82,929 habitantes dentro de la subcuenca; de ellos 38,775 habitantes son

hombres y 43,965 son mujeres y el rango mayor de edades dentro de la subcuenca es entre 19 y 59 años⁵. Del los 82,929 habitantes, INEGI (2005) reporta un total de 28,157 derechohabientes a alguna institución gubernamental prestadora del Servicio de Salud, distribuidos de acuerdo a la Figura 2.2.

De acuerdo al II Censo de Población y Vivienda del INEGI (2005), el grado promedio de escolaridad en las comunidades de la subcuenca Tábula-Picachos se encuentra entre 3ro. y 4to. Grado de Nivel Primaria⁶. De igual manera, se tienen registrados dentro de la subcuenca un aproximado de 200 personas hablantes de alguna lengua indígena⁷. Los hogares registrados son 18,625, con un promedio de 4 integrantes por hogar y 1.04 personas por cuarto. De las 17,313 viviendas reportadas, las condiciones del servicio de agua potable, alcantarillado y electricidad son de acuerdo a los porcentajes mostrados en la Figura 2.3.

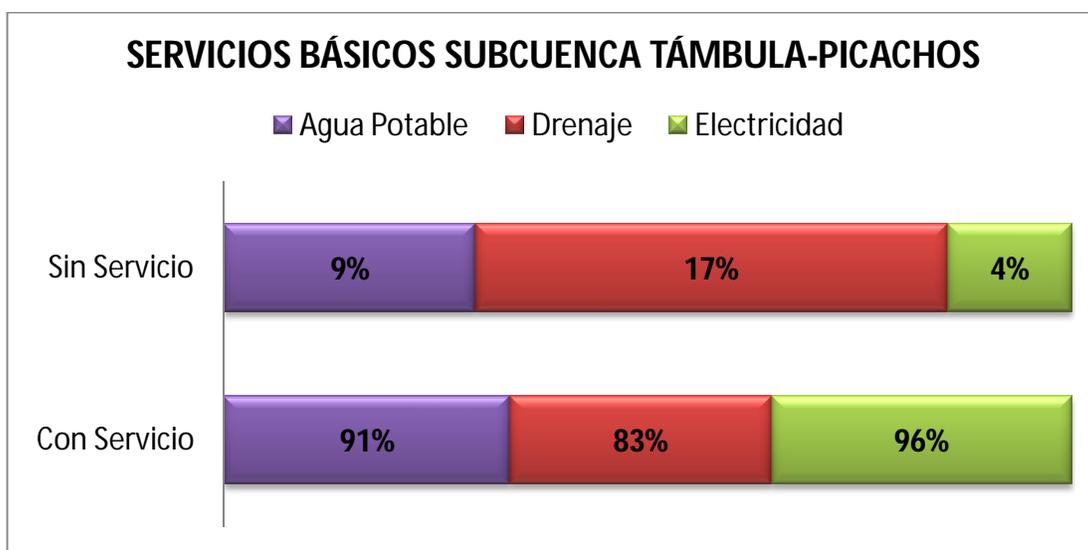


Figura 2.3. Porcentajes de los Servicios con que cuentan las viviendas en la Subcuenca Tábula-Picachos

De acuerdo al “PMI-STP”, más del 50 % de las localidades de la subcuenca son consideradas por INEGI (2005) con índices de marginación alta y muy alta; un 30 % de estas se considera con un índice de marginación media, lo que explica la

⁵ Edad considerada por INEGI como potencialmente productiva

⁶ Considerado por INEGI como un grado de escolaridad bajo.

⁷ Costumbre de comunicación que el INEGI registra como cada vez en mayor decremento.

existe una alta inequidad entre la zona urbana las zonas rurales del área de estudio.

De acuerdo a lo reportado en INEGI (2005), las actividades económicas de mayor escala dentro de la subcuenca Támara-Picachos son: las del Sector Primario (agrícola y ganadero) y las del Sector Terciario (albañilería y servicios principalmente). La agricultura está dividida como “de riego” y “de temporal” y la ganadería se considera de tipo menor. Los productores agrícolas presentes en la subcuenca son: asalariados, campesinos y empresarios. Por otro lado, los sistemas de producción desarrollados en la subcuenca pueden ser simplificados como:

- Pequeñas unidades agropecuarias
- Pequeñas unidades ganaderas
- Grandes unidades agropecuarias especializadas

La agricultura de riego se encuentra localizada en las partes bajas y planas de la subcuenca, cosechando principalmente hortalizas (como espárragos, alcachofas y brócoli), maíz y algunos forrajes para ganado (como alfalfa y sorgo). La agricultura de temporal se ubica en las partes medias y altas de la subcuenca, sembrando principalmente maíz, frijol y garbanzo, los cuales son considerados como productos de autoconsumo y/o medio de ahorro. Por otro lado, la ganadería contempla principalmente ganado caprino y ganado bobino y porcino en menor proporción. La albañilería y los servicios son comúnmente prestados fuera de las localidades de la subcuenca, principalmente en las ciudades de San Miguel de Allende, Querétaro, Guanajuato y León.

II.3. Concepción metodológica

II.3.1. Estimación de las demandas de agua

En la determinación de las necesidades y requerimientos hídricos a que es impuesto el recurso en la subcuenca resalta la adopción de un análisis cualitativo y cuantitativo del mismo, atendiendo en la mayoría de las ocasiones a la disponibilidad y accesibilidad de los datos, tanto por parte de las autoridades

competentes del manejo hídrico en los tres niveles de gobierno, así como por parte de actores clave, que amablemente ponen a disposición su conocimiento empírico de la zona donde residen.

En este sentido, es indispensable nombrar las instituciones a las cuales se tuvo acceso y recopilaron datos de la distribución formal del agua en la zona de estudio, considerando principalmente los tres usos más demandantes: agropecuario, urbano e industrial.

II.3.2. Proyecciones de crecimiento de la demanda de agua

Para el cálculo del crecimiento de la población a mediano y largo plazo, como factores incidentes de la demanda de agua específica para la dotación urbana de las localidades presentes en la subcuenca Tábula-Picachos, se optó por el uso de métodos estadísticos que reprodujeran de manera sencilla el crecimiento de las distintas demandas atendiendo a distintas escalas temporales.

El Método Aritmético tiene como principal característica el incremento constante de la muestra de trabajo, considerando incrementos de tiempo iguales y consecuentemente la velocidad de crecimiento de la muestra, es decir, la relación entre el incremento de la muestra y el período de tiempo del incremento son constantes. La fórmula del método aritmético cumple con la siguiente igualdad:

$$M_{\text{futura}} = M_{\text{actual}} + I * N, \text{ considerando que:}$$

$$I = (M_{\text{actual}} - M_{\text{pasada}}) / n, \text{ donde:}$$

M_{futura} : muestra futura

M_{actual} : muestra actual

M_{pasada} : muestra pasada

N : diferencia de tiempo entre M_{futura} y M_{pasada}

n : diferencia de tiempo entre M_{actual} y M_{pasada}

I : crecimiento anual promedio

Por su parte, el “Método Geométrico” se basa en la determinación del porcentaje anual con el que aumenta la muestra mediante los porcentajes de aumento entre los años anteriores, los cuales son aplicados para el futuro. Este método cumple con lo siguiente:

$$M_{\text{futura}} = M_{\text{actual}} + (M_{\text{actual}} * IMA * n), \text{ donde:}$$

M_{futura} : muestra futura

M_{actual} : muestra actual

IMA: incremento medio anual

n: diferencia de tiempo entre M_{actual} y M_{futura}

II.3.3. Cambios en el uso del suelo

El término uso del suelo, se refiere a las actividades humanas que se desarrollan en un territorio como resultado de la interrelación entre factores físicos o naturales y factores socioeconómicos y culturales. Las formas de ocupación, las prácticas específicas de manejo, y las fuerzas sociales, políticas y económicas son aquellas representaciones que determinan el uso de un territorio (Mendley *et al.*, 1995; Rossete *et al.*, 2009).

De acuerdo a Córdova *et al.* (2010), el estudio de la magnitud, dinámica y causalidad de los procesos de cambio de cobertura y uso del suelo es una tarea prioritaria, ya que permite tener una visión sinóptica y cuantitativa de la condición en la que se encuentran los recursos naturales y las tendencias de los procesos de degradación, en los que intervienen factores ecológicos y socioeconómicos.

La influencia del ser humano en el ambiente tiene grandes impactos, los cuales son registrados prácticamente en todas las escalas. Localmente, inducen la pérdida y degradación de suelos, cambios en el microclima y pérdida de diversidad de biológica; regionalmente, afectan la estructura y función de las cuencas hidrográficas y alteran su comportamiento hidrológico (Bocco *et al.*, 2001).

Una de las formas básicas para realizar una evaluación del cambio del uso del suelo es mediante el apoyo en “mapas de uso del suelo” que permiten

visualizar, temporal y espacialmente, la dinámica de sus cambios (Mas *et al.*, 2002). Por otro lado, de acuerdo a Córdova *et al.* (2010), los “modelos de cambio” se consideran herramientas útiles para la generación de escenarios tendenciales y alternativos proyectados al futuro (corto, mediano o largo plazo); sirviendo de soporte para la toma de decisiones en el desarrollo de estrategias para orientar y regular los impactos derivados del uso del suelo, y planificar un manejo más adecuado del territorio y sus recursos naturales (Verburg y Veldkamp, 2005).

Es necesario comentar que la metodología y dinámica del cálculo del cambio de uso del suelo en la subcuenca Támara-Picachos se basa directamente en el capítulo denominado “Análisis de la dinámica espacio- temporal del cambio de la cobertura vegetal y uso del suelo” de la propuesta de tesis “PRIORIZACIÓN DE ÁREAS PARA RECUPERAR LA FUNCIÓN HIDROLÓGICA DE LA SUBCUENCA TÁMBULA- PICACHOS, GUANAJUATO” (Córdova *et al.*, 2010), la cual tiene la finalidad de identificar los principales procesos de cambio en la zona durante un periodo de 15 años (1993-2003-2008), y explorar las posibles tendencias en un escenario al 2020.

II.4. Resultados

II.4.1. Demandas de agua por principales usos

En la Tabla 2.2 se muestran los tres principales usos dados al agua en los años 2005 al 2007 en el Municipio de San Miguel de Allende, Guanajuato, con volúmenes en Hm³/año, para los usos agropecuario, industrial y urbano, de acuerdo a la síntesis de información recabada mediante la revisión bibliográfica, el acercamiento con la Comisión Estatal del Agua de Guanajuato (CEAG⁸) y el Organismo Operador de Agua de San Miguel de Allende⁹; las consultas realizadas ante la Unidad de Acceso a la Información Pública (UAIP¹⁰) y el Sistema Estatal de Información del Agua (SEIA¹¹); la información recopilada por CONAGUA e IMTA¹²

⁸ De acuerdo a los datos obtenidos en mayo del 2009, por parte del responsable de Información de la CEAG, Mario Alejandro de Alba, en conjunto con la Arq. Ma. Concepción Eugenia Gutiérrez García, Directora General de Planeación de la CEAG.

⁹ De acuerdo al Inventario de Aprovechamientos de Agua para el Municipio de San Miguel de Allende, Gto., publicado en el Diario Oficial de la Federación, el día Viernes 28 de Agosto del 2009 por CONAGUA, en la página <http://www.dof.gob.mx>.

¹⁰ De acuerdo a la consulta realizada en mayo del 2009 a la Dirección de Trámites y Servicios de la CEAG y como parte del Acceso a la Información Pública, en la página <http://www.guanajuato.gob.mx/ceag/tramites.php>.

¹¹ De acuerdo a los datos registrados en junio del 2009 y publicados en la página <http://seia.guanajuato.gob.mx/index.html>.

sobre el uso, disposición y manejo del agua en el municipio y, de acuerdo a los registros más recientes de CONAGUA¹³.

TABLA 2.2. REGISTRO ANUAL DEL USO DEL AGUA EN EL MUNICIPIO DE SAN MIGUEL DE ALLENDE, GTO.

USO DEL AGUA (Hm3/año)	2005		2006		2007	
	sup	sub	sup	sub	sup	sub
<i>Agropecuario</i>	0.94	66.98	0.94	72.62	2.97	75.21
<i>Urbano</i>	0.31	13.39	0.31	13.54	0.31	13.56
<i>Industrial</i>	0.11	0.21	0.11	0.21	0.11	0.21
<i>Total del agua usada (Hm3/año) en el municipio</i>	1.36	80.57	1.36	86.37	3.39	88.98
PROMEDIO GRAL		sup		sub		Total
<i>Agropecuario</i>		1.61		71.60		73.22
<i>Urbano</i>		0.31		13.49		13.80
<i>Industrial</i>		0.11		0.21		0.32

En la Figura 2.4 se muestran los promedios generales del consumo de agua por uso y por fuente para los años 2005, 2006 y 2007 en el Municipio de San Miguel de Allende, Gto.

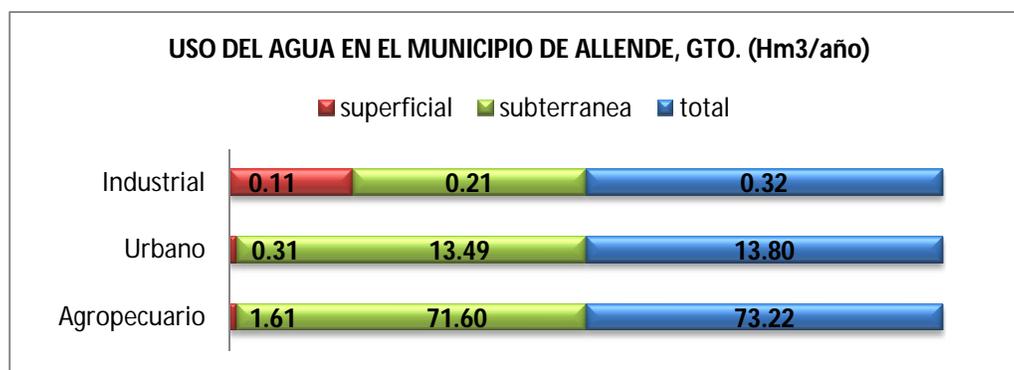


Figura 2.4. Promedio anual (2005, 2006, 2007) del uso del agua en el Municipio de San Miguel de Allende, Gto.

Cotler et al. (2006) señala que, comparativamente, del uso dado al agua subterránea para la producción agropecuaria dentro del Medio Lerma y especialmente en la Cuenca del Río Laja (donde se incluye a la zona de estudio), el uso pecuario no tiene una gran representación respecto al uso agrícola, por lo que se considera generalmente como un uso para la producción agrícola en

¹² En base a los reportes técnicos sobre disponibilidad del agua subterránea en el Acuífero del Río Laja, Guanajuato, elaborados y revisados por IMTA para el Estado de Guanajuato, México, en el año 2000 y 2006.

¹³ De acuerdo a la consulta realizada en junio del 2009 a los registros del Sistema Nacional de Información del Agua (SINA) de CONAGUA, para los años 2005, 2006 y 2007, en la página <http://www.conagua.gob.mx/>.

general. De igual manera, en base a lo registrado en los PRPC sobre la producción ganadera en las microcuencas, el principal tipo de pastoreo practicado es el extensivo, donde el ganado obtiene el requerimiento hídrico mediante agostaderos y bordos localizados de manera generalizada dentro de la subcuenca, abastecidos en la época de lluvia, mediante la conducción y captación en pequeños embalses de tierra. Por lo cual, es evidente que el uso agropecuario del agua está mayormente influenciado por demandas de agua subterránea para mantener una “producción agrícola intensiva”¹⁴, practicada en las partes medias y bajas de la subcuenca Támbula-Picachos.

II.4.1.1. Uso agropecuario

El Municipio de San Miguel de Allende, Gto. abarca un área aproximada de 1550.71km², de los cuales 567.40km² son superficie cultivable y dentro de esta, 480.85km² son de cultivos de temporal y 86.55km² de cultivos de riego. Por su parte, la Subcuenca Támbula-Picachos cuenta con un área aproximada de 390.22km² y dentro de esta, la superficie cultivable es de 162.2km²; en esta la superficie de riego es de 42.2km² y la de temporal de 119.9km². En porcentaje, los principales tipos de superficie en la subcuenca son: de cultivos, asentamientos humanos y cobertura vegetal (Figura 2.5).

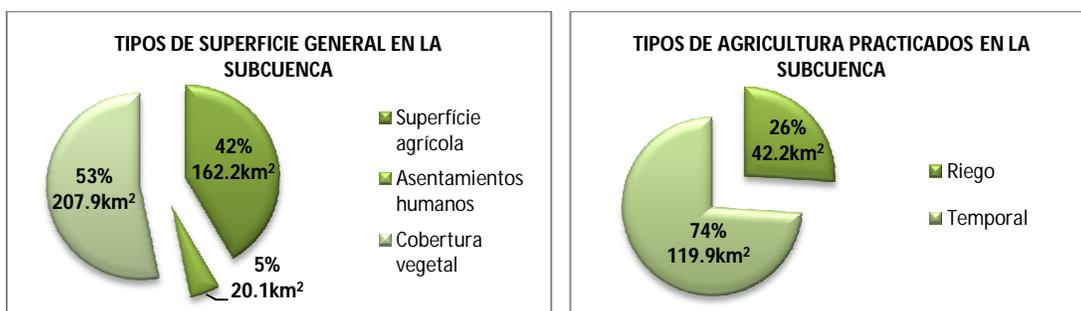


Figura 2.5 Tipos de superficie general y tipos de agricultura practicados en la Subcuenca Támbula-Picachos

De las figuras anteriores, puede observarse que la zona de estudio presenta un alto grado de perturbación ecológica, debido al cambio de uso de suelo y la presión sobre los recursos naturales de la zona, que a lo largo del

¹⁴ De acuerdo a la revisión y los registros de los PRPC de las microcuencas de la zona de estudio, así como lo plasmado en el PMI-STP.

tiempo los pobladores de esta zona le han impuesto a la misma, con el objetivo de lograr una mayor producción agrícola principalmente. En la Figura 2.6 se muestra el mapa de uso de suelo y vegetación de la subcuenca Támara-Picachos, para el año 2003.

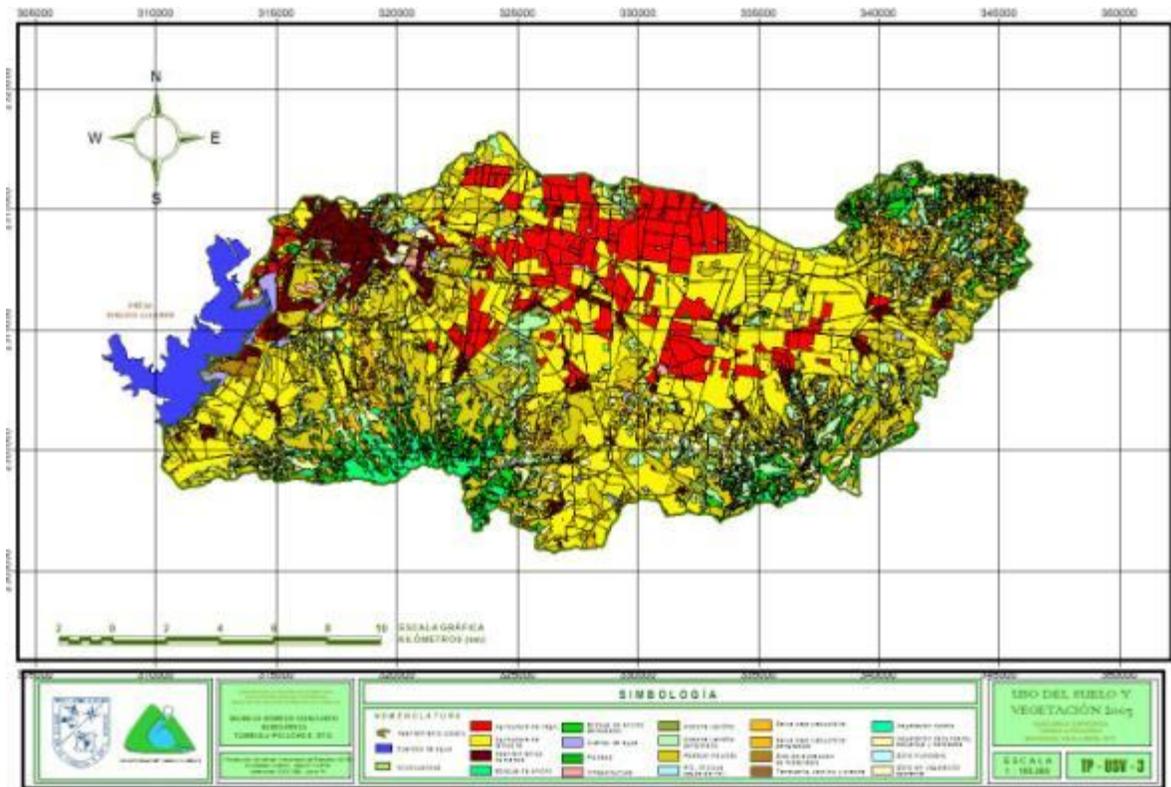


Figura 2.6. Mapa de Uso de Suelo y Vegetación del año 2003 elaborado para la Subcuenca Támara-Picachos, Gto.

A continuación, en la Figura 2.7 se presentan los porcentajes de superficie dentro de la subcuenca Támara-Picachos destinada a la producción agrícola, tanto de riego como de temporal. Las microcuencas de *El Huizachal* y *San Miguel de Allende* son las que cuentan con mayor superficie para agricultura de riego (33% y 31% respectivamente), mientras que la microcuenca de *San Marcos de Begoña* no reporta superficie agrícola de riego, sino de temporal en su totalidad. Por otro lado, las microcuencas de *Sosnabar* y *El Huizachal* son las que cuentan con mayor superficie de agrícola de temporal, reportando un 24% y un 16% respectivamente.

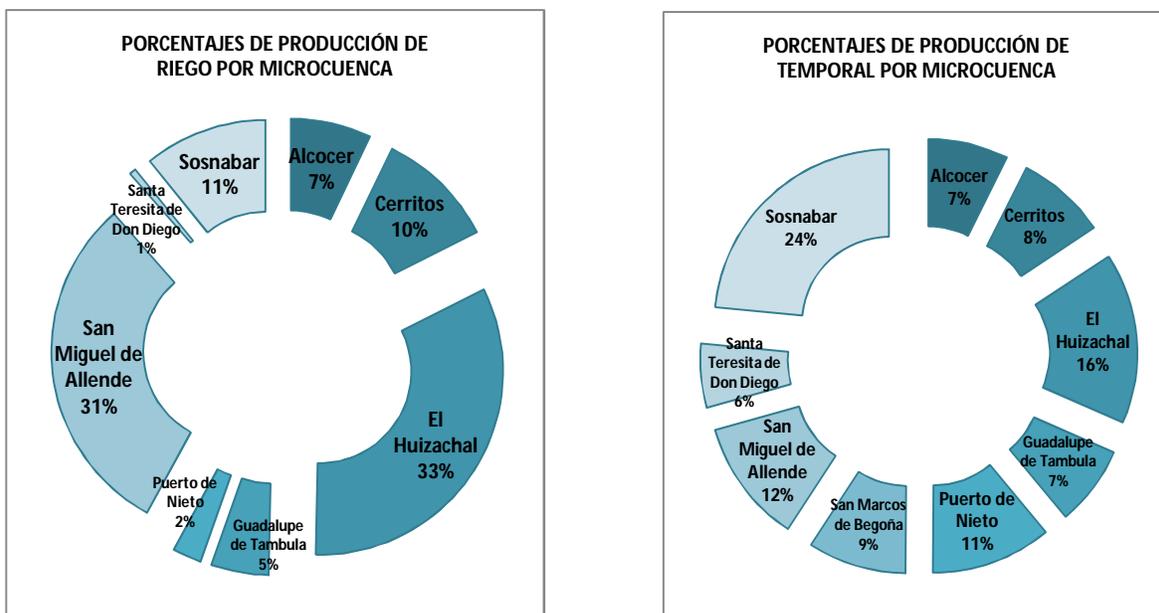


Figura 2.7 Porcentajes de superficie agrícola de riego y de temporal por microcuena

De acuerdo a los datos del SIG¹⁵, extraídos del shape de “uso de suelo y vegetación”¹⁶, la superficie agrícola registrada como de propiedad ejidal y propiedad privada (o pequeña propiedad), tanto de riego como de temporal, se encuentra distribuida dentro de la subcuena como se presenta en la Figura 2.8.

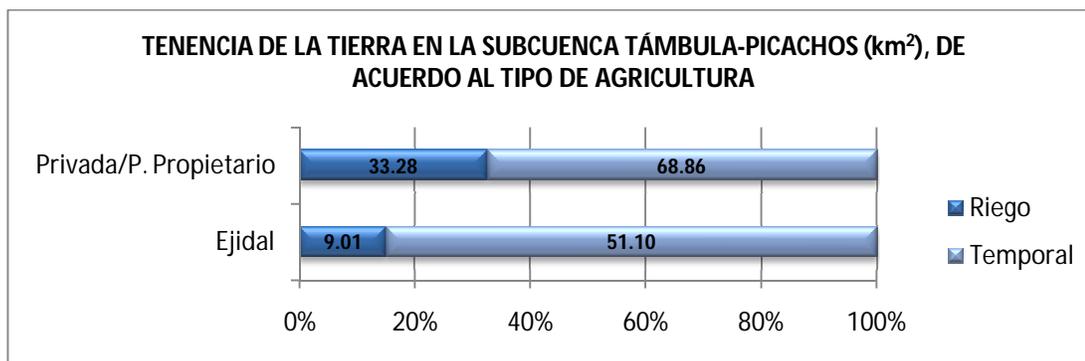


Figura 2.8. Superficies agrícolas y Tenencia de la tierra en la Subcuena Támula-Picachos, de acuerdo al tipo de agricultura

De acuerdo a la figura anterior, de los 60.11km² de superficie agrícola demarcada como de “propiedad ejidal”, el 85.01% es de agricultura de temporal y

¹⁵ SIG: Sistemas de Información Geográfica. Conjunto de “shapes” usados como base datos para los estudios realizados en la Subcuena Támula-Picachos, Gto.

¹⁶ De acuerdo a los datos registrados para el año 2003 en el shape “usv_2003” en la Subcuena Támula-Picachos, Gto.

el 14.99% de agricultura de riego. En contraste, de los 102.14km² demarcados como “propiedad privada”, el 67.42% de la superficie es de agricultura de temporal y el 32.58% de agricultura de riego. Comparando las superficies de riego entre el tipo de tenencia de la tierra, la propiedad privada consume, en proporción, 3.7 veces más agua para riego que los de propiedad ejidal.

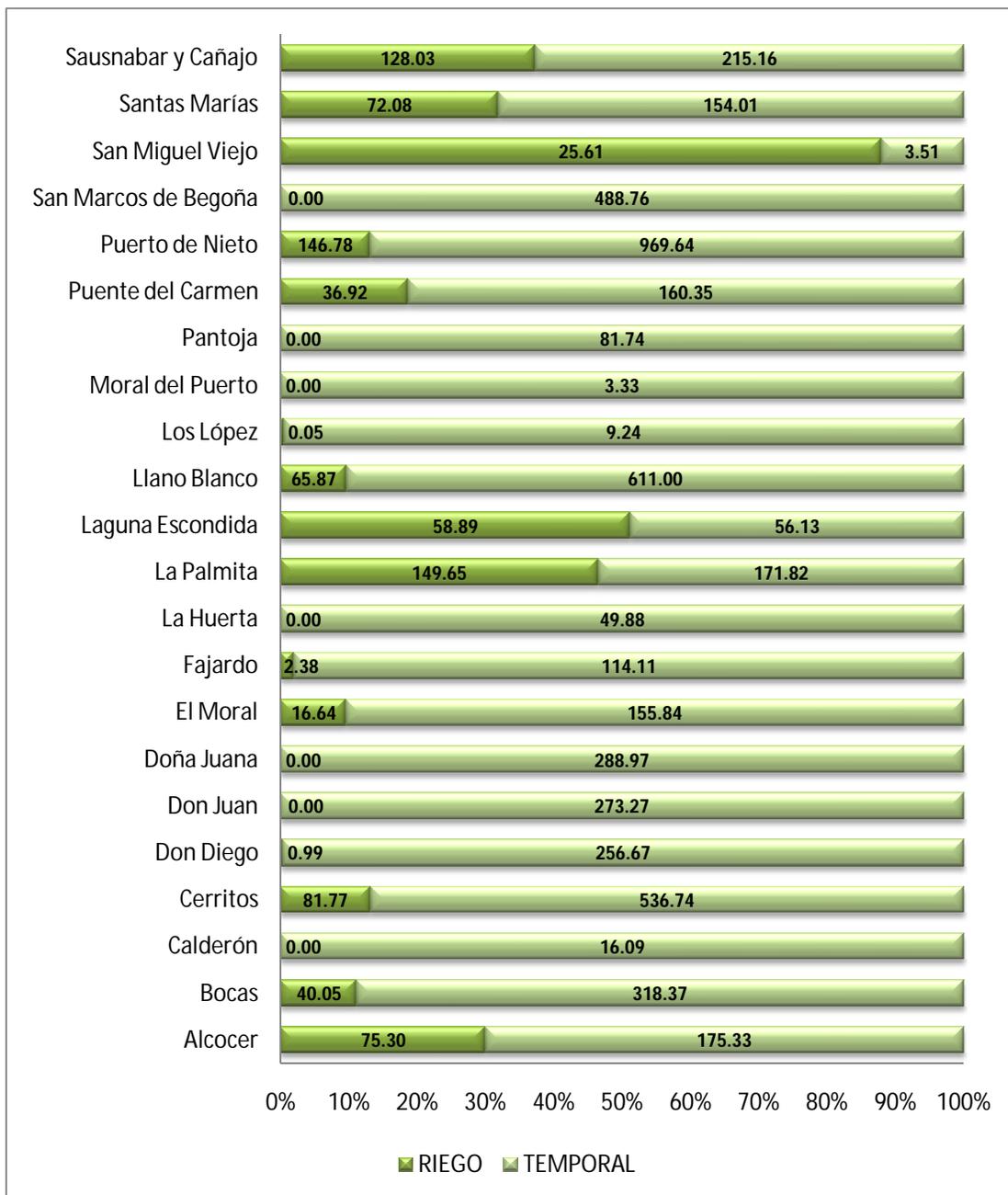


Figura 2.9. Ejidos registrados dentro de la Subcuenca Támara-Picachos y sus superficies (en ha), de acuerdo al tipo de agricultura (riego y temporal)

Ahora bien, en la Figura 2.9 se encuentran desglosados las hectáreas de superficie agrícola registrados para cada uno de los 22 ejidos¹⁷ pertenecientes a la subcuenca, y de acuerdo a los PRPC¹⁸ de las microcuencas del área de estudio, según el tipo de agricultura que se practica en ellos (de riego o de temporal).

Los ejidos de *Puerto de Nieto, Llano Blanco, Cerritos y San Marcos de Begoña* cuentan con la mayor superficie agrícola de carácter “temporal” (con un total de 2,606.14km²), componiendo el 51% del total del área de agricultura de temporal en la subcuenca. De igual manera, los ejidos de *La Palmita, Puerto de Nieto y Sosnabar y Cañajo* son los que cuentan con mayor la superficie agrícola de “riego” (haciendo un total de 424.46km²), componiendo el 47.10% del total del área de agricultura de riego en la subcuenca.

De acuerdo a los registros del “PMI-STP”, para la producción agrícola, la mayor parte de consumo hídrico en la subcuenca proviene de fuentes de alimentación subterránea, pues al no contar con un sistema de riego superficial (con excepción de una porción en la microcuenca *San Miguel de Allende*), la demanda es satisfecha mediante la extracción de agua desde pozos profundos, principalmente desde el acuífero demarcado como “San Miguel de Allende” y en una pequeña porción desde la parte baja del acuífero “Cuenca Alta del Río Laja” (principalmente para las microcuencas *San Marcos de Begoña, Santa Teresita de Don Diego y San Miguel de Allende*).

La zona agrícola dentro de la Subcuenca Tábula-Picachos forma parte del Distrito de Riego 085, conocido como La Begoña, donde están especificadas las concesiones y dotaciones por usuario del agua superficial del Río Laja, Gto.; dicha agua superficial no es utilizada para la producción agrícola en la zona de estudio. Por otro lado, de acuerdo a la CEAG, el Comité Técnico de Aguas Subterráneas (COTAS, 2004) de Guanajuato es el encargado de manejar las concesiones sobre la explotación de los acuíferos en la zona de estudio. Por su

¹⁷ De acuerdo a los datos registrados en el shape “usv_2003”, perteneciente al SIG de la Subcuenca Tábula-Picachos, Gto.

¹⁸ En base a los datos registrados en los Planes Rectores de Producción y Conservación, “PRPC”, de acuerdo a los lineamientos de CONAFOR, elaborados para cada microcuenca y plasmados en el documento “DMI-STP”.

parte, CONAGUA¹⁹ ha catalogado a los acuíferos de la zona del bajío de Guanajuato como “sobreexplotados”, por lo que no deben ser otorgadas nuevas concesiones de explotación subterránea en esta zona. A continuación, en la Tabla 2.3 se muestra la demanda de agua por microcuenca, en base a la superficie agrícola de riego en la subcuenca.

TABLA 2.3. DEMANDA DE AGUA POR MICROCUENCA (Hm³/año)

MICROCUENCA	ÁREA (Ha)	VOLUMEN
<i>Alcocer</i>	1187.86	2.49
<i>Cerritos</i>	1445.11	3.68
<i>El Huizachal</i>	3275.28	11.44
<i>Guadalupe de Támara</i>	1105.41	1.77
<i>Puerto de Nieto</i>	1444.17	0.90
<i>San Marcos de Begoña</i>	1093.40	0.00
<i>San Miguel de Allende</i>	2668.01	10.76
<i>Santa Teresita de Don Diego</i>	734.17	0.20
<i>Sosnabar</i>	3271.19	3.80
Total (Ha):	16,224.60	35.03

En la Figura 2.10 se detallan los porcentajes por microcuenca de demanda de agua subterránea para la producción agrícola que se desarrolla en la subcuenca, destacando las microcuencas de *El Huizachal* y *San Miguel de Allende* (en la zona norte de la subcuenca), con el 33% y 31% respectivamente (11.44 y 10.71 Hm³/año), la cual extrae agua del acuífero “San Miguel de Allende”.

Por otro lado, la microcuenca de *San Marcos de Begoña*, es la única de la zona de estudio que no cuenta con producción agrícola de riego, sino de temporal, por lo que no se considera que demande agua subterránea. Se considera que una porción de la microcuenca San Miguel de Allende demanda agua superficial para el riego, tomando un 0.05Hm³/año por bombeo de la Presa Ignacio Allende y para fines prácticos, este volumen es considerado parte de los escurrimientos superficiales de la “UE1”²⁰ del área de estudio.

¹⁹ De acuerdo a lo registrado en el documento del Estudio hidrogeológico del acuífero Río Laja-San Felipe, Gto. del 2000.

²⁰ Descrita en párrafos anteriores como la Unidad de Escurrimiento General No. 1 de la Subcuenca Támara-Picachos, Gto.

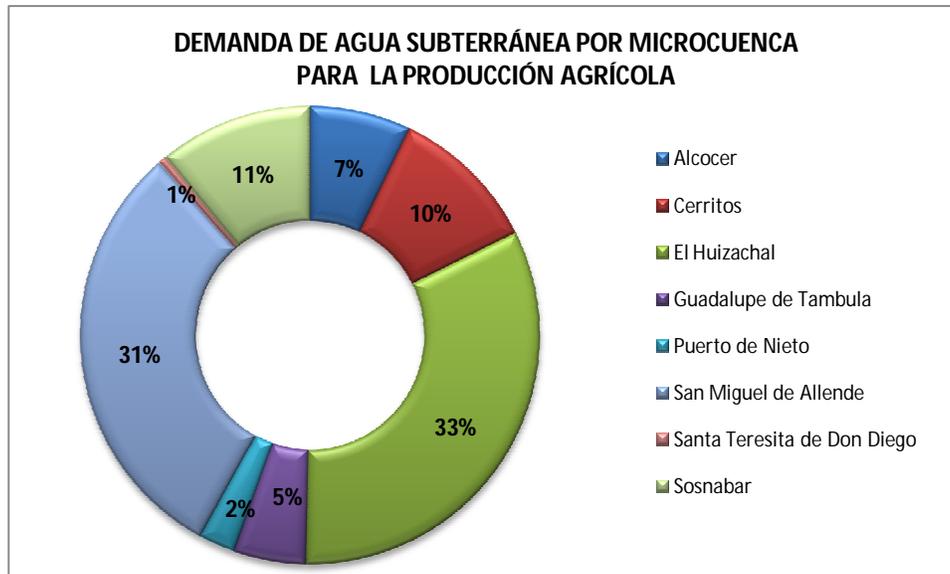


Figura 2.10. Porcentaje de demanda de agua para riego agrícola por microcuenca dentro de la subcuenca Tám-bula-Picachos

II.4.1.2. Uso urbano

El crecimiento de la mayoría de las concentraciones rurales y urbanas dentro de la subcuenca, especialmente hacia zonas con difícil acceso para servicios de agua potable, ha ocasionado la adopción de soluciones provisionales que posteriormente intentan considerarse como definitivas, provocando una reducción en la eficiencia de las redes de distribución del agua, por lo que su manejo genera una gran complejidad y dificulta su operación y mantenimiento.

A partir del año 2002, el Municipio de San Miguel de Allende, Gto., ha desarrollado y puesto en práctica un “Plan Maestro para el Manejo del Agua Potable y Alcantarillado” (PM-MAPA²¹), como un esfuerzo organizado y conjunto entre la Comisión Estatal de Agua de Guanajuato y el Organismo Operador del Agua Municipal. En este documento se realiza un diagnóstico de los servicios de agua potable y alcantarillado en el municipio, se caracterizan los recursos disponibles (las fuentes y los usos dados al agua superficial y subterránea), así como la planeación técnica de la administración actual y tendencial del sistema de agua potable y alcantarillado en el municipio.

²¹ En base al documento “Plan maestro para el mejoramiento de los servicios de agua potable, alcantarillado y saneamiento del Municipio de San Miguel de Allende, Guanajuato”. 2002.

De acuerdo al II Censo de Población y Vivienda del INEGI (2005), en el Municipio de San Miguel de Allende, Gto. se registra un total de 139,297 habitantes, de los cuales 82,663 habitan en la subcuenca Támbula-Picachos, representando el 59.3% de la población total del municipio. La CEAG identifica y reconoce 504 aprovechamientos²², de los cuales el 84% son pozos, 15% son norias y el 1% son manantiales.

- De los manantiales se extrae 0.16 Hm³/año para uso doméstico y recreativo
- De las norias se extrae 0.9 Hm³/año para uso agropecuario y abastecimiento público
- De los pozos se extrae 61 Hm³/año, de los cuales el 74.6 % es para uso agropecuario, el 25.2 % es para abastecimiento público y el 0.2% para industria autoabastecida

Para la determinación de las demandas de abastecimiento público, las localidades de la subcuenca fueron agrupadas de acuerdo a las nueve unidades de intervención reconocidas por el Instituto de Ecología del Estado de Guanajuato (IEEG, 2007) para llevar a cabo el proceso de gestión y manejo de recursos de la zona de estudio. En la Tabla 2.4 se muestran las demandas de agua para abastecimiento urbano de la zona de estudio, atendiendo al tipo de demanda (superficial y/o subterránea) en cada microcuenca.

Las principales fuentes de abastecimiento de esta demanda son: la captación superficial de manantiales y la extracción en pozos profundos, las cuales representan el 2.3% y 97.7% respectivamente del total de la demanda urbana, de acuerdo a los datos de CONAGUA (2007) y Ortega (2009). Para fines prácticos, el agua captada de los manantiales se considera como una demanda abastecida por el escurrimiento superficial de la zona de estudio.

²² De acuerdo a los datos obtenidos en mayo del 2009, por parte del responsable de Información de la CEAG, Mario Alejandro de Alba, en conjunto con la Arq. Ma. Concepción Eugenia Gutiérrez García, Directora General de Planeación de la CEAG.

TABLA 2.4. DEMANDA DE AGUA POR MICROCUENCA PARA ABASTECIMIENTO URBANO (Hm³/año)

MICROCUENCA	POBLACIÓN	SUPERFICIAL	SUBTERRÁNEO	TOTAL	% STP
<i>Alcocer</i>	1,401	---	0.136	0.136	1.69%
<i>Cerritos</i>	1,904	0.046	0.184	0.230	2.30%
<i>El Huizachal</i>	532	0.046	0.052	0.097	0.64%
<i>Guadalupe de Támbula</i>	1,222	0.031	0.118	0.149	1.48%
<i>Puerto de Nieto</i>	3,696	---	0.358	0.358	4.47%
<i>San Marcos de Begoña</i>	1,475	---	0.143	0.143	1.78%
<i>San Miguel de Allende</i>	65,171	0.061	6.313	6.374	78.84%
<i>Santa Teresita de Don Diego</i>	1,809	---	0.175	0.175	2.19%
<i>Sosnabar</i>	5,453	---	0.528	0.528	6.60%
TOTAL Subcuenca:	82,663	0.183	8.008	8.191	100%

De igual manera, en la Figura 2.11 se muestran los porcentajes de demanda de agua por microcuenca para el abastecimiento de agua potable en la subcuenca Támbula-Picachos. El 78.8% de la demanda de agua potable subterránea pertenece a la microcuenca de *San Miguel de Allende*, seguida de las microcuencas de *Sosnabar* y *Puerto de Nieto* (con el 6.6% y 4.5% respectivamente).

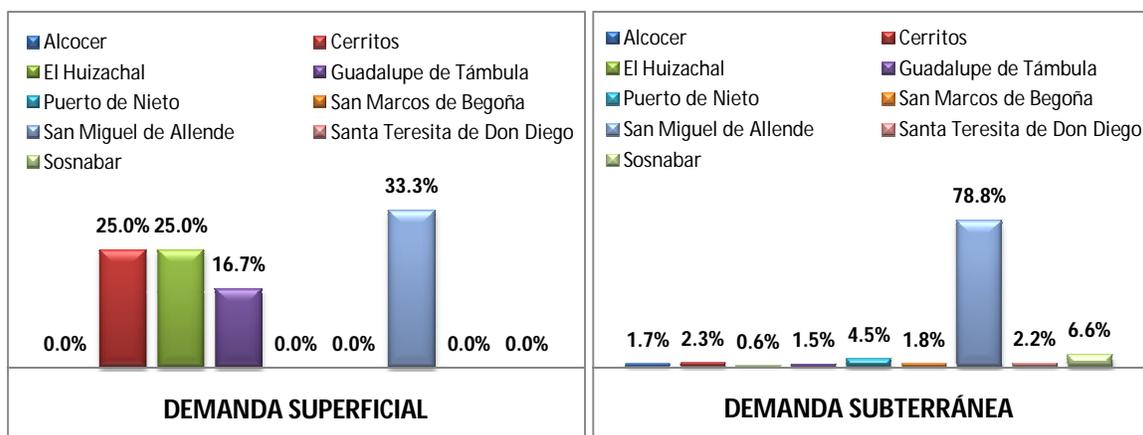


Figura 2.11. Porcentajes por microcuenca de demanda de agua superficial y subterránea para el abastecimiento público

II.4.1.3. Uso industrial

Las demandas de agua de tipo industrial fueron determinadas de acuerdo al número de granjas y fábricas que se tienen registradas en INEGI (2005) para la zona de estudio, las cuales son citadas en el documento “PMI-STP”, así como

también en base a la información proporcionada por la CEAG y CONAGUA para el uso industrial del agua en el Municipio de San Miguel de Allende, Gto. La principal demanda industrial la tiene la microcuenca de San Miguel de Allende, con el 30% del uso industrial registrado para los años 2005, 2006 y 2007. Los principales tipos de industrias registrados por INEGI (2005) y en la síntesis de Ortega (2009) son:

- Fábricas textiles y de derivados lácteos
- Granjas avícolas y porcinas

Las demandas de agua de tipo industrial se encuentran reguladas y sujetas a las concesiones de uso y explotación superficial y subterránea que impone CONAGUA para una determinada región, las cuales suelen no variar a lo largo de un año o de un período de años. De acuerdo a la CEAG, la totalidad del agua utilizada con fines industriales dentro del Municipio San Miguel de Allende, Gto., es de origen subterráneo. En la Tabla 2.5 se muestra la distribución de las demandas de agua para uso industrial dentro de la subcuenca Támara-Picachos.

TABLA 2.5. DEMANDA DE AGUA POR MICROCUENCA Y USO INDUSTRIAL (Hm³/año)

MICROCUENCA	TIPO DE INDUSTRIA	VOLUMEN	% STP
<i>Alcocer</i>	Fábrica de quesos	0.016	20.00%
<i>Cerritos</i>	Sin datos	0.000	0.00%
<i>El Huizachal</i>	Granja N21	0.008	10.00%
<i>Guadalupe de Támara</i>	Granja N23	0.008	10.00%
<i>Puerto de Nieto</i>	Granja Leticia y N22	0.016	20.00%
<i>San Marcos de Begoña</i>	Sin datos	0.000	0.00%
<i>San Miguel de Allende</i>	Fábrica Textil / Otros	0.024	30.00%
<i>Santa Teresita de Don Diego</i>	Granja de Villegas	0.008	10.00%
<i>Sosnabar</i>	Sin datos	0.000	0.00%
TOTAL Subcuenca:		0.081	100%

De los 0.32Hm³/año de demanda de agua para uso industrial registrados por CONAGUA en el Municipio de San Miguel de Allende, Gto., la subcuenca demanda apenas 0.08Hm³/año. En la Figura 2.12 se muestran los porcentajes de demanda industrial por microcuenca en la zona de estudio.

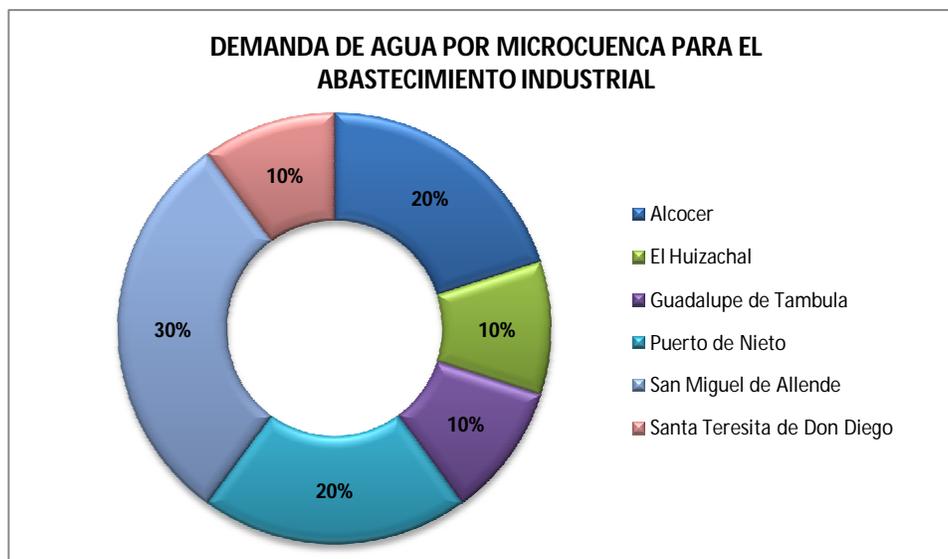


Figura 2.12 Porcentaje de demanda de agua por microcuenca para el abastecimiento industrial en el área de estudio

A manera de resumen, en la Tabla 2.6 se presenta la demanda total por microcuenca, atendiendo al uso agrícola, urbano e industrial en la subcuenca Tábula-Picachos.

TABLA 2.6. DEMANDA TOTAL DE AGUA POR MICROCUENCA (Hm³/año)

MICROCUENCA	AGRÍCOLA	URBANO	INDUSTRIAL	TOTAL	% STP
<i>Alcocer</i>	2.49	0.139	0.016	2.644	6.11%
<i>Cerritos</i>	3.68	0.189	0.000	3.866	8.93%
<i>El Huizachal</i>	11.44	0.053	0.008	11.501	26.56%
<i>Guadalupe de Tábula</i>	1.77	0.121	0.008	1.901	4.39%
<i>Puerto de Nieto</i>	0.90	0.366	0.016	1.282	2.96%
<i>San Marcos de Begoña</i>	0.00	0.146	0.000	0.146	0.34%
<i>San Miguel de Allende</i>	10.76	6.458	0.024	17.240	39.81%
<i>Santa Teresita de Don Diego</i>	0.20	0.179	0.008	0.389	0.90%
<i>Sosnabar</i>	3.80	0.540	0.000	4.336	10.01%
TOTAL Subcuenca:	35.03	8.19	0.08	43.30	100%

II.4.2. El manejo del agua a mediano y largo plazo

II.4.2.1. Incremento tendencial de las demandas agropecuarias

Para la determinación de la tendencia de incremento de las demandas agropecuarias se parte de conocer el histórico de demandas extractivas registradas en el Acuífero Cuenca Alta del Río Laja, a partir del cual se desglosan las extracciones registradas en el Acuífero San Miguel de Allende, perteneciendo

este al primero. En la Tabla 2.7 se muestra el registro de las demandas para abastecimiento agropecuario en los acuíferos antes mencionados.

TABLA 2.7. VOLÚMENES DE EXTRACCIÓN REGISTRADOS PARA LA SUBCUENCA TÁMBULA-PICACHOS PARA EL PERÍODO DE 1950 A 2007

Volumen histórico de extracciones acuífero Cuenca Alta del Río Laja			
AÑO	APROVECHAMIENTOS	VOL (HM3/AÑO)	FUENTE
1950	250	45	PDF1
1970	844	165.63	SRH-1970
1981	1320	412.56	SRH-1981
1987	1409	449.72	CNA-1992
1992	1636	542.29	CNA-1992
2000	1995	759.65	PDF1

PDF1: Explotación y renovabilidad del agua subterránea en una cuenca semi-árida del antiplano mexicano

Volumen histórico de extracciones acuífero SMA				Subcuenca
AÑO	APROVECHAMIENTOS	VOL (HM3/AÑO)	FUENTE	(Hm ³ /mes)
1950	23	4.1	SRH-1970	0.175
1970	77	15.08	SRH-1970	0.423
1981	120	37.56	SRH-1981	1.463
1987	128	40.94	CNA-1992	1.745
1992	149	49.37	CNA-1992	2.031
2000	161	69.15	CNA 2000	3.263
2005	161	70.57	CONAGUA-2006	3.798
2006	161	76.37	CONAGUA-2007	3.864
2007	161	78.98	CONAGUA-2008	4.082

Para el año 2004, el volumen extraído en la subcuenca era de 43.3Hm³/año (3.61Hm³/mes aprox.). El incremento de las demandas agropecuarias registrado es a razón de un 13.6% anual, no así los aprovechamientos registrados ante la CONAGUA, sumando un total de 161 para el año 2007 en la subcuenca Támara-Picachos. Por lo que, para este mismo año, en la subcuenca se registró una explotación de 48.98Hm³, que equivalen a 4.08Hm³/mes aproximadamente, restando 30.01Hm³ utilizados en otra zona del acuífero San Miguel de Allende. Cabe señalar que no toda el agua utilizada en la subcuenca proviene de un solo acuífero, por lo que se tienen las siguientes consideraciones:

- Solo se extrae un 15% de agua del acuífero SMA para dotación urbana en San Miguel de Allende
- El agua considerada para uso industrial es 100% de extracción subterránea

- El agua considerada para uso agricultura es 100% de extracción subterránea
- Para las microcuencas de San Marcos de Begoña y Sta. Teresita no se considera el abastecimiento subterráneo del acuífero SMA
- Para las microcuencas de San Marcos de Begoña y Sta. Teresita solo considerará respectivamente un acuífero tipo depósito con nivel del acuífero INDEPENDENCIA en cada zona
- Para la microcuenca de SMA se considerará que se abastece en un 85% de su demanda urbana de un acuífero tipo depósito simplificado con el nivel del acuífero INDEPENDENCIA en la zona
- Los 3 tipos de demandas se considerarán uniformemente repartidos a través del año
- El 100% de la demanda industrial se abastece del acuífero INDEPENDENCIA, modelado como un acuífero tipo depósito
- El nivel inicial del acuífero SMA se considerará de:
 - o a. Nivel de acuífero tipo depósito en San Marcos de begoña: 1899.97msnm
 - o b. Nivel de acuífero tipo depósito en Santa Teresita: 1860.72msnm
 - o c. Nivel del acuífero tipo depósito en San Miguel de Allende: 1840.51msnm
 - o d. Nivel de la Presa de Allende: 1850.0msnm
 - o e. Se considera que las extracciones a 400m de profundidad para abastecer a SMA en su parte baja
 - o f. La diferencia de nivel entre el acuífero SMA e INDEPENDENCIA es de: 27.45m
 - o f. La diferencia de curvas de nivel entre el acuífero SMA e INDEPENDENCIA es de: 150m

Por otro lado, en la Tabla 2.6 se presenta una columna con los incrementos en las extracciones mensuales para los años de 1950 al 2007. Las extracciones

para este último año son del orden de 4.08Hm³/mes, siendo esto equivalente a 49Hm³ de agua extraída anualmente del acuífero San Miguel de Allende y representando un 71% del total de la demanda agropecuaria, el cual es utilizado para la modelación del funcionamiento del acuífero San Miguel de Allende. Por tanto, basándose en este hecho, se graficaron las tendencias polinomial, logarítmica y lineal para calcular el incremento de la demanda agropecuaria (Figura 2.13) para los años 2025 y 2050. De igual manera, mediante el uso del método geométrico se calculó el incremento de la demanda para la serie de datos históricos con que se cuenta y posteriormente se realizó un promedio de los mismos, resultando lo siguiente:

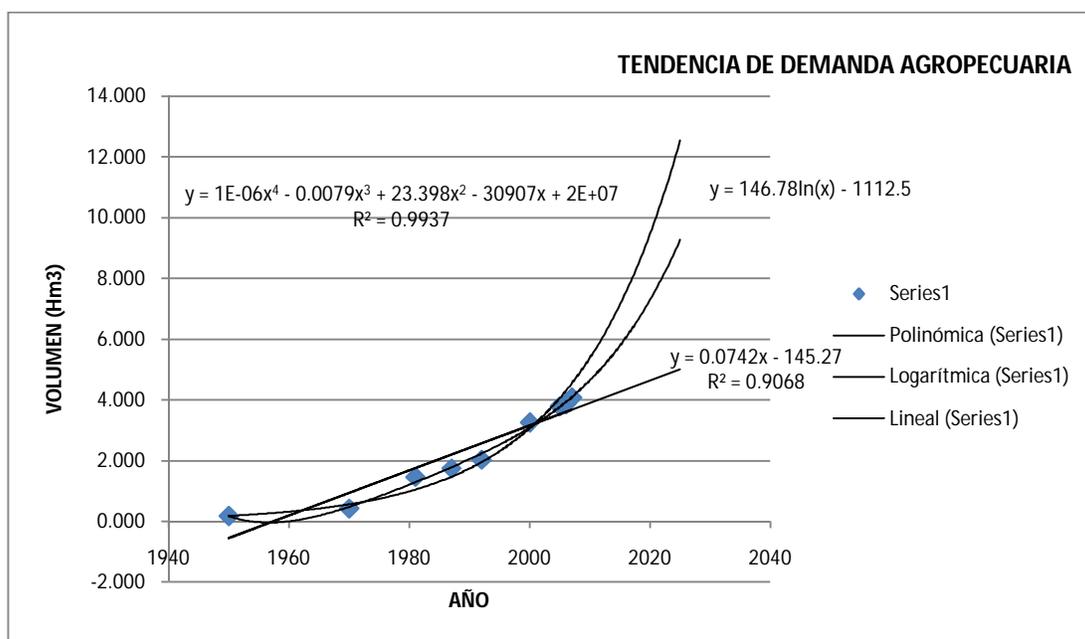


Figura 2.13. Incremento en la demanda agropecuaria para la subcuenca Tábula-Picachos para los años 2025 y 2050

De este modo, el incremento en la demanda agropecuaria quedó determinado de acuerdo a la Tabla 2.8, en donde se registran los valores de la demanda mensual por cara microcuenca perteneciente a la subcuenca Tábula-Picachos, los cuales son utilizados en los escenarios de simulación del funcionamiento hídrico conjunto de la zona de estudio, resaltando un valor anual de 35Hm³ para el año 2007 y su incremento en un 51% para el año 2050.

TABLA 2.8. INCREMENTO EN LA DEMANDA AGROPECUARIA EN LA SUBCUENCA TÁMBULA-PICACHOS

MICROCUENCA	2007	2025	2050
Alcocer	0.2074	0.3356	0.4065
Cerritos	0.3065	0.4958	0.6007
El Huizachal	0.9533	1.5423	1.8684
Guadalupe de Támara	0.1477	0.2389	0.2894
Puerto de Nieto	0.0749	0.1212	0.1468
San Marcos de Begoña	0.00	0.00	0.0000
San Miguel de Allende	0.8926	1.4441	1.7494
Santa Teresita de Don Diego	0.0168	0.0271	0.0329
Sosnabar	0.3163	0.5117	0.6199
Total Mensual (Hm3/mes):	2.92	4.717	5.714
Total Anual (Hm3/año)	34.99	56.602	68.568

II.4.2.2. Incremento de la población y la demanda urbana

De acuerdo a INEGI 2007, la población de las localidades de San Miguel de Allende sumaban un total de 139, 297 habitantes, de los cuales, el 45% de la población se concentra en la cabecera municipal de San Miguel de Allende, las demás poblaciones de mayor representación oscilan entre el 2.0 y el 0.5% de la población total del municipio. Por otro lado, las localidades más representativas²³ presentes en la subcuenca Támara-Picachos y su población registrada para los años 2000 y 2007, se registran en la Tabla 2.9.

TABLA 2.9. POBLACIÓN PARA LOS AÑOS 2000 Y 2007 EN LA SUBCUENCA TÁMBULA-PICACHOS, GTO.

Localidad	2000	2007
San Miguel De Allende	59,691	62,034
Puerto De Nieto	1,154	1,242
Santa Teresita De Don Diego	1,091	833
Guadalupe De Támara	923	926
Alcocer	916	983
Cerritos	889	893
Moral De Puerto De Nieto	843	965
San Marcos De Begoña	838	725
Santas Marías	796	932
Sosnabar	782	895

²³ Solo son presentadas las localidades de más de 200 habitantes presentes en la subcuenca Támara-Picachos, de un total de 131 localidades

Corralejo De Arriba (Corralejo)	764	975
Campana	751	750
Cañajo	697	541
Frailes	657	619
Flores De Begoña	526	595
Puente Del Carmen	479	529
San Miguel Viejo	471	336
Don Juan Xido De Abajo (Cabras De Begoña)	451	361
Providencia De Sosnabar (El Bandolón)	437	409
Palmita De Landeta (Landeta)	432	550
Fajardo De Bocas	411	358
Huizachal	388	448
Pantoja	358	421
Guanajuatito	347	352
Doña Juana	335	376
Fajardo De Támbula	328	276
Santa Cecilia	259	249
San Julián De Landeta (San Julián)	250	279
Guadalupe De Canal	238	232
Biznaga De Jaral (La Biznaga)	230	215
Begoña De Progreso	224	207
Estancia De Canal	220	253
Lira De Bocas (Lira)	206	203
Bocas	200	222
San Jose De La Amistad	194	228

Realizando el cálculo de la tendencia de crecimiento de la población de las localidades presentes en la zona de estudio y relacionando el factor de crecimiento respecto al incremento de la demanda de abastecimiento urbano, por medio del análisis de distintas tendencias de crecimiento, se obtuvo un esbozo del promedio de crecimiento de la población en la subcuenca y su respectivo incremento en la demanda de agua para abastecimiento urbano.

A continuación se presenta en la Figura 2.13 el gráfico de tendencias de crecimiento de la población presente en la subcuenca.

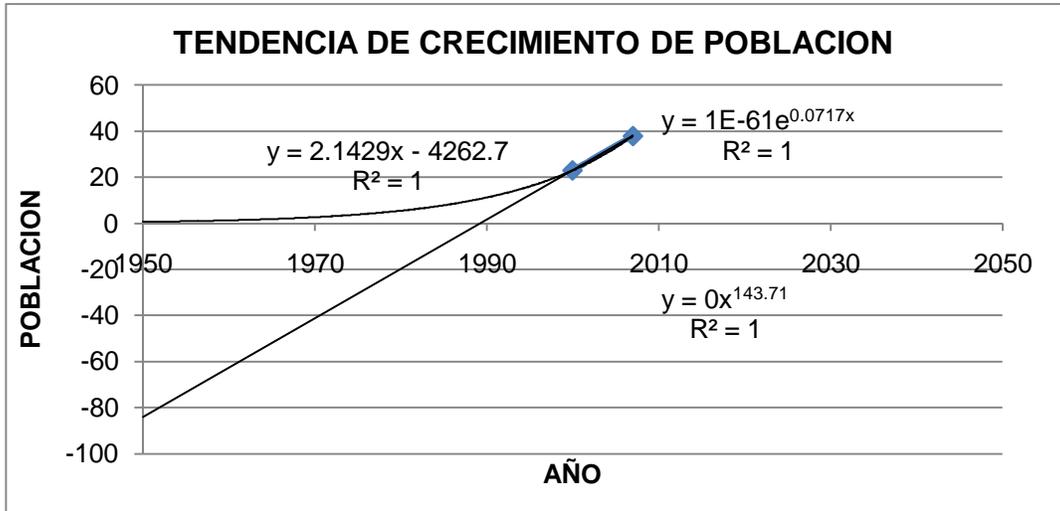


Figura 2.14. Gráfico de incremento de población en las localidades de la subcuenca Támbula-Picachos

Tomando como base los datos de población de los años 2000 y 2007 y siguiendo los resultados de graficar las tendencias lineal, potencial y exponencial se determinó el incremento de población en la subcuenca. Por otro lado, los métodos aritmético y geométrico fueron evaluados y se obtuvo un promedio de crecimiento para los años 2025 y 2050, con una razón de incremento de 15 y 40 años. En la Tabla 2.10 se presenta la población estimada para los años 2025 y 2050 para las localidades de la subcuenca Támbula-Picachos.

TABLA 2.10. INCREMENTO DE POBLACIÓN PARA LAS LOCALIDADES DE LA SUBCUENCA TÁMBULA-PICACHOS

Localidad	2007	2025	2050
San Miguel De Allende	62,034	129,753	278,966
Puerto De Nieto	1,242	1,411	1,826
Santa Teresita De Don Diego	833	397	154
Guadalupe De Támbula	926	934	945
Alcocer	983	1,280	1,641
Cerritos	893	904	918
Moral De Puerto De Nieto	965	1,622	2,608
San Marcos De Begoña	725	494	297
Santas Marías	932	1,309	2,278
Sosnabar	895	1,067	1,714
Corralejo De Arriba (Corralejo)	975	1,829	4,308
Campana	750	750	746
Cañajo	541	330	136
Frailes	619	422	342

Flores De Begoña	595	888	1,369
Puente Del Carmen	529	641	909
San Miguel Viejo	336	296	205
Don Juan Xido De Abajo (Cabras De Begoña)	361	200	92
Providencia De Sosnabar (El Bandolón)	409	441	349
Palmita De Landeta (Landeta)	550	1,033	2,411
Fajardo De Bocas	358	231	142
Huizachal	448	591	979
Pantoja	421	756	1,336
Guanajuatito	352	346	364
Doña Juana	376	551	827
Fajardo De Támara	276	184	100
Santa Cecilia	249	218	190
San Julián De Landeta (San Julián)	279	363	534
Guadalupe De Canal	232	206	188
Biznaga De Jaral (La Biznaga)	215	153	121
Begoña De Progreso	207	163	123
Estancia De Canal	253	367	600
Lira De Bocas (Lira)	203	131	124
Bocas	222	287	415
San José De La Amistad	228	333	586

De igual manera, relacionando las localidades presentes en cada microcuenca, se logró sintetizar las demandas actuales respecto a la población actual y relacionarla directamente con el incremento de población futura y la demanda correspondiente, quedando como se presenta en la Tabla 2.11.

TABLA 2.11. INCREMENTO EN LA DEMANDA URBANA PARA LAS NUEVE MICROCUENCAS DE LA SUBCUENCA TÁMBULA-PICACHOS (Hm3/mes)

MICROCUENCA	2007	2025	2050
ALCOCER	0.0113	0.0127	0.0156
CERRITOS	0.0154	0.0134	0.0127
EL HUIZACHAL	0.0043	0.0052	0.0072
GPE DE TAMBULA	0.0099	0.0093	0.0086
PUERTO DE NIETO	0.0298	0.0368	0.0504
SAN MARCOS DE BEGOÑA	0.0119	0.0119	0.0105
SAN MIGUEL DE ALLENDE	0.5261	0.8212	1.7973
SANTA TERESITA DE DON DIEGO	0.0146	0.0188	0.0229
SOSNABAR	0.0440	0.0489	0.0655
Demanda mensual en la subcuenca:	0.6673	0.9783	1.9908
Demanda Total ANUAL:	8.01	11.74	23.89

La razón del incremento en la demanda urbana es de un 21 a un 49%, iniciando con un registro de 8.01Hm³/año para 2007 y aumentando hasta 23.89Hm³/año para abastecer a una población en las localidades de la subcuenca de 247,050 habitantes para el año 2050, de acuerdo a lo que se registra en la Figura 2.14.

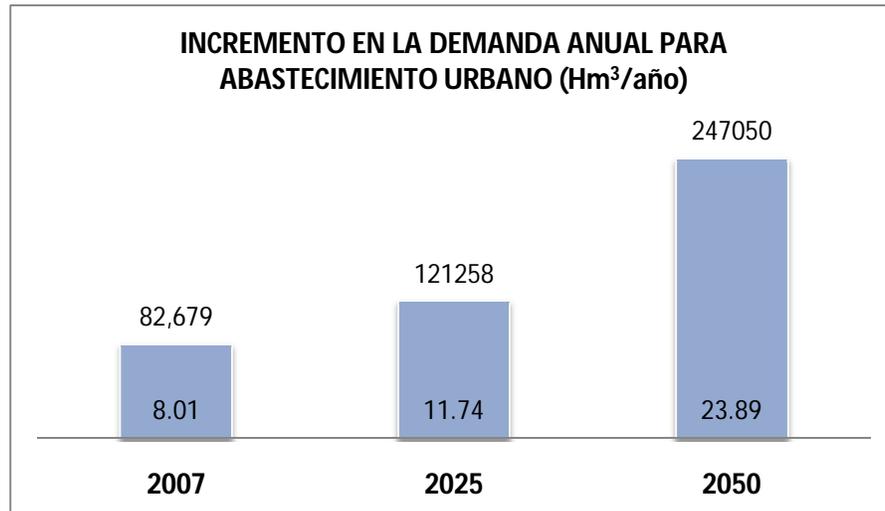


Figura 2.15. Incremento en la demanda anual para las localidades de la subcuenca Tábula-Picachos

II.4.3. Análisis cualitativo de los cambios en el uso del suelo

Mediante la revisión cualitativa de los resultados obtenidos en los análisis de cambios en el uso del suelo y la vegetación presentes en la subcuenca Tábula-Picachos, en un período de evaluación de 15 años, de acuerdo a Córdova et al. (2010), se obtuvieron mapas de degradación ambiental y se realizó una síntesis de los principales problemas identificados como detonadores de estos cambios en la vegetación nativa y vocación de la tierra en la zona.

Del proyecto de tesis de Córdova et al. (2010), se extrae el mapa de degradación ambiental (Figura 2.15), que correspondiente al período de 1993 al 2008, el cual es útil para el análisis cualitativo del funcionamiento hidrológico de los escenarios de manejo hídrico conjunto futuros a representar en la subcuenca Tábula-Picachos.

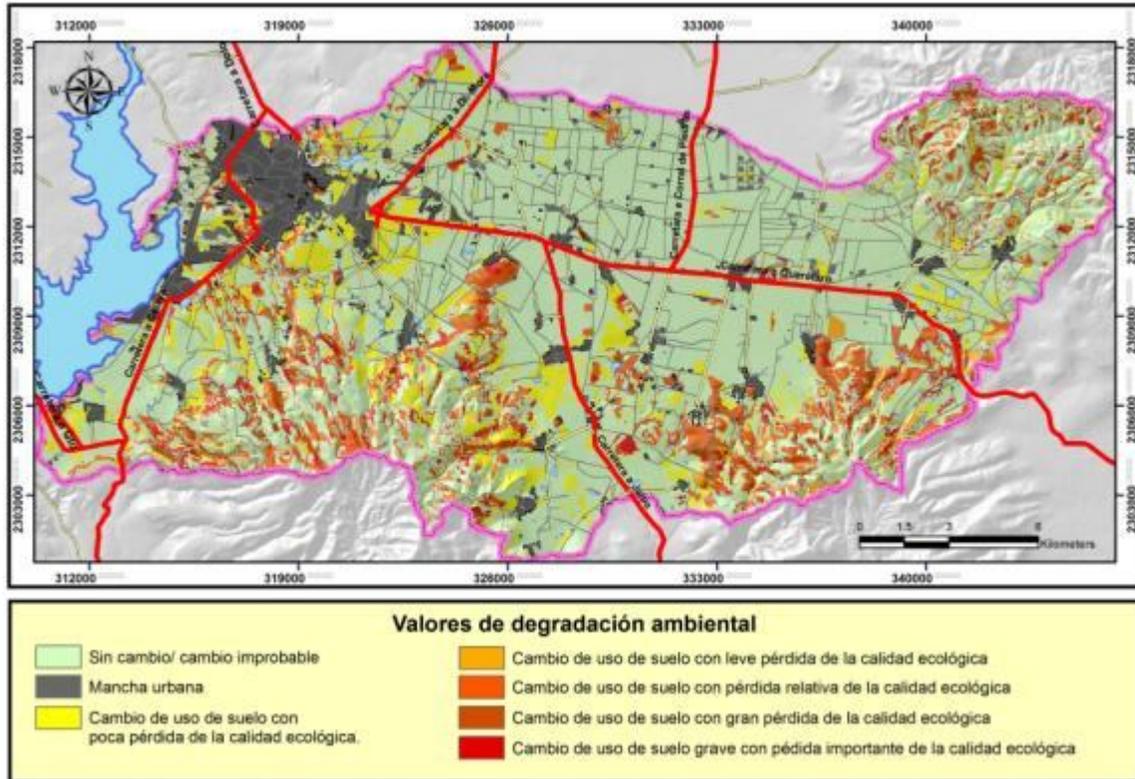


Figura 2.16. Valores de degradación ambiental para la subcuenca Támbula-Picachos, de acuerdo a Córdova et al., 2010

Lo importante de este mapa es que muestra que el 71% de la superficie de la subcuenca no presenta cambios significativos en la degradación ambiental, contrario a lo que se piensa de la misma, que ha tenido un acelerado cambio en su estructura y funcionamiento ambiental. Por otro lado, un 15% de la superficie presenta valores de degradación altos (entre 6 y 10)²⁴, un 5% degradación muy grave (con pérdida de más del 50% de la cobertura vegetal) y un 9% con degradación grave y media.

Por otro lado, para entender mejor los cambios en la cobertura vegetal y uso de suelo, no sólo es necesario medir dónde y cuándo ocurren estos cambios, sino también comprender los mecanismos que los detonan y el contexto social y económico en el que se desarrollan (Lambin y Ehrlich, 1997).

²⁴ De acuerdo a la escala de PNUMA, 2001, Indicadores ambientales y de sustentabilidad en América Latina, registrado en el proyecto de tesis de Córdova et al., 2010

Mediante los análisis presentados en el proyecto de tesis de Córdova et al., (2010) y de la revisión de los Planes Rectores de Producción y Conservación generados para las microcuencas de la subcuenca Tábula- Picachos, la información obtenida en revisión de literatura, y de entrevistas informales realizadas a algunos actores clave en la subcuenca, fueron determinados cuatro procesos principales implicados en el cambio de uso de suelo y la cobertura vegetal:

- Degradación antrópica / proceso de deforestación
- Proceso de revegetación
- Condición de permanencia en el uso del suelo
- Proceso de reconversión de coberturas de uso antrópico
- Sistemas de producción intensivo y extensivo
- Tenencia de la tierra (ejidal y propiedad privada)
- Factores socio-económicos incidentes:
 - conversión mercantil y de producción agrícola
 - proceso de urbanización
 - impulso al turismo local y migración campo-ciudad
 - demanda de vivienda, industria, comercio y servicios
 - crecimiento del sector inmobiliario y presión urbana
 - abandono del campo y el trabajo de la tierra
 - cultura de proteccionismo en la producción agrícola
 - migración hacia mejores oportunidades de trabajo
 - remesas de migrantes constituyen principal aporte económico
 - poca rentabilidad del trabajo en el campo
 - falta de interés en la población joven en el trabajo de campo

De acuerdo al análisis del cambio de uso de suelo para el año 2020 (Figura 2.16) hecho por Córdova et al., (2010), con una población de 139,000 habitantes²⁵, la mancha urbana se incrementará en un 28%. La superficie neta de vegetación natural se verá reducida hasta en un 48%, incrementándose la

²⁵ De acuerdo a los estimados de crecimiento de población de CONAPO para el año 2020.

vegetación secundaria. Se incrementará la superficie de pastizales hasta en un 37% y las áreas con problemas de erosión por cárcavas. Por su parte, las áreas agrícolas presentan una disminución del 24%, debido principalmente a la presión inmobiliaria y el abandono de las actividades agrícolas por la migración de campesinos.

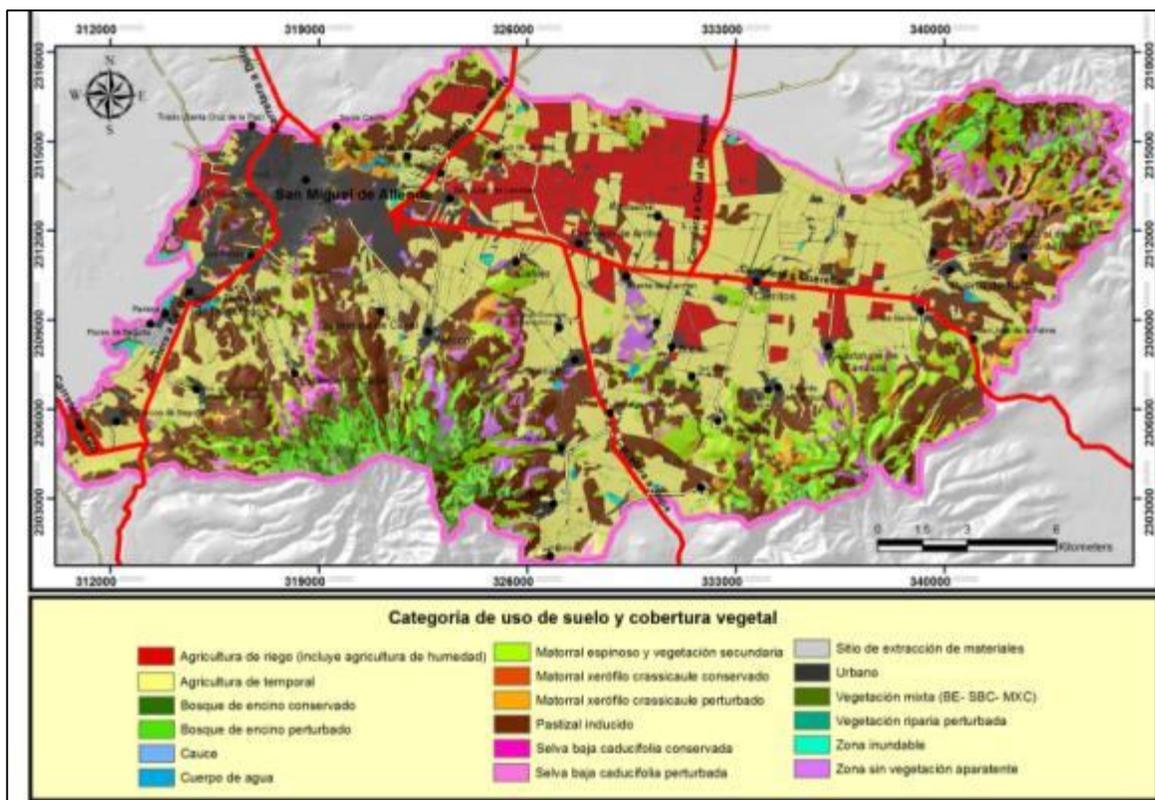


Figura 2.17. Mapa de uso de suelo y vegetación para el año 2020, de acuerdo a Córdova et al., 2010

Finalmente, es importante señalar los siguientes puntos concernientes al análisis cualitativo del cambio del uso del suelo:

- Ambientalmente, se intensifican problemas como la contaminación, la degradación del suelo, la disminución en la recarga de acuíferos, así como se ejerce mayor presión sobre los recursos del territorio, y con ello, se reduce la capacidad de resiliencia de los ecosistemas de la cuenca lo que modifica los procesos naturales que ocurren dentro de esta

- Socialmente, se promueve un cambio en la dinámica de las comunidades que anteriormente se encontraban dispersas o alejadas de la mancha urbana, y que actualmente están destinadas a convertirse en suburbios de la misma (como el caso de Alcocer o Guadalupe del Canal). Asimismo, se han acentuado las desigualdades sociales ante falta de equidad de oportunidades en el acceso a infraestructura (vivienda) y servicios educativos o de salud; a su vez se han generado otras, ante las nuevas formas de interacción social entre los pobladores de ámbitos rurales en su vinculación con los ámbitos urbanos (Cebada- Contreras, 2009)
- Culturalmente, ocurre un cambio en la identidad cultural, al ocurrir una mutación de sus costumbres y formas de vida, además de cambios en el sentido de pertenencia, apropiación y valoración del territorio. Un ejemplo de ello son las percepciones de los habitantes sobre sus tierras y las tendencias de lotificación y venta que de terrenos ejidales
- Económicamente, la tendencia del cambio de uso de suelo a marcado cambios de las actividades productivas primarias, hacia el sector secundario y terciario. En términos territoriales, estos demandan formas diferentes de explotar los recursos naturales, lo que implica también cambios en cuanto a la distribución de las actividades en el territorio

II.5. Conclusiones

Derivado de los análisis anteriormente expuestos, se puede concluir que en la subcuenca se tienen demandas hídricas que mantienen una presión sobre el agua disponible en la misma, siendo el abastecimiento agropecuario el que mayor demanda presenta, seguido del abastecimiento urbano e industrial.

Las tendencias de incremento en las demandas tanto agropecuarias como urbanas fueron determinadas de manera sencilla, con el simple propósito de tener una idea del funcionamiento hídrico de la subcuenca ante un escenario de

incremento en las demandas futuras y poderlo relacionar con la respuesta que tendrá el acuífero San Miguel de Allende ante tales acciones externas.

Por otro lado, cabe considerar que el análisis de las demandas hídricas realizado en la subcuenca considera de grosso modo los valores de los volúmenes estimados por distintas dependencias de gobierno y estudios realizados en la zona, lo cual a final de cuentas resulta una síntesis y adecuación de los mismos para la subcuenca específica Tábula-Picachos y las actividades que en ella se desarrollan.

En cuanto a los análisis de calidad del agua usada en las distintas actividades antrópicas al interior de la subcuenca, por la complejidad propia de los mismos no fueron relacionados en el proyecto de tesis. Sin embargo, en los diversos recorridos hechos a distintas localidades de la subcuenca no se reportaron casos de contaminación del agua potable por coliformes fecales, esto debido a que en el municipio se ha optado por el entubado y abastecimiento subterráneo del agua potable.

Lo anterior representa una ventaja respecto al manejo del agua superficial, pues si bien en algunos casos se han realizado estudios de calidad del agua, respecto a la presencia de metales pesados y cancerígenos disueltos en el agua subterránea, el reporte de su presencia en la zona sur del municipio es muy baja; en algunos otros casos no se cuenta con estos estudios, sin embargo es creído por la gente de las localidades que el agua de pozo es de buena calidad y es consumida sin tratamiento alguno en la mayoría de los casos, otros más comentan que son clorados los depósitos de agua previa distribución en las localidades.

Es necesario concluir que un mayor acopio de información, disponibilidad y acceso a la misma contribuiría en primera instancia en poder conocer la disponibilidad real de los recursos en distintas escalas, lo cual repercutiría en una mejor planeación del manejo y gestión de los recursos naturales presentes a distintas escalas de intervención. En el caso específico de la subcuenca Tábula-Picachos, la intervención y participación del Municipio de San Miguel de Allende,

de organizaciones institucionales y civiles es indispensable para continuar de manera exitosa con el estudio integral del agua en la subcuenca.

II.6. Literatura citada

- Andreu, J.; Solera, A.; Capilla, J.; Ferrer, J. 2007. Modelo SIMGES de Simulación de la Gestión de Recursos Hídricos, incluyendo Utilización Conjunta. Versión 3.00. Manual del Usuario. Ed. Universidad Politécnica de Valencia. Valencia, España.*
- Bocco, G., M. Mendoza y O. Maser. 2001. La dinámica del cambio de uso del suelo en Michoacán. Una propuesta metodológica para el estudio de los procesos de deforestación. Investigaciones Geográficas 44:18-38. Michoacán, México.*
- Cebada- Contreras, M. 2009. La articulación rural- urbana: impacto diferencial en el medio rural guanajuatense. Memorias del XXVIII Congreso Internacional sobre estudios de América Latina. Río de Janeiro Brasil.*
- CONAGUA. 2007. Comisión Nacional del Agua. Estadísticas del agua en México. Página oficial: <http://cna.gob.mx>. 248 p. México.*
- Córdova M., Velázquez A., Mas J. R. 2010. Priorización de áreas para recuperar la función hidrológica de la subcuenca Támara- Picachos, Guanajuato. Tesis de Maestría. Universidad Autónoma de Querétaro. Maestría en Gestión Integrada de Cuencas. Santiago de Querétaro, Qro., México. 156p.*
- COTAS. 2004. Comité Técnico de Aguas Subterráneas de Guanajuato. Comisión Estatal de Aguas del Estado de Guanajuato (CEAG). México. <http://seia.guanajuato.gob.mx/panel/document/phpver.php?Id=1985>.*
- Cotler, H. 2006. Atlas de la cuenca Lerma-Chapala. Instituto Nacional de Ecología. INE-SEMARNAT. 37p. México, DF.*
- García, E. 2006. Programa MODIFICA. Clasificación climática de Köpen modificada. Facultad de Ciencias Naturales, UNAM. México DF.*
- IEEG. 2007. Instituto de Ecología del Estado de Guanajuato. Gobierno del Estado de Guanajuato. <http://ecologia.guanajuato.gob.mx/prevencion/licencia.php>. México.*

- IMTA. 2001. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. Coordinación de Tecnología Hidrológica. Análisis del sistema de presas ubicadas en la cuenca del Lerma-Chapala, informe final. 48p. México.
- INEGI. 2005. Instituto Nacional de Información Geográfica e Informática. II Censo de Población y Vivienda 2005. México.
- Lambin E.F. y D. Ehrlich. 1997. The identification of tropical deforestation fronts at broad spatial scales. *International Journal of Remote Sensing* 18(17): 3551-3568.
- Mas, J.F., A. Velázquez., J.L. Palacio., G. Bocco., A. Peralta y J. Prado.2002. Assessing forest resources in Mexico: wall- to- wall land use/ cover mapping. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing* 68(10) 966-968.
- Medley, K., B.Okey, G.Barret, M. Lucas y W. Renwick.1995. Landscape change with agricultural intensification in a rural watershed, southwestern Ohio, USA. *Landscape Ecology* 10 (39):161-176.
- OET-GTO. 2008. Ordenamiento Ecológico Territorial para el Estado de Guanajuato. Instituto de Ecología del Estado de Guanajuato. Gobierno del Estado de Guanajuato. México.
- Ortega, C. 2009. Análisis de los principios de gobernanza en la gestión del agua. Caso de estudio: Subcuenca Támara-Picachos. 117p. Querétaro, México.
- Rossete, F.A., J.L. Pérez y G. Bocco.2009. Contribución al análisis del cambio de uso del suelo y vegetación (1978-2000) en la Península de Baja California, México. *Investigación ambiental* 1(1):70-82.
- Rzedowski, J. 2006. Vegetación en México. CONABIO. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México.
- Verburg, P.H. y A. Veldkamp. 2005. Introduction to the special issue on spatial modeling to explore land use dynamics. *International Journal of Geographic Information Science* 19(2):99-102.

CAPÍTULO 3

LA MODELACIÓN CONJUNTA DEL SISTEMA HÍDRICO DE LA SUBCUENCA ESPECÍFICA TÁMBULA-PICACHOS, GUANAJUATO

III.1. Introducción

De acuerdo a López (1993), a la serie de caudales conocida como en “régimen natural” (caudales que circulaban en una cuenca, antes de ser modificados por el hombre) es indispensable conocerla para poder plantear una correcta planificación hídrica y un análisis de propuestas de manejo hídrico, los cuales deben tomar en cuenta:

- Una buena base de datos de mediciones
- Correspondencia entre la zona de estudio y los puntos de registro de los datos de medición
- Un registro de datos de un largo período de tiempo

Sin embargo, es conocido que la forma actual de los cauces y los volúmenes escurridos es muchas veces distinto a las del régimen natural, por lo que es necesario reproducir de manera aproximada los procesos naturales mediante la implementación y adopción de modelos matemáticos, los cuales deben tomar en cuenta las modificaciones que el hombre ha hecho a lo largo del tiempo, tales como:

- Construcción de almacenamientos artificiales
- Vertido de aguas de zonas de riego e industria
- Pérdida de agua por evaporación en embalses
- Alteración del proceso de infiltración en ríos y embalses
- Alteración del régimen natural de acuíferos por procesos de extracción y recarga artificial
- Otros

Estrela (1993), presentó una recopilación de los modelos matemáticos clásicos utilizados para la evaluación de los recursos hídricos de una cuenca, quien considera que en la mayoría de los modelos se realiza una simulación y análisis del proceso lluvia-escurrimiento. Para la simulación del proceso es necesario recurrir a un modelo matemático que reproduzca el flujo de agua de un

determinado aporte medio mensual de lluvia, considerando la escala mensual para la simulación.

La modelación de escenarios estocásticos permite analizar y planificar un sistema de recursos hídricos, mejorando la información obtenida mediante el cruce de información, partiendo del análisis de series históricas y datos cualitativos obtenidos para una zona de estudio. Los modelos estocásticos se basan en la estadística para reproducir la incertidumbre de los datos de precipitación- evapotranspiración-escorrimento-infiltración.

Los modelos estocásticos suelen llamarse también “modelos autoregresivos”; mientras que cuando se les añade una componente de media móvil, se convierten en “modelos autoregresivos móviles”. La ventaja de estos últimos recae en que pueden asociar tanto las regresiones, como la media móvil en los datos de escurrimiento superficial e infiltración.

El programa Aquatool contiene modelos de análisis y generación de escenarios estocásticos, los cuales son aplicables en una metodología de gestión y manejo de recursos hídricos, basándose en la estimación de riesgos (Sánchez et al., 2001). Para realizar un análisis de la gestión y el manejo de recursos hídricos, es necesario diferenciar la simulación y la optimización de los mismos. Por tanto, se identifica que dentro de un análisis de simulación, es necesario observar:

- La construcción de un modelo matemático que refleje la realidad de manera abstracta (junto con sus fases de calibración y validación)
- La aplicación del modelo matemático calibrado para un caso en específico (manipulando las variables de control del sistema)
- El análisis e interpretación de los resultados

Ahora bien, el análisis de simulaciones de gestión y manejo de un sistema hídrico puede estar asociado a distintos “criterios de asignación del agua”, entre ellos:

- Disponibilidad
- Calidad del agua
- Económicos
- Estudios de caso
- Comprensión del funcionamiento
- Multi-criterio

Algunos criterios de asignación de agua referentes al manejo hídrico en la zona de estudio son específicos para:

- Observar y comprender el comportamiento y funcionamiento del propio modelo
- Evaluar distintas alternativas y escenarios de gestión
- Gestionar eventos extremos y planes de suministro de agua
- Gestionar el suministro a zonas de riego
- Gestionar trasvases entre cuencas vecinas
- Simulación del manejo de un acuífero como embalse/depósito, para condiciones de déficit y volúmenes precarios futuros
- Otros

III.2. Área de estudio

III.2.1. Hidrología superficial

De acuerdo a la división hidrológica superficial adoptada por CONAGUA (2007), la subcuenca Támara-Picachos pertenece a la Cuenca Lerma-Chapala y dentro de esta a la Cuenca del Río Laja, en Guanajuato. La subcuenca está conformado por nueve microcuencas o unidades de intervención, las cuales han sido delimitadas y reconocidas por parte del Instituto de Ecología del Estado de Guanajuato (IEEG, 2007) y se encuentran representadas en la Figura 3.1. Además, en el mismo esquema se encuentran señaladas las 3 unidades de escurrimiento principales que conforman a la subcuenca.

El área de estudio hidrológicamente relevante para su manejo es la Unidad de Escurrimiento No. 1, la cual está conformada por 7 de las 9 microcuencas de la zona de estudio, las cuales desembocan en primera instancia por la Ciudad de San Miguel de Allende y posteriormente hacia la Presa de riego y control de avenidas Ignacio Allende. De igual forma, cabe señalar la correspondencia entre la Unidad de Escurrimiento No. 1 y el Acuífero San Miguel de Allende, el cual representa la principal fuente de abastecimiento subterránea para el desempeño de las actividades humanas desarrolladas en la subcuenca.

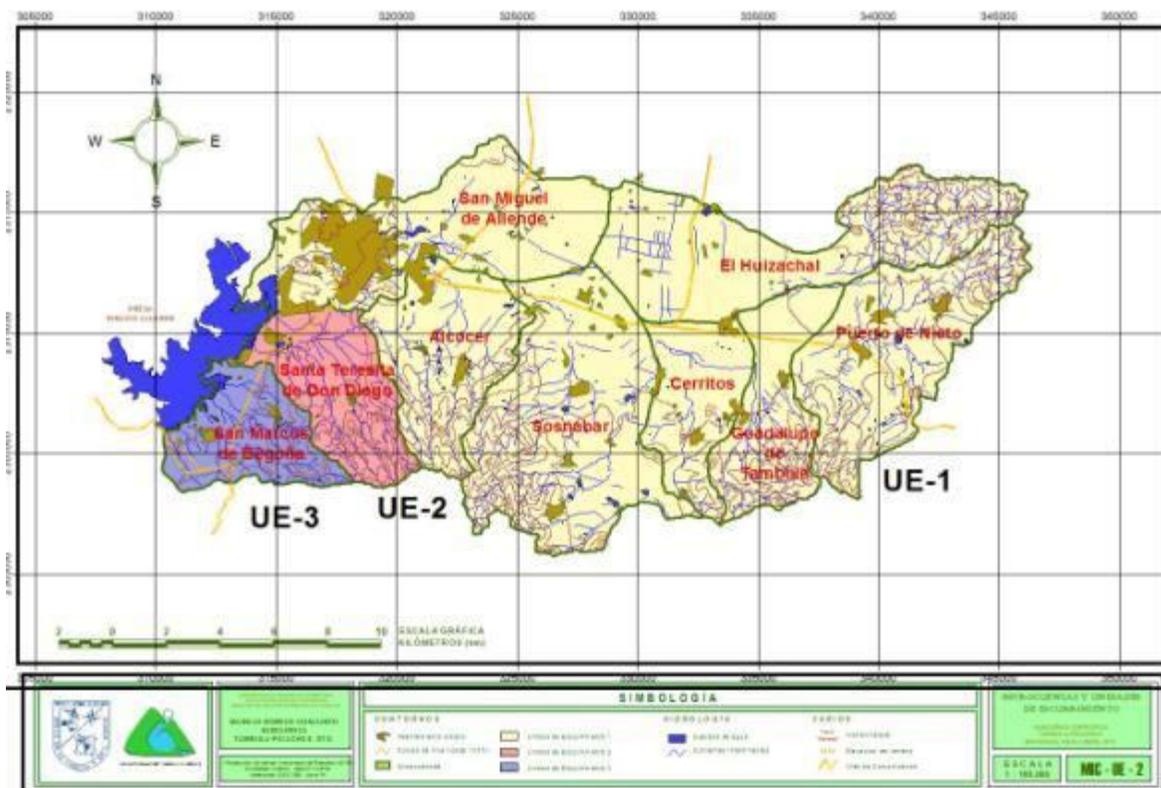


Figura 3.1 Microcuencas y unidades de escurrimiento

A continuación, en la Tabla 3.1 se presentan las nueve microcuencas y la superficie que abarca dentro de la subcuenca Támula-Picachos, la cual está dividida en tres “unidades de escurrimiento”¹ más generales (Figura 3.1), conformando un total de 390.22km² de superficie.

TABLA 3.1 MICROCUENCAS O UNIDADES DE INTERVENCIÓN

	NOMBRE	ÁREA (ha)
1	<i>Alcocer</i>	3,710.484
2	<i>Cerritos</i>	2,505.351
3	<i>El Huizachal</i>	6,028.265
4	<i>Guadalupe de Támula</i>	2,884.038
5	<i>Puerto de Nieto</i>	5,128.025
6	<i>San Marcos de Begoña</i>	2,571.473
7	<i>San Miguel de Allende</i>	5,986.559
8	<i>Santa Teresita de Don Diego</i>	3,060.490
9	<i>Sosnabar</i>	7,147.494
	TOTAL	39,022.18

¹ De acuerdo a lo determinado en el Estudio Hidrológico Superficial desarrollado en el documento “PMI-STP”.

De acuerdo a la Figura 3.1, las tres unidades de escurrimiento general (UE) que se distinguen en la zona de estudio abarcan las siguientes microcuencas:

- UE-1: Abarcando las microcuencas de Puerto de Nieto, Guadalupe de Támara, El Huizachal, Sosnabar, Alcocer y San Miguel de Allende, que es en esta última donde son concentrados los escurrimientos de las microcuencas anteriores
- UE-2: Contempla a la microcuenca de Santa Teresita de Don Diego, la cual desemboca sus cauces intermitentes directamente en la Presa de Allende
- UE-3: Abarca a la microcuenca de San Marcos de Begoña, la cual (al igual que la UE-2), desemboca directamente con cauces paralelos hacia la Presa de Allende

En el documento “PMI-STP” se mencionan las principales características morfométricas determinadas en el estudio de “hidrología superficial” desarrollado para la subcuenca sus nueve unidades de intervención, las cuales se presentan a continuación en la Tabla 3.2.

TABLA 3.2 PRINCIPALES CARACTERÍSTICAS MORFOMÉTRICAS DE LAS UNIDADES DE INTERVENCIÓN EN LA ZONA DE ESTUDIO

MIC. NO.	A (km ²)	P (km)	Cc (adim)	Re (adim)	Oc (adim)	Lc (km)	Dd (km/km ²)	Da (m)	Ppro (m/m)	Tc (min)
1	37.105	28.699	0.566	0.73	3	56.574	0.938	876.541	8.746	31.95
2	25.054	25.524	0.483	0.64	4	69.623	1.163	550.000	4.544	27.76
3	60.283	47.670	0.333	0.54	4	40.38	0.787	629.757	6.339	25.80
4	28.840	30.397	0.392	0.83	3	38.803	1.268	623.074	9.984	25.91
5	51.280	37.991	0.446	0.75	3	75.973	1.063	639.785	8.650	13.69
6	25.715	27.802	0.418	0.82	3	44.228	1.192	725.080	8.545	18.71
7	59.866	43.486	0.398	0.58	5	34.339	1.191	310.000	2.857	39.15
8	30.605	28.002	0.490	0.73	3	42.859	1.711	910.000	11.411	25.06
9	71.475	44.957	0.444	0.84	4	23.832	0.927	777.519	7.778	28.00
Total	390.223	117.000	0.358	0.70	5	426.611	1.093	978.700	7.299	245.79

De esta tabla destacan las pendientes pronunciadas en las porciones denominadas como parte de la cuenca alta, con valores mayores al 30 y 40%, ubicados principalmente en las laderas de las tres formaciones montañosas más importantes: Támara, Los Picachos y La Márgara, sin embargo en las porciones denominadas como Cuenca Media y Baja las pendientes promedio se reducen hasta el 2 y 9%.

En promedio, las microcuencas tienen una relación de elongación de 0.70, lo que indica su proximidad respecto a la forma ovalada o circular, la cual está representada por la unidad. El máximo orden de corrientes determinado es de 5 a la salida de la microcuenca San Miguel de Allende y salida de la Unidad de Escurrimiento No. 1, lo cual indica una buena ramificación de los escurrimientos y una mejor respuesta hidrológica ante la acción de lluvias incidentes en la zona. La longitud de cauces total en la subcuenca es de 426.6km y la densidad de drenaje se acerca a la unidad, con un valor de 1.09.

Otro factor importante a considerar es el Tiempo de Concentración, el cual fue determinado con un valor promedio para la subcuenca de 247min aproximadamente, equivalentes a 4horas y 11minutos, lo cual indica que de acuerdo a la forma alargada, variedad de pendientes, zonas de amortiguamiento y captación, así como el tipo de cobertura vegetal presentes en la subcuenca, iniciado un evento meteorológico, la respuesta de la subcuenca en la unidad de escurrimiento más grande (UE-1) tardará en concentrar el agua hacia los cauces y salida de la unidad de escurrimiento aproximadamente 4horas y 11minutos.

Es importante señalar que las microcuencas ubicadas al norte de la zona de estudio y denominadas como Cuenca Baja se encuentran severamente modificadas en sus cauces debido a la acción antrópica del desarrollo en la subcuenca, ocasionado principalmente por el incremento de la mancha urbana, el desarrollo y modernización del equipamiento urbano, así como principalmente el establecimiento de zonas agrícolas y pecuarias de producción intensiva.

En la Figura 3.2 se observa la configuración de las corrientes superficiales presentes en la actualidad para cada microcuenca de la zona de estudio, resaltando las microcuencas de San Miguel de Allende y El Huizachal como las de mayor alteración hidrológica natural. De igual forma, se presentan las corrientes superficiales calculadas por la extensión "DetermHidro" en el programa ArcView 3.2, las cuales tienen una correspondencia similar a las registradas en el "shape" de Uso de Suelo y Vegetación para 2003.

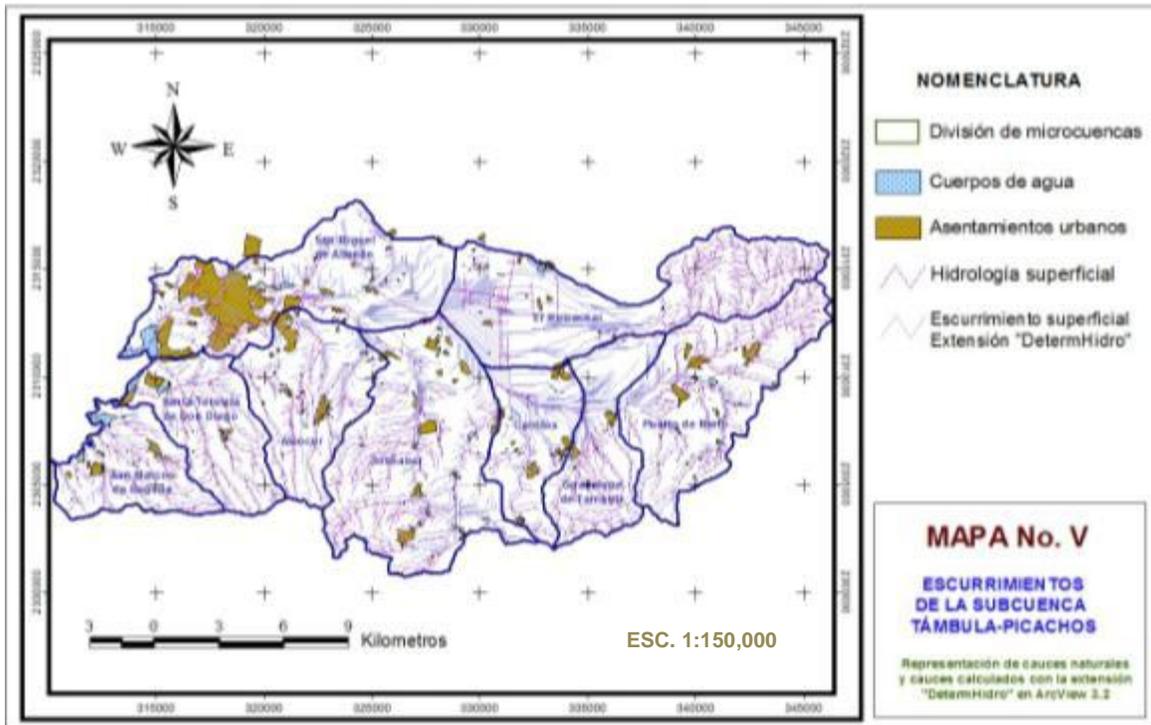


Figura 3.2. Configuración hidrológica superficial de la subcuenca específica Támula-Picachos, Gto.

De acuerdo a los mapas de CONAGUA (2010), las corrientes superficiales descienden a manera de arroyos desde los tres principales cerros La Márgara, Támula y Los Picachos, los cuales son de carácter intermitente, con flujo superficial sólo en época de lluvias. La principal corriente la constituye el Arroyo El Macho (cerca de la comunidad de Puerto de Nieto), posteriormente es llamado Córdova (en la parte media de la subcuenca) y finalmente se le conoce como Cachinches (en la zona urbana de San Miguel de Allende y su desembocadura a la Presa de Allende). Los principales arroyos identificados en la zona de estudio que descienden de las tres principales montañas son:

- La Márgara: Arroyo Colorado, El Canelo y El Macho, Pinguicas
- Támula: Arroyo El Macho, Fajardo, El Carrizal y El Mogote, El Tepozán
- Picachos: Arroyo Bocas, Córdoba, Las Cabritas, Capulín, El Picacho, de Pilas, La Culebra, La Estancia, El Salto, Begoña, Los Ariones

A continuación se presenta un resumen fotográfico de 3 distintos tipos de cauces superficiales presentes en la zona de estudio (Figuras 3.3, 3.4 y 3.5), los

cuales se relacionan con las tres zonas montañosas de la subcuenca. De igual manera, en la Figura 3.6 se presenta un mapa de ubicación de los mismos en la zona de estudio.



Figura 3.3. Arroyo El Macho, que desciende del cerro de La Márgara, ubicado en la parte media de la microcuenca El Huizachal (Punto 6)

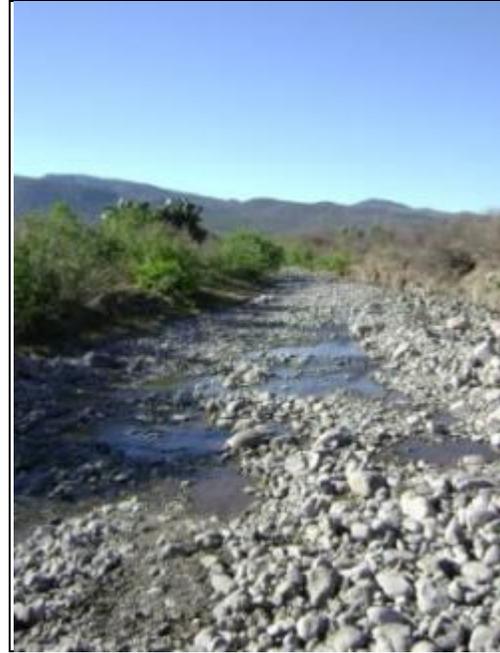


Figura 3.4. Arroyo Fajardo, que desciende del cerro de Tábula, ubicado en la microcuenca Guadalupe de Tábula (Punto 2)



Figura 3.5. Arroyo El Capulín, el cual desciende del cerro Los Picachos, por la microcuenca de Sosnabar en la cuenca alta (Punto 12)

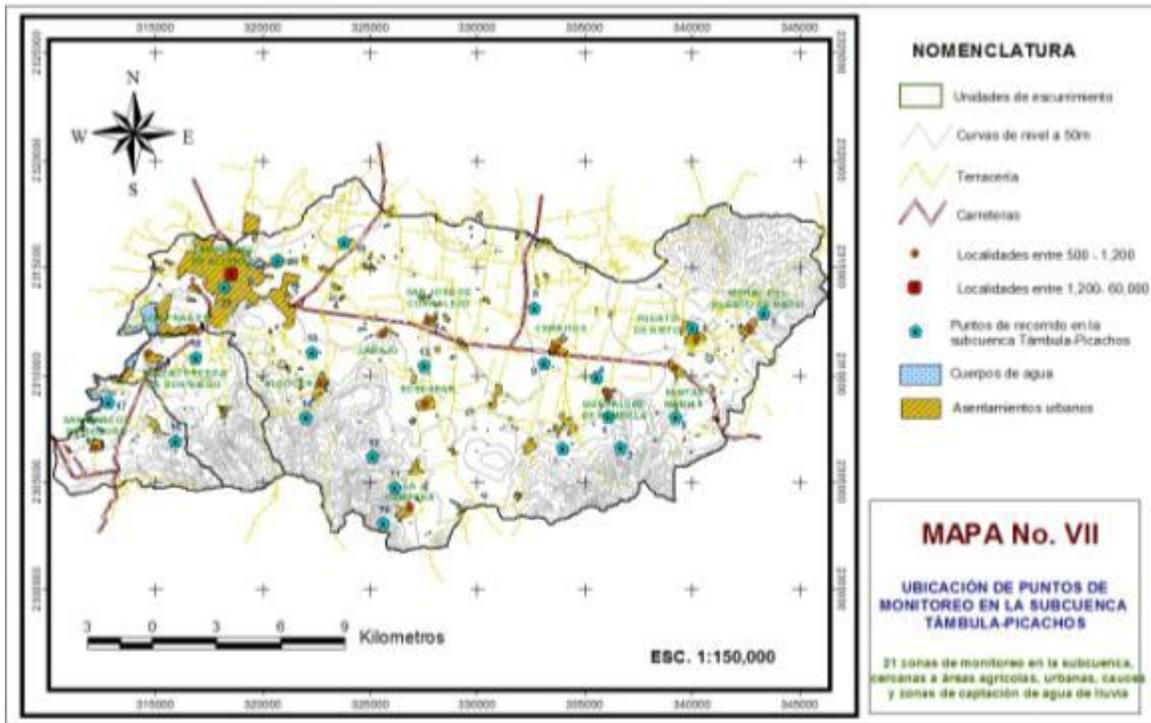


Figura 3.6. Puntos de monitoreo en la subcuenca Támula-Picachos

Los principales cuerpos de agua presentes en la subcuenca son los denominados “Bordos de Tierra y Mampostería”, algunos construidos hace más de 100 años, otros más sin funcionamiento óptimo por encontrarse reventados o con problemas de azolve, los cuales se encuentran distribuidos por toda la zona de estudio, principalmente en la denominada Cuenca Alta y Media, correspondiendo principalmente a zonas ejidales o de propiedad privada.

Algunos de los bordos visitados para corroborar su estado y funcionamiento se encuentran puntualizados en el mapa de la Figura 3.6. De igual manera, se presenta un resumen fotográfico de los bordos más representativos de la zona de estudio, los cuales se encuentran referenciados en los puntos de monitoreo del mapa anterior.

Adicional al resumen fotográfico, en el Anexo I se incluye un mayor catálogo fotográfico, representativo del monitoreo económico, social y ambiental actual de la subcuenca Támula-Picachos. Gto.



Figura 3.7. Bordos en la parte alta de la microcuenca de Alcocer (Punto 14)



Figura 3.8. Bordo de tierra junto al cerro de la Márgara en la microcuenca de El Huizachal (Punto 7)

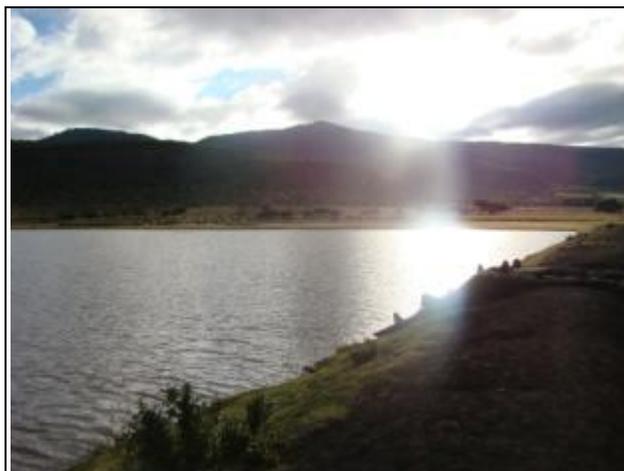


Figura 3.9. Bordo de tierra y mampostería cerca de la localidad de La Campana en la microcuenca de Sosnabar (Punto 11)



Figura 3.10. Sistema de bordería de tierra cerca de la localidad de Cabras de Begoña y al fondo la Presa Ignacio Allende (Puntos 16 y 17)



Figura 3.11. Sistema de bordería entre las localidades de Fajardo y Guadalupe de Támbula en la microcuenca Guadalupe de Támbula (Puntos 1, 2 y 3)



Figura 3.12. Bordo de tierra en la microcuenca de Cerritos (Punto 9)



Figura 3.13. Bordo de tierra cercano a la localidad de Moral del Puerto de Nieto, dentro de la microcuenca Puerto de Nieto (Punto 6)



Figura 3.14. Bordo de tierra cercano a la localidad de Santa Teresita en la microcuenca de Santa Teresita de Don Diego (Punto 18)



Figura 3.15. Represa de mampostería “Las Colonias” dentro de la zona d el Charco del Ingenio en la microcuenca San Miguel de Allende (Punto 20)

III.2.2. Hidrología subterránea

De acuerdo a lo registrado por Cotler et al. (2006), la mayor captación de agua dentro de la cuenca Lerma-Chapala se registra en la cuenca del Río Laja, propiciando un mayor porcentaje de infiltración en la zona de estudio. Sin embargo, las cuencas del medio Lerma (como lo es la cuenca del Río Laja), son también las cuencas que presentan la mayor cantidad de extracción de agua subterránea, principalmente para uso agrícola, urbano e industrial.

Dentro de la cuenca Lerma-Chapala se encuentran un total de 45 acuíferos y 20,295 aprovechamientos de agua subterránea registrados ante CONAGUA (2007), de estos, en la subcuenca Támara-Picachos son reconocidas dos “regiones geohidrológicas”²: los acuíferos de “San Miguel de Allende” y “Cuenca alta del Río Laja” principalmente (Figura 3.16).

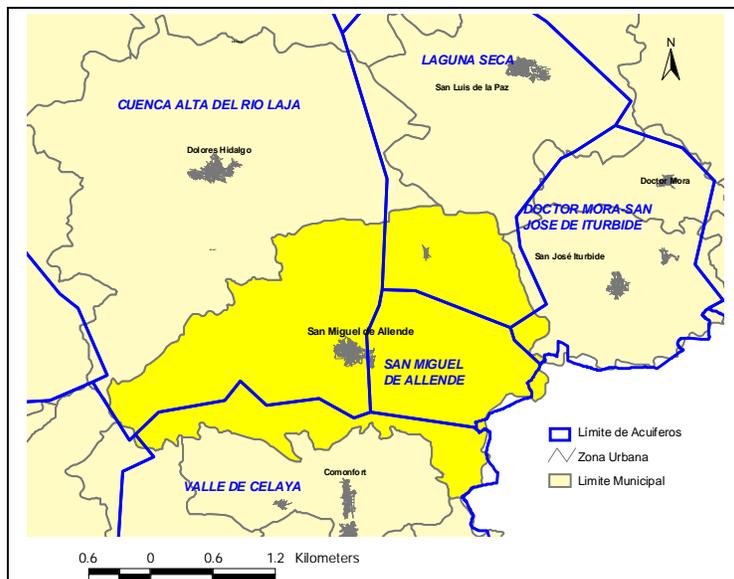


Figura 3.16. División de acuíferos en el Municipio de San Miguel de Allende, de acuerdo a los registros de la CEAG para 2009

Es importante señalar que las zonas altas de la subcuenca, como lo son sus tres principales cerros (“Los Picachos”, “Támara” y “La Márgara”), son consideradas como zonas de recarga, tanto para el acuífero San Miguel de Allende, como para los acuíferos del “Valle de Celaya” al Sur de la subcuenca y de

² De acuerdo a lo registrado en el documento del Estudio hidrogeológico del acuífero Río Laja-San Felipe, Gto. del 2000.

“Laguna Seca” y “Doctor Mora” al Noreste de la subcuenca, de acuerdo al Estudio Hidrogeológico del Acuífero Río Laja-San Felipe, Gto., realizado por LEASAR y Asociados para la Comisión Estatal del Agua de Guanajuato en el año 2000.

Del mismo documento se resume que las principales “unidades litográficas”³ presentes en el área de estudio son de tipo “andesita y basalto”, “arenisca y conglomerado polimíctico”, “volcano sedimentario” y “caliza y limolita”. La “columna estratigráfica”⁴ representativa del área de estudio es:

- Cuaternario. Depósitos aluviales del pleistoceno y basaltos del Cerro Cubilete
- Mioceno. Basaltos del mioceno tardío; secuencias volcánicas de Palo Huérfano, Cerro Colorado y La Joya; conjunto de andesitas de Allende y La Ordeña y conglomerados, areniscas y lacustres del terciario
- Oligoceno. Secuencia reolítica del oligoceno tardío y riolita del Cerro Chichíndaro
- Cretácico. Formaciones del Soyatal y El Doctor y el conjunto metasedimentario de la Sierra de Guanajuato
- Jurásico. Secuencia de rocas jurásicas sedimentarias

Se considera que el acuífero “San Miguel de Allende” es la principal región geohidrológica que incide sobre las actividades antrópicas y ambientales de la subcuenca Tábula-Picachos, la cual registra variaciones en la profundidad del nivel estático del agua subterránea con valores entre los 100 y 120m, acorde a lo siguiente:

- En la porción Sur del acuífero “Cuenca alta del Río Laja”, la profundidad del nivel estático varía entre los 50 y 100m
- El valle ubicado al oriente de la localidad de San Miguel de Allende tiene una altura piezométrica entre 1960 y 1940 msnm, que comparado con la

³ De acuerdo a lo registrado en la base de shapes de la subcuenca Tábula-Picachos, provenientes del OET de Guanajuato del 2000.

⁴ Columna de las unidades geológicas presentes en la subcuenca Tábula-Picachos, de acuerdo al Estudio hidrogeológico del acuífero del Río Laja-San Felipe, Gto. del año 2000.

zona al poniente de la misma localidad, registra una altura de 1850 msnm (90m menos), lo que sugiere un flujo subterráneo regional desde las partes altas de los cerros de La Márgara, Tábula y Los Picachos hacia el centro del valle y posteriormente hacia el Río Laja y la Presa Allende

Por otro lado, de acuerdo a CONAGUA (2009), la subcuenca se encuentra dentro de dos zonas de veda que prohíben la construcción de nuevos pozos para la extracción de agua subterránea en el área, las cuales están demarcadas en la Figura 3.17, la cual ubica geográficamente las zonas de veda, que corresponden a los decretos siguientes:

- Veda No. 1106 (27/01/1958): Norte del Estado de Guanajuato. Decreto que establece veda por tiempo indefinido para el alumbramiento de aguas del subsuelo en la zona. Veda Tipo II
- Veda No. 1102 (24/01/1949): San Miguel de Allende. Decreto que establece veda por tiempo indefinido para la excavación y ampliación de norias y galerías filtrantes, así como la perforación de nuevos pozos someros o profundos, en una zona situada al Oriente de la Ciudad de San Miguel de Allende, Gto. Veda Tipo II. Capacidad de mantos acuíferos con extracción solo para uso doméstico

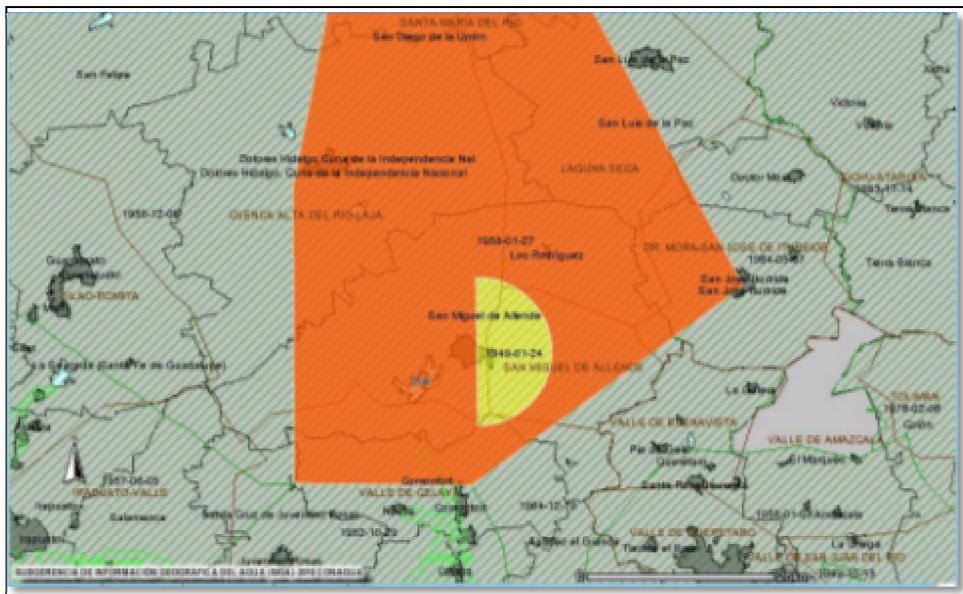


Figura 3.17. Zonas de veda incidentes en la Subcuenca Tábula-Picachos, Gto.

De acuerdo a Ortega et al. (2004), el acuífero reporta un déficit de 107.1Hm³/año, considerando 278.2Hm³ anuales de agua extraída de los acuíferos, en comparación con 172.1Hm³ anuales considerados como volumen de infiltración. El agua del subsuelo en el área de estudio es considerada con un pH relativamente neutro (aproximadamente 7.1) y con condiciones termales (entre 35 y 55°C). En un 85% de los pozos (principalmente en zonas cercanas a la Presa de Allende), se tiene la presencia de coliformes fecales, debido a que el acuífero es somero en esa zona.

III.3. Metodología

III.3.1. Modelación de sistemas hidrológicos

La modelación de un sistema hidrológico persigue como objetivo la operación y predicción de las salidas o respuestas del mismo. En general, la modelación de sistemas hidrológicos tiene problemas para representar la heterogeneidad y escala de los fenómenos del ciclo hidrológico, puesto que el tipo de escala para la representación de los fenómenos tiene implicaciones en la planeación regional de los recursos hídricos, en el manejo de la calidad del agua y en la predicción de los impactos del cambio climático (Klemes, 1998).

De acuerdo con Steyaert (1993) el proceso de modelaje debe incluir al menos uno de los siguientes pasos: (1) Desarrollo del modelo; (2) Prueba y evaluación y (3) Aplicación del modelo. Los tipos básicos que reconoce este autor son:

- Modelos Descriptivos o “a escala”, que caracterizan el mundo real
- Modelos Predictivos o matemáticos, que estiman lo que puede ocurrir bajo ciertas circunstancias. Estos pueden ser determinísticos o probabilísticos y ambos pueden ser estáticos o dinámicos
- Modelos Conceptuales o para la toma de decisiones, que son usados para sugerir el curso de acciones en respuesta a ciertas circunstancias, usando diagramas en bloques que muestran la jerarquía de los sistemas, sus procesos e interacciones

La modelación implica la selección o desarrollo de un modelo hidrológico apropiado y la prueba de su operación (calibración y validación), mismo que es específico para un sistema hidrológico en particular. La modelación comienza por encontrar las respuestas específicas a los efectos de una tormenta en una cuenca, en cantidad y ocurrencia.

Woolhiser y Brakensiek (1982) citados por Brooks *et al.* (1993) señalan que en general los modelos pueden ser clasificados en modelos materiales y modelos matemáticos y que a su vez los primeros pueden distinguirse en “físicos” (si mantienen una escala proporcional del sistema real) o “analógicos” si utilizan medios o sustancias equivalentes a las del sistema real. Los modelos matemáticos pueden dividirse en “empíricos” y “teóricos” y ambos a su vez pueden ser “determinísticos” o “estocásticos”. Los modelos teóricos están basados en leyes y principios físicos mientras que los modelos empíricos están basados en las relaciones observadas de ingreso y salida de datos y su principal base son estas observaciones.

La mayoría de los modelos hidrológicos están basados en relaciones matemáticas de estos tipos. Algunas relaciones se establecen de manera empírica y otras basadas en teorías. Conforme uno intenta explicar o predecir eventos de “sistemas complejos” (entendido como el uso de subsistemas de distinta índole y propiedades, mediante los cuales se pueda observar el funcionamiento de un sistema global), existe la necesidad de detallar y hacer más compleja la formulación del modelo. Lo anterior conduce también a la necesidad de calibrar el modelo ajustando las relaciones y los parámetros para ajustar el fenómeno. Dicho proceso involucra el ajuste de parámetros hasta que la respuesta calculada se aproxime a la respuesta observada.

Una vez es calibrado un modelo, este puede ser usado para estimar la respuesta de un fenómeno o de una variable en particular, con el ingreso de datos independientes. El sistema de modelación a adoptar en el proyecto de tesis es el de simulación, donde es importante señalar que los Sistemas de Información Geográfica (SIG) son de gran ayuda para espacializar los fenómenos, los cuales

pueden ser usados bajo cualquiera de los esquemas de modelos señalados anteriormente (Aronoff 1989, citado por Steyaert 1993).

La diversidad de modelos existentes, sus aplicaciones, y el impacto que estos han tenido para las ciencias ambientales a través de la informática, revelan que el desarrollo de los mismos cobra mayor auge conforme se demandan y generan mayores volúmenes de información. No obstante, los modelos son y serán siempre representaciones simplificadas de la realidad, por lo que el uso de sus productos debe asumirse con las reservas propias de los estudios específicos.

Se ha mencionado que para la evaluación del manejo hídrico conjunto es necesario realizar un estudio mediante el uso de modelos numéricos o de “sistemas complejos”, de entre ellos, los “modelos de simulación” son utilizados para predecir la respuesta de un sistema complejo ante ciertas acciones o variantes de acciones. Sin embargo, independientemente del tipo de modelo global utilizado, es necesario el uso de un modelo hidrológico superficial y un modelo de acuífero, los cuales deberán contar con un alto grado de interrelación, pudiendo anexar modelos de calidad, económicos, de gestión, ecológicos, etc. para futuras investigaciones y co-relaciones.

En este sentido, por “simulación” se entenderá el uso de un modelo para imitar, o describir paso a paso, el comportamiento de un sistema en estudio (Grant *et al.* 1997). Los modelos de simulación están compuestos de una serie de operaciones aritméticas y lógicas (funciones) que en conjunto representan la estructura (estado) y el comportamiento (cambio de estado) de un fenómeno (sistema) (Connolly 1998). Si se escogen las variables apropiadas para describir el sistema y se representan adecuadamente las reglas que gobiernan los cambios de estado, pueden proyectarse y/o predecirse los cambios en el estado del sistema a través del tiempo, es decir, es posible simular el comportamiento del sistema (Grant *et al.* 1997).

En tanto que los SIG proporcionan representaciones de las características del espacio, los “modelos hidrológicos” describen, explican y proyectan las

relaciones conciernen al flujo de agua y sus constituyentes en una superficie de tierra y en el ambiente subterráneo, existiendo una relación estrecha entre estas dos materias. Los SIG ofrecen el potencial de incrementar el grado de definición de las subunidades espaciales, en número y en detalle descriptivo, por lo que la fusión entre los SIG y los “modelos hidrológicos” ofrece el potencial de ubicar diversos procesos a escalas también diversas (Steyaert, 1993). Entre los principales parámetros de naturaleza hidrológica con relevancia espacial que pueden incorporarse como funciones en plataformas de modelaje de simulación dinámica y los SIG están el escurrimiento y la erosión.

Para la simulación del manejo del agua en sistemas complejos, es recomendable el uso de modelos globales donde se determinan las relaciones entre los escurrimientos, la infiltración y las extracciones en los acuíferos mediante bombeos y la asignación del agua para las distintas demandas a través del tiempo para cada microcuenca, misma que incluye el manejo conjunto del agua en la subcuenca. Dentro del modelo global a utilizar en la subcuenca se encuentran:

- Un “subsistema superficial”, mediante el cual se determinará las entradas y salidas de agua, atendiendo al balance de aguas superficiales
- Un “subsistema subterráneo”, con el cual se determinará el funcionamiento del acuífero con el que interactúa el manejo superficial del agua dentro de la subcuenca

III.3.2. Parámetros de los modelos hidrológicos

Uno de los principales aspectos en el modelaje hidrológico es la determinación de la precipitación, conocer cuánta de esta agua escurre, se infiltra, alimenta flujos subterráneos y se evapora y/o se almacena en los acuíferos. Una vez que el escurrimiento de agua es determinado para un punto en particular, el segundo aspecto importante es la hidráulica del flujo subterráneo, en la que es importante conocer la velocidad del movimiento del agua y la elevación del nivel freático o la piezometría del área del acuífero.

En campo, las variables requeridas para la parametrización, calibración y ejecución de los modelos hidrológicos superficiales pueden provenir de estaciones hidrométricas, o de dispositivos experimentales (como los lotes o unidades de escurrimiento o mediante aforos directos en los cauces de salida de las cuencas), los cuales son diseñados para medir la cantidad de agua escurrida en cada evento de precipitación (Brooks et al. 1993).

Para el caso de los acuíferos, Ortega (2000, 2008) indica que los principales parámetros constitutivos de un modelo de simulación del flujo subterráneo son: la discretización, las propiedades hidrodinámicas y formas de frontera del acuífero, datos sobre volúmenes de extracción y de las cargas piezométricas iniciales.

En la “discretización” del modelo de flujo subterráneo se incluyen los rasgos topográficos de mayor relevancia de la zona donde se encuentra el acuífero (sierras, valles, poblados, vías de comunicación, etc.). La discretización dentro de los modelos se hace por medio de mallas o retículas de forma geométrica regular (comúnmente formadas por celdas cuadradas de ancho constante). Algunas de estas celdas son consideradas activas o inactivas, atendiendo a si se considera que existe o no flujo de agua (las zonas de valle comúnmente son consideradas activas y las montañas como inactivas o de recarga). De acuerdo a la geomorfología de las capas de suelo que conforman a un acuífero, estas tendrán “propiedades hidrodinámicas” distintas. Los parámetros más comunes son los de “conductividad hidráulica” y el “coeficiente de almacenamiento”.

Por otro lado, Ortega (2000, 2008) señala que un acuífero puede ser considerado confinado, semi-confinado o libre, haciendo que sus fronteras sean variables, atendiendo al tipo de acuífero del que se trate. Algunos acuíferos se comportan como depósitos subterráneos, donde las únicas entradas son la infiltración profunda y sus salidas las extracciones por bombeo. Otros acuíferos están interconectados directamente con las corrientes superficiales, aportando agua a estos en época de estiaje y alimentándose de ellos en época de lluvias. Por último, existen acuíferos que descargan de manera libre y constante el agua

suministrada por sus zonas de recarga (comúnmente ubicadas en las partes altas de las cuencas) dentro de cuerpos de agua superficial (como embalses, lagos o el mar).

En cuanto a los datos de volúmenes de extracción y recarga, los primeros son rara vez medidos en campo, sin embargo en México la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) cuenta con un registro de usuarios del agua subterránea (donde son registrados los volúmenes de extracción concesionados de manera anual por cada usuario de un acuífero); por otro lado, las recargas potenciales por infiltración (principalmente del agua de lluvia y cuerpos de agua superficial) son calculadas mediante balances de agua superficial o mediante métodos alternos.

Para poder contar con datos del comportamiento de los niveles piezométricos en un acuífero (espacial y temporalmente), es necesaria su instrumentación y piloteo, sin embargo, la mayoría de los acuíferos en el país no se encuentran monitoreados, lo que dificulta conocer el comportamiento del flujo de agua subterránea. Solo algunos acuíferos son monitoreados temporalmente para el desarrollo de alguna investigación en específico. Por tal razón, se han creado modelos discretizados simples que permitan simular el funcionamiento del flujo subterráneo, aún cuando se cuente con unos pocos parámetros.

III.3.2.1. Modelos hidrológicos superficiales

El modelaje hidrológico en computadora empezó a aparecer a mediados de los 60's, primero para el flujo del agua superficial y el transporte de sedimentos, después en los 70's para la calidad del agua superficial y el flujo subterráneo; más tarde en los 80's para el transporte del agua subterránea. Los modelos más frecuentemente usados son producidos por el gobierno federal de los E.U.A. y no ascienden a más de una docena en total. Esta gran diversidad de modelos hidrológicos han sido desarrollados por científicos del "Servicio de Investigación Agrícola del Departamento de Agricultura" (USDA) de aquel país y tienen como funciones en la mayoría de los casos: percolación, evapotranspiración, erosión y escorrentía observados o calculados con diversos algoritmos (USDA, 1996).

En la década de los 70's. surge el modelo CREAMS (*Chemical, Runoff and Erosion from Agricultural Management Systems*) (Knisel 1980, citado por Connolly 1998), diseñado para estudiar la erosión y el movimiento de componentes químicos. Muchos otros modelos generados en los 80's tuvieron como base CREAMS, entre ellos GLEAMS (*Groundwater Loading Effects on Agricultural Management Systems*) (Leonard *et al.* 1987 y Davies *et al.* 1990), diseñado para el estudio de la carga de nutrientes y pesticidas del agua subterránea. A mediados de los 80's surge el modelo EPIC (*Erosion-Productivity Impact Calculator*) (USDA 1996), desarrollado originalmente para simular el impacto de la erosión sobre la productividad de cultivos y que en la actualidad ha evolucionado a un modelo de manejo agrícola más amplio. Otros esfuerzos, involucraron la modificación de CREAMS para simular cuencas complejas con variedad de suelos, uso de tierra y diferencias en su manejo. Uno de estos esfuerzos fue el modelo AGNPS (*Agricultural Non-point Source*), que detalla espacialmente eventos simples, subdividiendo cuencas complejas en una retícula de celdas.

El modelo SWRRB (*Simulator for Water Resources in Rural Basins*) (USDA, 1996.), fue desarrollado para simular en lapsos de tiempo continuo de un día distintos aspectos hidrológicos de las cuencas, mismas que el modelo solo puede subdividir en 10 unidades. A finales de los 80's, este problema condujo al desarrollo de un modelo llamado ROTO (*Routing Options to Outlet*) para correr múltiples rutinas del modelo SWRRB vinculando los flujos resultantes.

La fusión de SWRRB y ROTO en un solo modelo, permitió, por un lado, subdividir las cuencas en cientos o miles de celdas o subcuencas y por otro, modelar en lapsos continuos de tiempo el comportamiento de impactos de largo plazo (como la sedimentación de embalses en 50-100 años) o el impacto de prácticas agrícolas anuales (como la rotación de cultivos, riego, fertilización y aplicación de pesticidas). Posteriormente, el desarrollo del modelo SWAT (*Soil and Water Assessment Tool*), permitió pronosticar el impacto del manejo de agua, sedimentos y agroquímicos en grandes cuencas (USDA, 1996).

La base fundamental que estos modelos emplean para la simulación de los procesos hidrológicos es mantener el principio de la conservación de la masa, por lo que su enfoque es principalmente el balance hídrico. Dichos procesos, representados matemáticamente son calculados como flujos y almacenamientos de agua. Como esto implica acoplar un gran número de variables (parámetros), frecuentemente se requiere un proceso de “ensayo y error” para su calibración, cotejando los resultados calculados con los observados directamente en campo (Brooks *et al.* 1993).

Olaya (2002), en su trabajo doctoral, de donde deriva su propuesta de un “Sistema de Simulación Silvícola Hidrológica Integral”, hace referencia a los modelos hidrológicos más importantes y precursores a su modelo, distinguiendo los siguientes:

- La serie HEC⁵ de aplicación en análisis hidrológico de inundaciones
- DR3M⁶, un modelo distribuido de precipitación-escorrentía
- FESWMS-2DH⁷ un sistema de modelación de aguas superficiales mediante elementos finitos
- PRMS⁸, otro sistema para la modelación de la relación precipitación-escorrentía
- SWMM⁹, un modelo para análisis de tormentas y
- HSPF¹⁰, un programa muy completo de simulación hidrológica

Un modelo más comprensible, refiere Schellekens (2000), es TOPOG que integra balances de sedimentos, solutos, carbono y agua de pequeñas cuencas (menores a 10 km²) y es particularmente sensible para explorar mecanismos complejos de retroalimentación como el que se da en el balance hídrico y la

⁵Por sus siglas en inglés del Centro de Ingeniería Hidrológica de la armada de los EEUU.

⁶Por sus siglas en inglés de: Distributed Routing Rainfall-Runoff Model, un programa desarrollado por el U.S. Geological Survey

⁷Por sus siglas en inglés de: Finite-element surface-water modeling system for two-dimensional flow in the horizontal plane, desarrollado por la administración Federal de carreteras de los EEUU.

⁸Por sus siglas en inglés de: Precipitation-Runoff Modeling System, un programa desarrollado por el U.S. Geological Survey.

⁹ Por sus siglas en inglés de: Storm Water Management Model

¹⁰Por sus siglas en inglés de: Hydrological Simulation Program-Fortran, desarrollado por la agencia de protección ambiental de los EEUU.

configuración de diferentes arreglos arbóreos en condiciones sub-húmedas, incluyendo simulaciones exitosas con cambios en el crecimiento de los árboles y el escurrimiento en periodos hasta de 20 años. TOPOG es especialmente sensible a variaciones de la vegetación, a la conductividad hidráulica de suelos y a la capacidad de intercepción del dosel.

El modelo HEC-HMS (Hydrologic Modeling System 3.0.1, 2000) requiere de tres componentes para su calibración: un modelo meteorológico que puede estructurarse mediante información de diversa temporalidad (anual, mensual, semanal, hasta cada minuto); un modelo de las características físicas e hidrológicas de las cuencas (para lo cual HEC ha desarrollado un modulo a manera de extensión del SIG ArcView, que deriva dichas características a partir del análisis de un “modelo digital del terreno” y un denominado “manejador de las especificaciones de control” que fundamentalmente organiza los periodos de simulación en los que es ejecutado el modelo.

Las fuentes de datos con las que se calibra el modelo también son variables y comprenden desde datos agrupados en series de tiempo (precipitación, escurrimiento, evaporación etc.), datos “pareados”, es decir provenientes de tormentas y/o cuencas con características similares y datos provenientes de información en “formato raster”. Además, HEC incorpora múltiples rutinas que permiten la simulación de la “respuesta hidrológica” conforme a distintos criterios entre los que destacan el método del hidrograma unitario adimensional y el modelo del SCS, entre muchos otros.

Finalmente, HEC, cuenta dos módulos adicionales de gran utilidad, uno para generar las capas en formato raster (HEC-GeoHMS) que pueden incorporarse en la espacialización de escenarios en el módulo HMS y un “manejador de juicios” que prueba la eficiencia de las ejecuciones de las simulaciones y sugieren los parámetros que pueden optimizar una salida más adecuada del modelo simulado.

III.3.2.2. Modelos hidrológicos subterráneos

El desarrollo inicial y justificación de los modelos de flujo subterráneo es debido al desconocimiento de la forma de respuesta del sistema subterráneo ante acciones exteriores, principalmente el comportamiento ante extracciones de agua del sistema subterráneo. Básicamente, Andreu et al., (1984, 1996, 1997, 2007), recopila y conjunta en dos posturas las distintas soluciones adoptadas para la modelación de sistemas subterráneos: los “modelos con parámetros agregados” (o modelos simplificados) y los “modelos con parámetros distribuidos”.

Los modelos agregados utilizan unos pocos parámetros que globalizan el comportamiento de un acuífero y proporcionan una idea robusta de la variación del estado de un acuífero a lo largo del tiempo, mas no en su distribución espacial, en base a acciones externas que también se encuentran generalmente englobadas. Los modelos distribuidos, como su nombre lo dice, consideran la distribución espacial de un acuífero y sus propiedades hidrodinámicas, su localización, características de frontera y la forma en que las acciones externas le afectan. Este tipo de modelos da una descripción más detallada sobre la evolución del estado de un acuífero y de las conexiones con otros subsistemas (como el superficial), tanto en el espacio como en el tiempo.

Modelos simplificados

Han sido utilizados en algunos estudios de simulación de manejo hídrico conjunto, con el inconveniente de tener que recurrir a grandes simplificaciones del funcionamiento de los acuíferos, considerándolos únicamente como depósitos, a los cuales se les aplica una ecuación de balance de masas.

Buras (1967) usa este sistema para simplificar el funcionamiento de un sistema de manejo hídrico conjunto en Israel. Aron et al. (1971), aplica programación dinámica a un sistema hídrico en el Valle de Santa Clara, California, haciendo uso de técnicas de sub-optimización de los acuíferos. Cochran (1970) recurre a una simplificación del modelo de manejo hídrico conjunto en los valles de

Las Vegas y El Dorado, Nevada, incluyendo la recarga artificial a partir de aguas residuales.

Las simplificaciones a la modelación de un acuífero solo son justificadas cuando no existe conexión directa entre los cauces superficiales o manantiales y los acuíferos relacionados. Ante la ventaja de la simplicidad y rapidez de los cálculos, se encuentra la desventaja de la simplificación excesiva del funcionamiento de un acuífero, salvo en aquellos casos donde se realice un tanteo previo.

Modelos distribuidos

Como ya se mencionó, los modelos distribuidos consideran la espacialización del acuífero y sus propiedades hidrodinámicas; sin embargo, hay modelos distribuidos que simplifican las características del acuífero, reduciéndolo a configuraciones geométricas sencillas y/o considerándolo homogéneo en cuanto a sus propiedades hidrodinámicas. De cualquier forma, para considerar a un modelo como “distribuido”, se tiene que tomar en cuenta la localización de los bombeos que actúan sobre el acuífero. De acuerdo a Andreu et al., (1984, 1996, 1997, 2007), los modelos hidrológicos subterráneos de carácter distribuido con más relevancia son:

- Modelo Glover-Jenkins, basado en la solución analítica para el caso de un acuífero homogéneo e isótropo de extensión semi-infinita, que limita con un río totalmente penetrante
- Modelo pluricelular englobado, basado en casos en que la geometría del acuífero, sus propiedades hidrodinámicas y condiciones de contorno son sencillas
- Modelos clásicos, basados en métodos de diferencias finitas y elementos finitos, en los cuales se discretizan tres variables independientes y se transforman en ecuaciones con solución lineal y resueltas secuencialmente para cada incremento de tiempo

- Modelo de autovalores, es un modelo de parámetros distribuidos donde se hace la hipótesis de que el sistema subterráneo se comporta de manera lineal, lo que representa una gran ventaja en su aplicación en sistemas complejos de manejo hídrico conjunto
- Modelo de funciones de influencia o matrices de respuesta, se trata de un modelo basado en la filosofía del modelo Glover-Jenkins, donde se superponen sistemas lineales, resultado de un modelo de flujo subterráneo más complejo, para obtener una serie de expresiones que representan el funcionamiento del acuífero en el tiempo para determinada acción externa

III.3.3. Instrumentos de análisis en la modelación hídrica conjunta

Los sistemas de ayuda en la toma de decisiones se basan en un conjunto de sistemas informáticos, cuya función principal es servir como una ayuda para el gestor de un proceso o sistema complejo, dentro de un proceso de toma de decisiones, pues precisamente un problema común al que se enfrenta un tomador de decisiones es, el poder justificar las decisiones tomadas respecto a una audiencia u opinión pública, los cuales muchas veces no cuentan con la preparación técnica necesaria para asimilar algunos criterios. Por tanto, cuando se requiera explicar a los usuarios sobre alguna acción o decisión tomada, deben diseñarse fórmulas, tablas, gráficos, etc., los cuales faciliten la transmisión de la información y las ideas planteadas.

Cabe señalar que las decisiones en la gestión y manejo de recursos hídricos no dependerá únicamente de una persona o grupo, sino que las reglas de operación de un sistema deben ser definidas mediante un consenso y mitigación de intereses, por lo que es necesario contar con una herramienta de modelación de escenarios de manejo y gestión, la cual permita analizar distintas consecuencias sobre cada alternativa de gestión.

Actualmente, suele plasmarse la información obtenida en las modelaciones de escenarios de una manera sencilla, mediante el uso de gráficos elaborados en

los SIG's. Sin embargo, el entorno Aquatool también puede ser utilizado como una herramienta presentación de resultados, como producto de una investigación relacionada a la gestión hídrica conjunta, apoyándose en los SIG's para su presentación final.

El abordaje metodológico parte de considerar al “manejo hídrico conjunto” como un sistema complejo, el cual es susceptible de ser modelado de forma detallada mediante el análisis de propuestas de manejo hídrico alterno, las cuales tengan un carácter sistémico e integral, lo que permita incluir metodologías de análisis y diagnóstico tanto hidrológico como social. Para lo cual, se considera la adopción de un “modelo global” de funcionamiento hidrológico de la subcuenca (mismo que considere un “módulo superficial” y “módulo subterráneo”), en conjunto con la metodología de análisis de redes sociales, con la que sea posible la detección de conexiones e influencias entre usuarios (internos y externos), que atañen al manejo del agua en la subcuenca Támbula-Picachos.

Ambos módulos están sometidos a acciones internas y externas que competen al manejo hídrico conjunto en la zona de estudio. Por un lado, las acciones internas son considerados procesos naturales como: precipitación, evapotranspiración, escurrimiento e infiltración. Por otro lado, las acciones externas consideran a las demandas de agua (producto de las actividades desarrolladas por la población en la subcuenca) como su principal componente.

Una vez que es realizada la simulación del manejo superficial y subterráneo, es posible ir más allá del conocimiento de la situación actual del manejo del agua en la subcuenca, mediante la elaboración de escenarios de manejo tendencial a mediano y largo plazo. Para llevarlo a cabo, es necesario el apoyo en la metodología de determinación de escenarios tendenciales del “uso del suelo y vegetación”¹¹ y de “proyecciones de crecimiento poblacional”¹² de las localidades que se encuentran en la subcuenca, considerando que las demandas

11 De acuerdo a la metodología y trabajo conjunto con el proyecto de tesis “Priorización de áreas para recuperar la función hidrológica de la Subcuenca Támbula- Picachos, Guanajuato”, desarrollado por la compañera de generación, Biol. Milagros Córdova Athanasiadis.

12 Considerando dos métodos (aritmético y geométrico) para conocer la tendencia de crecimiento poblacional, basados en la información actual registrada en INEGI.

de agua que de estos dos escenarios tendenciales surjan, serán las que mayor impacto tengan en el manejo hídrico conjunto en la subcuenca Tábula-Picachos.

Como “modelo hídrico conjunto” se utiliza el programa de cómputo AQUATOOL DMA (Versión 3.40, 2007), con el cual se realiza la simulación del manejo conjunto del agua en la subcuenca Tábula-Picachos. Dentro de este programa, el módulo SIMGES es usado para la simulación del manejo del agua superficial y su interacción con el agua subterránea dentro de la subcuenca. Para alimentar los datos que requiere este módulo, se usa el programa ArcView 3.2, junto con otros modelos hidrológicos. Por su parte, el modelo AQUIVAL es usado para la simulación de la evolución de los niveles piezométricos atendiendo a distintas demandas que se presenten en el sistema hídrico.

El programa ArcView 3.2 maneja información espacial a manera de “capas del terreno” en formato “Shape” (*.shp), (como los de topografía, uso del suelo y cobertura vegetal, hidrología superficial, acuíferos, edafología, entre otros), y en él se desarrollan los mapas base y del balance hídrico anual. En los modelos hidrológicos utilizados se hace alusión a distintas metodologías para determinar el escurrimiento, la infiltración y la evapotranspiración en la zona de estudio, las cuales son detalladas más adelante.

Del documento “Formación de una Línea de Base Científica para el Manejo Integrado de la Subcuenca específica Tábula-Picachos, en San Miguel de Allende, Guanajuato” (PMI-STP¹³, 2009) son extraídos datos de morfología e hidrología, así como datos obtenidos con el manejo de los programas ArcView 3.2 y HEC-HMS, mismos que son requeridos en el módulo SIMGES (2007).

Para tener una aproximación de los escurrimientos mensuales se utilizan como referencia:

- Los datos de la estación hidrométrica “Cinco Señores”, relacionados linealmente con los datos de “precipitación media mensual” entre la

¹³ Abreviado como “Plan para el Manejo Integrado de la Subcuenca Tábula-Picachos” (PMI-STP), para futuras referencias.

subcuenca Tábula-Picachos y una porción de la “Cuenca Alta del Río Laja”, donde está situada la estación de monitoreo de escurrimientos superficiales con más similitud hidrológica a la zona de estudio

- Los escurrimientos calculados con el “Método de la NOM-011 CNA-2000” y el “Método de la curva Numérica”, para el cálculo y la estimación de escurrimientos medios anuales y mensuales
- Los escurrimientos calculados con el Modelo de Témez partiendo de una serie de Precipitación y Evapotranspiración Potencial

Para tener una aproximación de la evapotranspiración potencial media se utiliza como referencia los datos calculados con los siguientes métodos:

- Coutagne
- Hargreaves-Samani
- Thornthwaite
- Turc

Por último, la estimación de la infiltración potencial media en la zona de estudio, se realiza mediante el planteamiento de un balance general de masas de agua en la zona de estudio, considerando que del total de lluvia que incide en la zona, una parte se escurre, otra se evapotranspira y una más se infiltra o se almacena y mediante los valores de Infiltración Potencial derivados del Modelo de Témez. Por tanto, una vez que han sido conocidas las partes del balance hídrico, se procede a despejar el valor de infiltración potencial y compararlo con los resultados del Modelo de Témez.

El modelo Témez, a diferencia de otros similares, permite que se produzcan excedentes de agua, aún cuando el suelo no se encuentre totalmente saturado, lo que permite realizar un reparto más realista del excedente de agua que escurre superficialmente y de la que se infiltra al acuífero. Este modelo (Témez, 1977; Quintas, 1996; Ruiz, 1999; Cabezas et al, 1999; Álvarez et al, 2005) utiliza los datos registrados en estaciones de aforo, información meteorológica, y características específicas de las cuencas y acuíferos.

Se trata de un modelo hidrológico conceptual y cuasi-distribuido de lluvia-escorrimento que simula los flujos medios mensuales, considerando al escurrimiento total expresado como la suma de las componentes superficial y subterránea. La primera es la fracción no infiltrada ni evaporada de la precipitación y la segunda se considera como resultado de un modelo simple tipo celda. Los valores iniciales a establecer son:

- Humedad inicial del suelo
- Almacenamiento inicial en el acuífero

Las entradas al modelo son los datos de precipitación y evapotranspiración potencial (obtenida a partir de datos de temperaturas mensuales en las estaciones meteorológicas). Para contraste se usan los datos de caudales históricos observados en los puntos de simulación o de calibración. Otra información que precisa el modelo son datos sobre topología y delimitación del área de estudio, morfometría general de la cuenca, unidades hidrogeológicas, uso del suelo y vegetación, entre otros (Quintas, 1996). Un esquema representativo del funcionamiento del Modelo de Témex se muestra en la Figura 3.18. Los datos que deben estimarse son:

- Capacidad máxima de almacenamiento de humedad en el suelo
- Capacidad máxima de infiltración
- Coeficiente de escurrimiento
- Coeficiente de recesión del acuífero

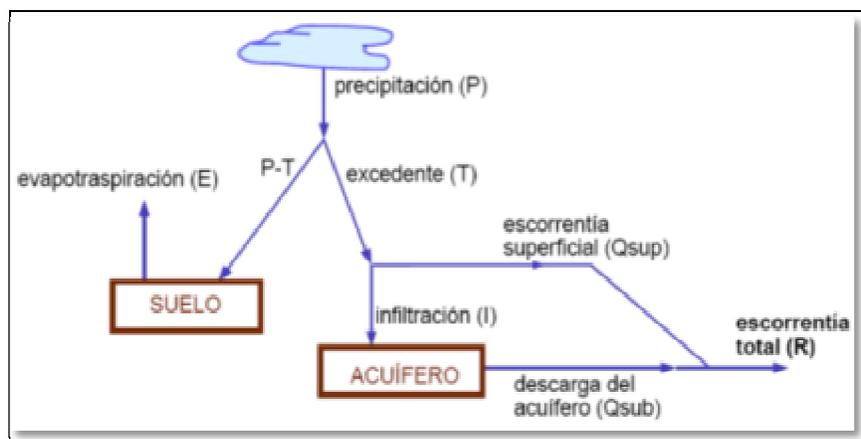


Figura 3.18. Descripción esquemática del flujo de agua en el Modelo Hidrológico de Témex

Por otro lado, para la simulación del funcionamiento de los acuíferos es utilizado el módulo AQUIVAL, el cual requiere de un modelo matemático previamente calibrado. Para alimentar los datos de este módulo son retomadas las principales propiedades del modelo matemático del acuífero “San Miguel Allende”, en el que se encuentra la subcuenca Tábula-Picachos, de acuerdo a lo expuesto en tres fuentes que han trabajado el flujo subterráneo en la zona:

- Seguimiento del estudio hidrogeológico y modelo matemático del acuífero del Río Laja, Guanajuato¹⁴
- Determinación de la disponibilidad de agua en el acuífero Cuenca Alta del Río Laja, Guanajuato¹⁵
- Modelación aplicada a sistemas de acuíferos en el Estado de Guanajuato¹⁶

Tanto el módulo SIMGES, como AQUIVAL requieren datos generales de demandas de agua (a una escala de tiempo mensual), las cuales están divididas en Agrícolas, Urbanas e Industriales, como las de mayor representatividad consuntiva, mismas que fueron determinadas mediante el análisis de consumos al interior de la subcuenca. Cabe señalar que gran parte de esta información es obtenida de consultas documentales y bibliográficas; consultas personales ante instancias como Comisión Estatal del Agua de Guanajuato (CEAG) y la Dirección de Medio Ambiente y Ecología (DMAE) del Municipio de San Miguel de Allende, así como la revisión de páginas web asociadas al manejo y gestión del agua en la zona de estudio.

III.3.4. Concepción de los balances hídricos

De acuerdo a la definición de balance hídrico general, éste puede ser expresado mediante la continuidad del ciclo hidrológico, el cual es bien conocido. En el presente proyecto se plantea la metodología para determinar la

¹⁴ Documento elaborado por LESSER y Asociados, S.A. de C.V. para la Comisión Estatal del Agua de Gto., en el año 2000.

¹⁵ Documento editado por la Comisión Nacional del Agua, dentro de la Gerencia de Aguas Subterráneas y la Subgerencia de Evaluación y Modelación Hidrogeológica en el año 2002.

¹⁶ Documento elaborado por la Comisión Estatal del Agua de Guanajuato para el Programa de Desarrollo de Modelos de Acuíferos en Guanajuato (PRODMA), en el año 2006.

disponibilidad de aguas superficiales y subterráneas dentro de la subcuenca Támbula-Picachos, atendiendo a dos escalas de tiempo:

- Para la demanda consuntiva de un año hidrológico
- Para la estimación de la disponibilidad hídrica subterránea anual

Para tal objetivo, en la Figura 3.19, se presenta un esquema representativo del balance hídrico conjunto considerado en la modelación hídrica de la subcuenca Támbula-Picachos, Gto.

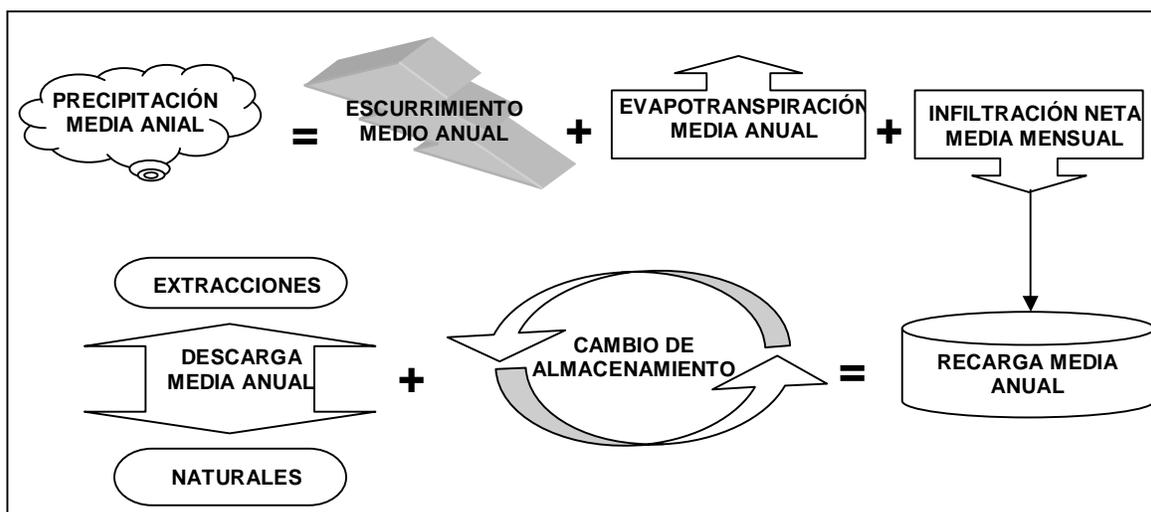


Figura 3.19. Diagrama general del funcionamiento del balance hídrico general en una cuenca hidrográfica

Para la estimación del estado de disponibilidad de agua en los escenarios a mediano y largo plazo, en primera instancia, se hará uso de metodologías para la estimación de las tendencias de crecimiento en las demandas agropecuarias y urbanas, las cuales fueron descritas en el Capítulo II; posteriormente, se procederá a modelar y simular el manejo conjunto del agua, sometiendo la disponibilidad de agua ante las principales demandas y aportaciones al sistema.

III.3.4.1. Balance de aguas superficiales

Los métodos desarrollados para evaluar el balance hídrico superficial de una región, toman como base ya sea el enfoque de “transferencia de masa” o el de “transferencia de energía”. De manera sintética, el primero establece que del total de lluvia incidente en un área (PG), una fracción importante es

evapotranspirada (ET), que considera lo que se evapora del suelo, de superficies de agua y del dosel de la vegetación, más la que propiamente transpiran los vegetales), otra fracción escurre (Q) y otra más se infiltra (Dif-L) o es almacena como humedad en el suelo (Dif-S), de acuerdo a como se señala en la siguiente ecuación:

$$PG = (ET) + (Q) + (Dif-L) + (Dif-S)$$

ó

$$P_{TOTAL} = ET_{REAL} + Q_{MEDIO} + I_{POTENCIAL}$$

La diversidad de métodos desarrollados para la estimación de la evapotranspiración (ETP) asume una combinación de los enfoques de transferencia de masa o de energía. De acuerdo a Campos (2007), la estimación de ET, ya sea con base en la propuesta de

- Fórmula de Turc: propone un método sencillo para calcular la evapotranspiración potencial (ETP), asociada a la precipitación (Pm) y temperatura (Tm) medias de la cuenca en estudio
- Fórmula de Thornthwaite: es un método desarrollado en 1944 para calcular el uso consuntivo mensual en función de las temperaturas medias mensuales (Tm)
- Fórmula de FAO - Penman: es una fórmula desarrollada en 1994 por expertos de la Comisión Internacional para Riego y Drenaje de la Organización Meteorológica Mundial (FAO), donde se estandarizan los métodos para el cálculo de la evapotranspiración de referencia (ETo), combinando los métodos de Penman y Monteith, reduciendo las imprecisiones de otros métodos

Conceptualmente, el escurrimiento (Q_{MEDIO}) es despejable de la ecuación de transferencia de masa, aunque regularmente es un parámetro medido y conocido. Sin embargo, el escurrimiento de una gran parte de las cuencas hidrográficas del país es usualmente modelado y evaluado desde un punto de

vista empírico. Por tanto, de entre los métodos más ampliamente utilizados para estimar el flujo superficial se encuentran:

- Método de la Curva Numérica¹⁷: requiere conocer datos como tiempo de concentración, período de retardo, lámina de escurrimiento en exceso, y los números de escurrimiento para tomar en cuenta la infiltración
- Método de la NOM-011 CNA-200¹⁸: conceptualmente similar al de la curva numérica, utilizando el coeficiente de suelo “k” para determinar la capacidad de infiltración máxima del suelo y estimar el escurrimiento medio
- Método del Hidrograma Unitario Sintético Adimensional¹⁹: se trata de un método para el cálculo de gastos pico de tormentas o hidrogramas de diseño de estructuras hidráulicas de drenaje pequeñas en cuencas no urbanas y con un área menor a 25km²
- Método Precipitación-Escurrecimiento²⁰: es un método modificado para su uso en nuestro país, establecido por la antigua CNA, para calcular el volumen medio anual de escurrimiento natural de una cuenca hidrográfica
- Método de Analogía Hidrológica²¹: se trata de un método basado en la similitud climática y de características físicas entre cuencas de una misma región geográfica, usado cuando la zona de estudio se encuentra cercana a una estación hidrométrica.

Ahora bien, no solo es escurrimiento es susceptible de ser calculado, pues el proceso de infiltración (I**POTENCIAL**) también puede ser calculado empíricamente, para incluirlo como un valor del balance hídrico superficial. De acuerdo a Aparicio (2005), el proceso de infiltración juega un papel de primer orden en la relación “*precipitación-escurrimiento*”, puesto que el volumen de infiltración suele ser varias

¹⁷ Método diseñado por el “Soil Conservation Service” de Estados Unidos (SCS-USA, 1972), citado por Chow et al., en 1994 y adoptado por FAO para los Estudios de Riego y Drenaje de 1990.

¹⁸ Se trata de un método adecuado por la Comisión Nacional del Agua para su aplicación en nuestro país, para la estimación del escurrimiento medio y la disponibilidad de agua superficial.

¹⁹ Método desarrollado originalmente por Sherman en 1932 y modificado por Chow et al., para el “Soil Conservation Service” de Estados Unidos (SCS-USA, 1962).

²⁰ Método modificado para México por la antigua Comisión Nacional del Agua como “Norma Oficial Mexicana para la Determinación del Volumen de Escurrecimiento Anual” (NOM-011-CNA, 2000).

²¹ Citado por Campos Aranda. p 204. “Applications of Hydrology to Water Resources Management”. World Meteorological Organization. Geneva, Switzerland.

veces mayor que el de escurrimiento en cuencas poco urbanizadas. Los principales criterios²² usados para estimar un valor de infiltración potencial son:

- Capacidad de infiltración media: útil para medir la infiltración para el registro de precipitación y escurrimiento de una tormenta específica
- Coeficiente de escurrimiento: en el que se considera que las pérdidas por infiltración son proporcionales a la intensidad de lluvia de una tormenta en específico
- Criterio del US-SCS: se trata de un criterio para determinar un coeficiente de escurrimiento general para cualquier tormenta
- Índice de precipitación antecedente: relaciona la capacidad de infiltración media con las condiciones de humedad del suelo a través del tiempo, útil en la predicción de escurrimientos a corto plazo
- Números de escurrimiento (Curva Numérica): es un método desarrollado por el US-SCS, el cual no requiere que la cuenca estudiada se encuentre aforada, el cual parte de conocer la altura de lluvia efectiva que escurre y depende del tipo de suelo, cobertura vegetal, pendiente del terreno y la precipitación antecedente.

III.3.4.2. Balance de aguas subterráneas

De acuerdo a la NOM-011 CNA-2000, el balance de aguas subterráneas dentro de una unidad hidrogeológica (para un intervalo de tiempo dado) puede ser expresado como:

$$\text{SUMA DE ENTRADAS} = \text{CAMBIO DE ALMACENAMIENTO} + \text{SUMA DE SALIDAS}$$

$$\text{O bien, } R_T = CA + D_T, \text{ donde:}$$

R_T (Hm^3): recarga total

D_T (Hm^3): descarga total

CA ($adim$): cambio de almacenamiento en el acuífero

²² Citados por Aparicio (2006), en "Fundamentos de Hidrología Superficial"

Para poder determinar una recarga media representativa, el balance de aguas subterráneas debe realizarse en intervalos de tiempo anual, dependiendo de la disposición de los datos para su cuantificación, incluyendo años secos y años húmedos. Por su parte, el cambio de almacenamiento en un acuífero se determina a partir de la evolución de los niveles estáticos del agua subterránea, los cuales corresponden al valor representativo del coeficiente de almacenamiento del acuífero, el cual es determinado a partir de pruebas de bombeo y/o en base a consideraciones relativas al tipo y litología del acuífero estudiado.

La descarga total de un acuífero (en un intervalo de tiempo), es calculada como la suma de los volúmenes descargados (tanto de forma natural como sus extracciones). Las descargas naturales comprenden el caudal base de los escurrimientos superficiales, los afloramientos superficiales (galerías o manantiales), la evapotranspiración y el flujo subterráneo (dependiendo de las características de formación de cada acuífero). Por otro lado, las extracciones de agua subterránea se determinan a partir de lecturas registradas en los medidores de descarga de los pozos o registros de la dependencia competente. Otros métodos indirectos son el consumo de energía eléctrica, población servida y dotación, índices de consumo, superficies de riego, de acuerdo al uso del agua.

III.3.5. Modelación hídrica conjunta en AQUATOOL DMA

El uso de modelos globales en el campo de la gestión y manejo de cuencas ha ido creciendo constantemente desde los años 60's, derivado de la capacidad de estos para ser usados como herramientas de planificación, operación y soporte de políticas de manejo hídrico, comúnmente usados dentro de sistemas con cierto grado de complejidad (Maass et al., 1982).

La gran mayoría de los modelos de gestión o manejo de recursos hídricos han sido desarrollados específicamente para una cuenca y raramente son útiles para un sistema diferente. No obstante, existen modelos que permiten su

adaptación para la representación de diferentes sistemas, entre ellos SIM-V²³, MODSIM²⁴ y ARSP²⁵. Actualmente, el concepto de “sistema de soporte” para la toma de decisiones es muy atractivo para los encargados de operar sistemas hídricos complejos, generalmente siendo un sistema de ayuda técnica para validar reglas de operación y manejo del agua. Tanto el programa IRIS²⁶ como AQUATOOL DMA²⁷ son ejemplo de este tipo de sistemas.

De manera general, AQUATOOL DMA (2007) puede ser descrita como una interface para la edición, simulación, revisión y análisis de modelos de simulación de la gestión y el manejo en cuencas, en el cual puede ser incluida la simulación de calidad del agua. Este modelo global fue desarrollado como un modelo de ayuda a la toma de decisiones en materia de planificación de la gestión de cuencas hidrográficas, en el cual se incluyen los módulos de:

- aquatoodma.exe: Interface general para la edición de datos y para el manejo del resto de programas
- simges.exe: Módulo para la simulación de la gestión de cuencas incluyendo utilización conjunta (Andreu et al., 1984, 1996, 1997, 2007)
- gescal.exe: Módulo para la simulación de la calidad de aguas a escala de cuencas (Paredes et al., 2007)
- grafdma.exe: Programa auxiliar para el tratamiento de resultados gráficos de la simulación por SIMGES y GESCAL, así como para el cálculo de resultados para masas de agua o elementos en formato SIG
- ges2dma.exe: Programa auxiliar para la actualización de proyectos desarrollados con SIMWIN a proyectos para AQUATOOL DMA

²³ Desarrollado por Martin, Q. W., en 1982 como un Modelo de asignación del agua superficial.

²⁴ Desarrollado por Labadie, J., en 1978 como un Modelo de flujo en el entorno de la cuenca de un río.

²⁵ Desarrollado por Sigvaldason, O. T., en 1989 como un Modelo de simulación para representar la operación de un sistema hídrico a largo y corto plazo.

²⁶ Desarrollado por Salewicz, K. A. y Loucks, D. P, en 1990 como un Sistema interactivo de soporte a la decisión en el manejo experimental en algunos ríos.

²⁷ Desarrollado por el Instituto de Ingeniería del Agua y Medio Ambiente de la Universidad Politécnica de Valencia, España.

III.3.5.1. Módulo de simulación del manejo de recursos hídricos

SIMGES es una herramienta de modelación utilizada para la simulación de la gestión y el manejo dentro de esquemas de sistemas de recursos hídricos, que constituye uno de los módulos del “Sistema Soporte de Decisión AQUATOOL DMA”, desarrollado por el Departamento de Ingeniería Hidráulica de la Universidad Politécnica de Valencia.

El Módulo SIMGES tiene la facilidad de representar de forma detallada el esquema de manejo de recursos hídricos mediante una interface gráfica, para lo cual cuenta con un gran número de elementos (embalses, conducciones, demandas, retornos, bombeos, recargas, etc.). Igualmente importante, es la interacción de estos elementos superficiales con los acuíferos, con lo que es posible hablar de un manejo hídrico conjunto (AQUATOOL DMA, 2007).

El modelo matemático SIMGES contiene un sub-modelo de optimización que se corre mediante una red de flujo interna, la cual usa un algoritmo para asignar agua a cada demanda, minimizando las sumas ponderadas de las desviaciones de los objetivos y prioridades de abastecimiento, mismas que son proporcionadas por el usuario.

La interface de usuario SIMGES (dentro de AQUATOOL DMA) es una herramienta de dibujo que permite diseñar cualquier esquema de manejo de recursos hídricos. Sobre la ventana de trabajo se adicionan los elementos necesarios para conformar un esquema simplificado del manejo de una cuenca, introduciendo las características físicas de cada elemento.

El usuario puede seleccionar opciones del menú para cambiar de sitio un elemento ya definido, así como cambiar sus datos y mover todo el esquema. El esquema puede ser almacenado y más tarde recuperado. Una vez que el elemento es colocado, aparece una ficha en la que se introducen los datos del elemento elegido. Cuando se ha completado, se vuelve a la pantalla del esquema. Este esquema puede ser editado, modificado, impreso y/o almacenado según se

deseo. Cuando el esquema está listo y validado, se ejecuta el modelo SIMGES para proceder a la simulación del mismo, visualizando los resultados de los distintos escenarios y de cada elemento en el esquema (en forma de gráficos o tablas) (SIMGES, 2007).

Algunos de los elementos presentes en el entorno de AQUATOOL DMA, los cuales son útiles en la simulación del manejo conjunto del agua, se presentan a continuación:

- NUDOS: Definen puntos significativos del esquema, tales como:
 - confluencias o particiones de río o conducciones
 - entradas de flujo: una aportación, un retorno, o un bombeo adicional
 - salidas de flujo: para recarga artificial, o toma para alguna demanda
 - cambio de las características del río o de la conducción
- EMBALSES: Son en realidad nudos con capacidad de embalse, donde se tienen que llenar los siguientes datos: infiltración, nudo de vertidos, número de prioridad, volumen inicial, caudal máximo de sueltas y la columna de aportación (volúmenes, cotas de nivel del agua y la tasa de evaporación mensuales)
- APORTACIONES: Son las incorporaciones de flujo de agua al sistema y existen de dos tipos: las aportaciones en nudos y las aportaciones en embalses
- DEMANDAS: Son elementos que consumen agua, aunque parte del suministro puede retornar al sistema. Representan normalmente consumos agrícolas, urbanos o industriales. En estos elementos tienen que ser definidos los siguiente parámetros:
 - Demanda Total
 - Acuífero al que recarga: es el acuífero que recibe la infiltración profunda o ninguno si se pierde fuera del sistema
 - Acción elemental de recarga: identifica la acción elemental por la que se recarga el acuífero cuando se define un acuífero con filtraciones

- Acuífero del que bombea: es el acuífero del que se extraen los caudales complementarios cuando el suministro superficial no cubre la demanda o ninguno
- Parámetro de control del bombeo: define una regla de operación del bombeo, controlando el bombeo para una demanda con un valor umbral
- Acción elemental del bombeo: identifica la acción elemental del acuífero del que se bombea agua
- Caudal máximo de bombeo: parámetro que limita la máxima capacidad de extracción mensual del acuífero
- TOMAS: Es un elemento que abastece de agua a una demanda. Una demanda puede ser abastecida con varias tomas, pudiendo dar prioridad a la demanda, aunque el agua proceda del mismo punto o distinguir entre suministros de distintas sub-zonas
 - Punta mensual: caudal máximo que puede suministrarse en cada mes
 - Dotación anual: es el valor máximo del suministro anual permitido
- CONDUCCIÓN: Define las conexiones entre los nudos del sistema, existiendo cinco tipos de conducciones con las siguientes características
 - CT1: conexiones sin ninguna característica
 - CT2: tienen pérdidas por filtración
 - CT3: usadas para definir la conexión de un acuífero y el sistema de flujo superficial
- ACUÍFEROS: Existen diversos modelos matemáticos para la simulación del comportamiento de un acuífero, donde el modelo SIMGES utiliza:
 - Depósito: este acuífero no se encuentra conectado hidráulicamente al sistema superficial y se comporta como un depósito aislado, ocupándose valores de recarga media mensual, una regla de operación que impida el bombeo cuando el parámetro de control sea menor a un valor umbral y el volumen del acuífero al comienzo de la simulación

- Autovalores: se trata de un modelo distribuido general para simular el funcionamiento de un acuífero. Se requiere de una calibración previa en el modelo AQUIVAL.
- BOMBEO ADICIONAL Y RECARGA ARTIFICIAL
- REGLAS DE OPERACIÓN: son reglas restrictivas del manejo del agua, definidas para el caudal máximo en tomas, en conducciones tipo 1 y el caudal objetivo en centrales hidroeléctricas

III.3.5.2. Módulo de simulación de acuíferos

Con el propósito de incluir la simulación de los acuíferos (con la característica de contar con parámetros distribuidos espacial y temporalmente), dentro del modelo global de manejo hídrico, el programa AQUATOOL DMA utiliza el método de los autovalores como una sub-rutina de simulación en el módulo AQUIVAL. El módulo hace uso de este método por su eficiencia computacional y facilidad para representar la simulación del manejo de un acuífero, manteniendo el grado de precisión de otros modelos de simulación subterránea similares.

El módulo AQUIVAL permite al usuario la entrada de datos mediante un entorno gráfico, en donde se definen “acciones elementales” y “parámetros de control” para propiciar una mayor eficiencia en la simulación del método de autovalores. Con las “acciones elementales” el módulo AQUIVAL define el tipo de acciones a las que estará sometido el acuífero (recargas por lluvia, bombeos, retornos de riego, etc.). Con los “parámetros de control”, AQUIVAL define las variables a las que debe dar seguimiento para una futura toma de decisiones sobre su influencia en el manejo del acuífero.

Mediante la interface gráfica pueden visualizarse y editarse la forma (o discretización de la malla) en que es dividido un acuífero y sus propiedades físicas (o datos hidrodinámicos). Una vez introducidos estos datos, el módulo AQUIVAL obtiene internamente las matrices de “autovalores” y “autovectores”, las cuales caracterizan el funcionamiento de un acuífero. Una vez calculadas estas matrices

es posible simular su funcionamiento a lo largo de distintos períodos de tiempo e intensidades de acciones elementales (AQUIVAL, 2007).

III.4. Resultados

III.4.1. Modelación superficial

La propuesta del funcionamiento del modelo hídrico conjunto de la subcuenca se basa en su división por microcuencas, pues es en ellas en donde se consensan y plantean las acciones a ejecutar mediante la toma de decisiones a nivel comunitario (siendo en estas donde se puede incidir de manera importante para lograr modificaciones sobre el régimen hidrológico). De esta forma, las demandas hídricas en la subcuenca atenderán a lo expuesto en el apartado anterior, las cuales están directamente relacionadas con las principales actividades realizadas en cada microcuenca.

El modelo superficial de manejo del agua implica conocer y estimar varios componentes del balance hídrico superficial (precipitación, evapotranspiración, escurrimiento e infiltración principalmente), los cuales permiten conocer a través del tiempo el funcionamiento hídrico o la respuesta hidrológica de una cuenca respecto a la incidencia de factores externos como los factores antrópicos del manejo del agua. Por tanto, es necesario conocer en primera instancia la respuesta hidrológica de la cuenca en estudio, para posteriormente simular el funcionamiento antrópico del manejo del agua. Cabe mencionar que en los modelos de simulación del manejo del agua, se requiere trabajar con valores medios de precipitación, evapotranspiración, infiltración y escurrimiento.

En el proceso de determinar los valores cuantitativos de un balance de aguas para la subcuenca Tábula-Picachos, es necesario partir de los datos conocidos, como son: la precipitación, la evaporación y la temperatura, posteriormente, partiendo de estos es necesario calcular indirectamente varios de los componentes del propio balance, entre ellos: el escurrimiento, la evapotranspiración y la infiltración, mediante el uso de distintas metodologías que

han sido desarrolladas a lo largo del tiempo, con mayor o menor efectividad en su aplicación en determinados casos de estudio.

TABLA 3.3. ESTACIONES METEOROLÓGICAS CERCANAS A LA ZONA DE ESTUDIO				
ESTACIÓN	NOMBRE	COORD X	COORD Y	ELEVACION
11011	CINCO SEÑORES	-100.92	20.97	1,850
11033	BEGOÑA, SAN M. ALLENDE	-100.83	20.85	1,850
11042	LOS RODRIGUEZ	-100.70	21.03	2,000
11066	SAN JOSE ITURBIDE	-100.40	21.00	1,870
11093	SAN MIGUEL ALLENDE	-100.75	20.92	1,852

Se parte por identificar las Estaciones Meteorológicas incidentes en la zona de estudio (Tabla 3.3) y espacializar los valores de Precipitación, Temperatura y Evaporación a las tres Unidades de Ecurrimiento, mediante el auxilio de los Sistemas de Información Geográfica (Figura 3.20).

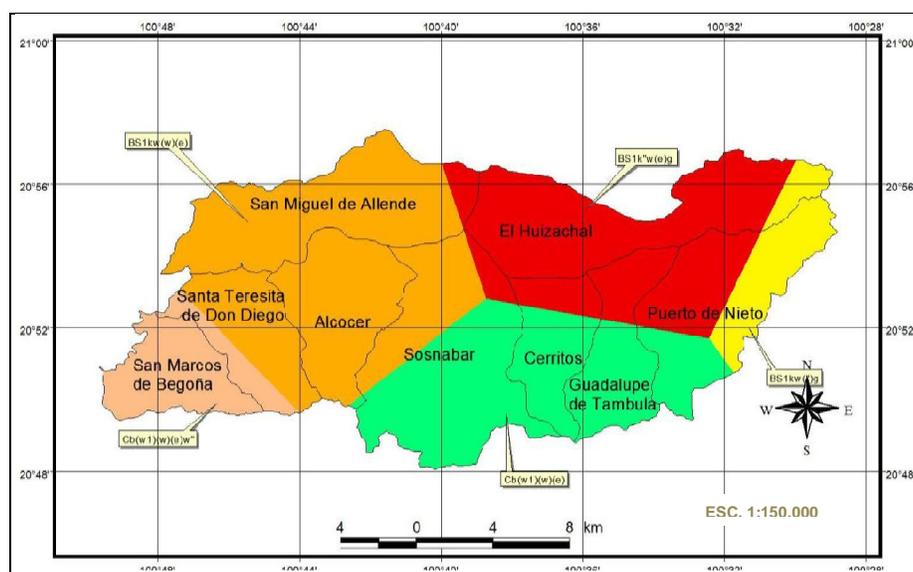


Figura 3.20. Tesselación de las 5 principales estaciones meteorológicas cercanas a la subcuenca Tábula-Picachos

Posteriormente, con el auxilio de estas tres partes del balance hídrico, se procede a calcular indirectamente los componentes de escurrimiento, evapotranspiración e infiltración, lo cual se desarrolla de acuerdo al siguiente apartado.

III.4.1.1. Componentes del balance hídrico

Partiendo de conocer los valores de precipitación, temperatura y evaporación incidentes en el área de estudio, se calcula la Evapotranspiración Potencial; posteriormente se estima el escurrimiento directo y la infiltración potencial; por último, se hace un estimado del volumen captado en bordos y represas de mampostería presentes en la zona de estudio, siguiendo el esquema de cálculo de la Figura 3.21.

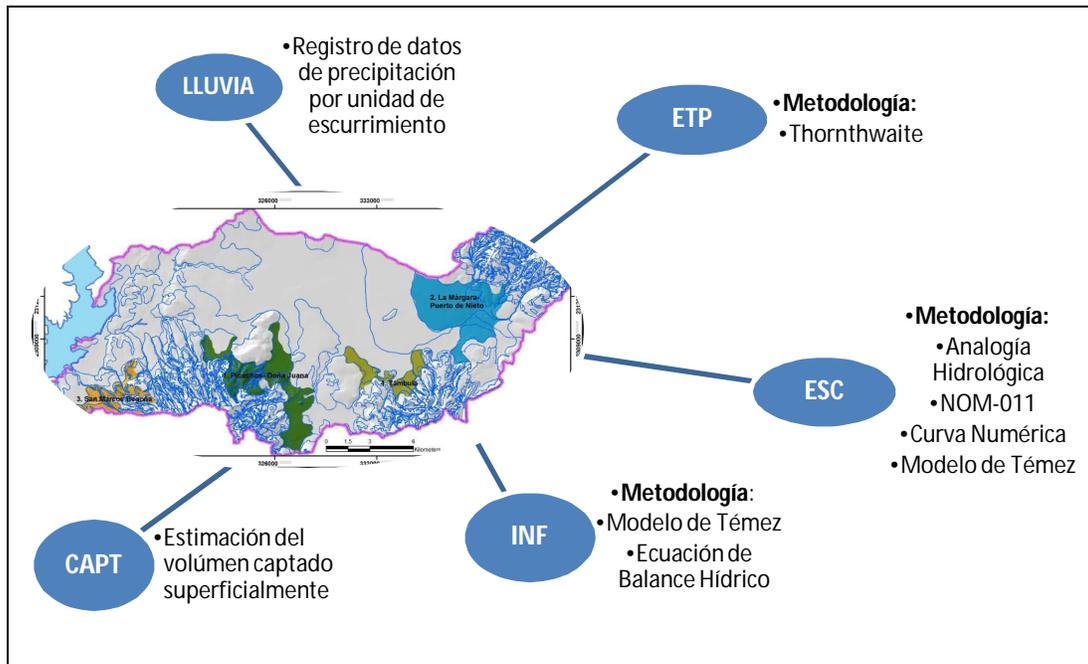


Figura 3.21. Esquema conceptual para el cálculo de las componentes del balance hídrico en la zona de estudio

Serie de precipitación media anual

Mediante la recopilación de los datos de precipitación de las 5 estaciones meteorológicas incidentes en la zona de estudio, las cuales se encuentran concentradas en ERIC III²⁸, se graficaron las propiedades de la serie de datos de precipitación desde 1954 al 2004, como se presenta en la Figura 3.22, donde se representan los valores de la media y mediana, etc.

²⁸ ERIC III: Extractor Rápido de Información Geográfica, compendio No. III de la Comisión Nacional del Agua, con registro de datos hasta para el año 2004

De esta serie destaca una media de precipitación en la zona de estudio de aproximadamente 585mm anuales, los cuales se han visto reducidos en los últimos 20 años, de acuerdo a las medias calculadas para este período, ocasionado posiblemente por el efecto de cambio climático.

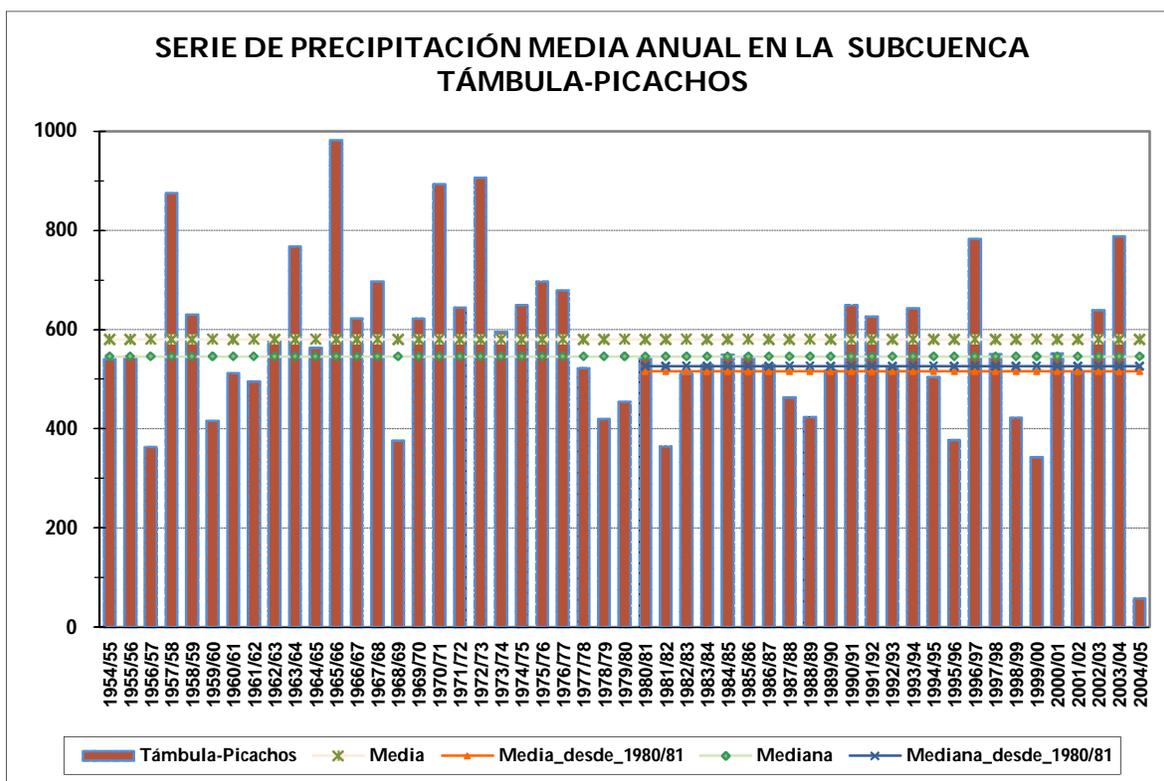


Figura 3.22. Serie de precipitación media anual para la subcuenca Támbula-Picachos

Determinación del escurrimiento directo

Partimos por la determinación del escurrimiento directo a partir del análisis de Analogía Hidrológica entre cuencas vecinas a la zona de estudio y sus correspondientes unidades de escurrimiento. En la Tabla 3.4 se presentan los volúmenes de precipitación media anual determinados para la subcuenca a partir de los datos Thiesselados de 5 estaciones hidrométricas en la zona de estudio.

TABLA 3.4. Volumen de precipitación media en la subcuenca Támbula-Picachos			
AÑO	(mm)	Lluvia (m)	Vol (Hm3)
1923	676.0	0.68	263.79

1924	58.6	0.06	22.87
1925	622.7	0.62	242.98
1926	400.4	0.40	156.23

1927	700.9	0.70	273.51
1928	536.4	0.54	209.29
1929	357.7	0.36	139.60
1930	478.1	0.48	186.55
1931	535.3	0.54	208.87
1932	355.6	0.36	138.76
1933	606.5	0.61	236.67
1934	738.7	0.74	288.25
1935	0.0	0.00	0.00
1936	595.2	0.60	232.24
1937	0.0	0.00	0.00
1938	0.0	0.00	0.00
1939	0.0	0.00	0.00
1940	0.0	0.00	0.00
1941	723.8	0.72	282.44
1942	372.3	0.37	145.28
1943	0.0	0.00	0.00
1944	411.4	0.41	160.53
1945	355.8	0.36	138.84
1946	352.9	0.35	137.70
1947	0.0	0.00	0.00
1948	241.5	0.24	94.25
1949	242.5	0.24	94.62
1950	0.0	0.00	0.00
1951	0.0	0.00	0.00
1952	0.0	0.00	0.00
1953	0.0	0.00	0.00
1954	336.8	0.34	131.43
1955	654.2	0.65	255.28
1956	0.0	0.00	0.00
1957	471.1	0.47	183.82
1958	1025.3	1.03	400.10
1959	610.4	0.61	238.18
1960	387.4	0.39	151.18
1961	1149.4	1.15	448.51
1962	1300.2	1.30	507.37
1963	1444.9	1.44	563.83
1964	883.4	0.88	344.73
1965	1280.1	1.28	499.52
1966	935.4	0.94	364.99

1967	905.5	0.91	353.32
1968	728.4	0.73	284.23
1969	498.6	0.50	194.58
1970	0.0	0.00	0.00
1971	1170.3	1.17	456.67
1972	780.3	0.78	304.50
1973	1124.6	1.12	438.83
1974	737.5	0.74	287.79
1975	796.3	0.80	310.72
1976	1059.3	1.06	413.37
1977	826.0	0.83	322.31
1978	955.1	0.96	372.70
1979	594.5	0.59	231.97
1980	34.9	0.03	13.63
1981	144.6	0.14	56.42
1982	169.0	0.17	65.93
1983	201.8	0.20	78.74
1984	1057.5	1.06	412.66
1985	995.4	1.00	388.43
1986	213.4	0.21	83.26
1987	848.7	0.85	331.16
1988	816.8	0.82	318.74
1989	656.2	0.66	256.07
1990	797.3	0.80	311.12
1991	1329.2	1.33	518.67
1992	1093.1	1.09	426.54
1993	802.5	0.80	313.14
1994	958.2	0.96	373.89
1995	850.9	0.85	332.05
1996	117.5	0.12	45.87
1997	557.4	0.56	217.51
1998	1231.5	1.23	480.54
1999	578.2	0.58	225.62
2000	810.8	0.81	316.39
2001	1169.7	1.17	456.45
2002	357.0	0.36	139.29
2003	1334.0	1.33	520.55
2004	252.4	0.25	98.48

Posteriormente, es común calcular la media móvil (5 períodos) para los datos de precipitación extraídos de ERIC III (Figura 3.23), correspondientes al período de 1922 al 2004, lo cual es útil para observar la acentuación de períodos secos y húmedos registrados en la serie de precipitación de una estación meteorológica, donde destacan algunos años sin registro en la misma.

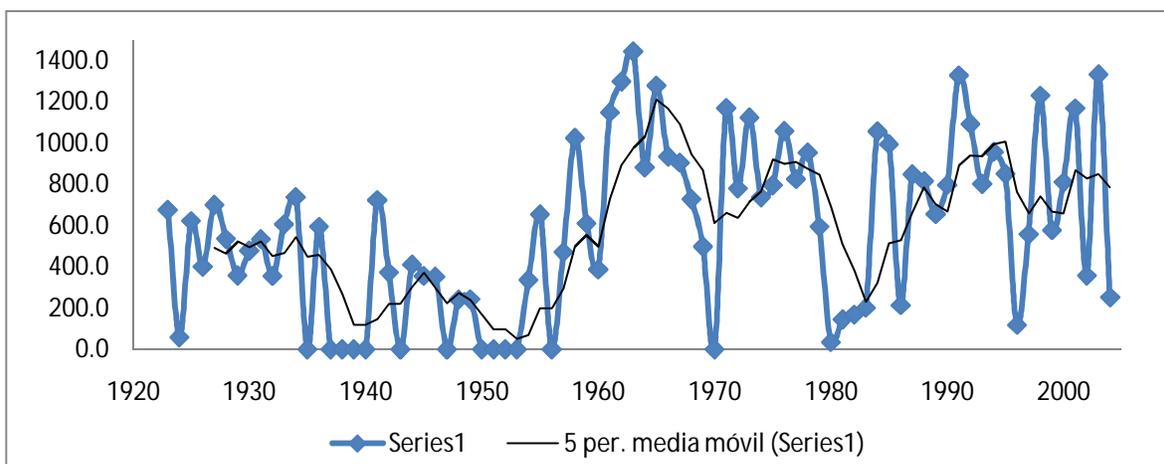


Figura 3.23. Media móvil de la precipitación media registrada en la subcuenca Támula-Picachos

Ahora bien, para distribuir espacialmente la precipitación, temperatura y evaporación de la zona de estudio, se hizo uso del programa ArcView 3.2. Posteriormente, para evaluar el comportamiento de la precipitación, se utilizaron los métodos de “La Curva Numérica” y “La NOM-011”. Además, para determinar los escurrimientos mensuales se utilizó el “Método de Transporte de Información Hidrométrica” (conocido también como Método de Analogía Hidrológica, Tabla 3.5), extrayendo información de las dos estaciones hidrométricas siguientes:

- Estación Hidrométrica La Begoña (I y II): localizada a la entrada del Río Laja en la Presa Allende, al Suroeste de San Miguel de Allende, Gto. Afuera la cuenca alta del Río Laja, la cual está directamente relacionada con la zona de estudio, teniendo un área de 4984km²
- Estación Hidrométrica Cinco Señores: ubicada a 18km al Noroeste de San Miguel de Allende, Gto. Afuera caudales de una cuenca con un área de

408km², la cual está relacionada fisiográfica e hidrológicamente con la zona de estudio

Los factores de transporte (F_1 y F_2) o factores de analogía que fueron utilizados para las cuencas son:

- Factor F_1 : *Begoña (I y II): 0.078* *Cinco Señores: 0.956*
- Factor F_2 : *Begoña (I y II): 0.005* *Cinco Señores: 0.005*

Adicionalmente a los factores F_1 y F_2 , se realizó una depuración de los datos de escurrimiento, cruzando los meses con registro de lluvia en la zona de estudio y los meses con registro de escurrimiento en la cuenca aforada. Cabe señalar que para determinar el escurrimiento medio de la zona de estudio (basándose en el de las cuencas análogas), a los datos de escurrimiento de las estaciones de aforo se les restó el escurrimiento base, el cual no debe ser considerado dentro de la zona de estudio, pues éste pertenece al escurrimiento sub-superficial de la cuenca análoga, más no de la cuenca en estudio.

TABLA 3.5. ESCURRIMIENTO MEDIO MENSUAL (Método de la Analogía Hidrológica)													
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	Tot
1940						0.981	2.720	3.820	0.464				7.985
1941				0.120		4.399	3.061	2.595	1.393				11.569
1942						2.275	2.988	0.836	3.157	0.860			10.116
1943					0.106	2.355	1.002	1.568		1.403			6.435
1944						0.111	1.365	3.185					4.661
1945							1.026	1.731	1.266				4.023
1946				0.367		0.592	0.720	0.516	0.514	0.776			3.485
1947					0.336	2.591	0.226	4.709	3.059				10.922
1948						1.912	2.631	1.489	2.191	1.235			9.458
1949							1.952	1.031	0.482				3.465
1950						1.483	2.733	0.589	0.349				5.155
1951						0.498	2.124	1.368	3.173	0.161			7.324
1952				0.159	0.112	3.407	1.196	1.134	2.042				8.050
1953						0.101	0.748	2.932	3.757	0.250			7.788
1954						0.896	2.845	0.697	0.313	0.833			5.584
1955					0.029	0.360	3.424	8.366	3.204				15.382
1956				0.034		0.503	3.622	4.072	1.111				9.342
1957					0.061	0.293	0.210	0.392	1.007	0.280			2.242

1958					0.346	1.478	5.767	2.086	4.128				13.805
1959				0.097	0.131	1.701	1.657	2.333	1.532				7.451
1960								2.929	1.007	0.165			4.100
1961					0.133	1.502	1.651	0.485	0.327				4.098
1962						1.538	0.658	0.884	2.888	0.340			6.309
1963					0.490	1.018	1.435	0.421	0.138	0.217			3.719
1964					0.460	0.738	0.545	0.765	5.508	0.625			8.641
1965						0.101	0.745	3.097	3.730				7.672
1966				0.111		0.710	2.131	7.258	1.266	0.378			11.854
1967						0.761	0.799	3.523					5.083
1968					0.167	0.108	0.107		0.134				0.517
1969	0.321	0.117	0.112	0.178	0.150	0.148		0.130	0.138				1.295
1970					0.100	0.305			2.000	0.456			2.862
1971	0.229		0.118	0.359	0.269		8.250				0.292	0.616	10.133
1972	0.197		0.256	0.439	0.550	2.314	0.711	0.397	0.446	0.414	0.153	0.437	6.314
1973	0.159	0.172		0.527	1.267	0.808	5.744		1.524	0.186			10.387
1974		0.120	0.206	0.375	0.549	0.836	0.244	0.777	0.901	0.205	0.448	0.781	5.442
1975	0.690				0.446	0.435	2.716		0.580				4.867
1976			0.407	0.315	0.730	0.844	0.570	0.188	0.776	0.125	0.333	1.018	5.305
1977	0.162	0.160	0.387	0.352	0.439	1.676	1.091	1.217	0.808	1.330		0.439	8.060
1978	0.270		1.173		0.499	1.119	1.513		1.493		0.837	1.013	7.919
1979		0.351	1.608	0.369	0.458	0.479	0.894		0.147			0.180	4.487
1980	0.525	0.365	0.474	0.851	1.013	0.197	0.468				0.438	0.289	4.621
1981	0.578	0.796	0.985	0.698	1.045	0.724		0.875	0.563	0.547	0.427	0.568	7.804
1982		0.518	1.292	0.603	0.735	0.347		0.784	0.111	0.526	0.597		5.514
1983		0.275	0.248			0.798			0.464	0.673		0.855	3.312
1984	0.155	1.041			0.479	0.415		0.299	0.752	1.287	0.532	0.173	5.131
1985	0.353	0.447		0.958	0.319	0.441		1.773	1.077	0.513	0.775	0.410	7.065
1986		0.181	0.172	0.647	0.375	1.674	3.714	0.634	0.593	0.606	0.578	0.514	9.688
1987	0.147	0.206	0.280	0.233	0.307	0.802	0.772	0.331	1.231	0.782	0.471		5.561
1988	0.460			0.893		1.074			1.595	1.331	0.239		5.592
1989		0.373		0.603	0.842	0.303	0.174				0.507		2.801
1990						0.749	14.420		4.037	1.975	0.242		21.421
1991								1.779		1.386	0.389		3.554
1992			0.152		1.507	2.103	13.170	5.698	1.208		0.110		23.947
1993				0.251					10.052	0.612			10.914
1994						1.663	0.645	1.393	1.105	0.785			5.591
1995					0.078	2.085	15.003	7.110	7.159	1.218	0.763		33.417
1996					0.349	2.145	17.054	7.926	8.024	1.280			36.779
1997					0.408	2.378	17.493	3.895	8.688	1.165	0.970		34.996

1998					0.133	2.117	15.416	6.892	7.377	1.219	0.791		33.944
1999					0.145	2.241	15.506	4.599	7.680	1.150			31.322
2000					2.067		2.845	3.555	6.143	0.389			14.998
2001						1.556	4.103	2.784	3.224	1.093			12.761
2002						0.027	12.845	9.555	11.360	0.670			34.456
2003	0.147	0.153			0.295	0.968	1.374	3.508	2.741	1.328			10.514
2004	0.184		0.306	0.255	0.350	0.992	1.428	1.503	1.624	1.067			7.710
2005					0.332	1.890	1.732	2.847	3.316	0.699			10.815
2006						1.502	1.577	1.681	1.894	0.838			7.493
2007						1.128	1.426	2.313	2.158	1.099			8.124
2008						1.059	1.482	1.272	1.572	0.994			6.379
2009						1.027	1.102	1.482	1.687	0.971			6.269

Es importante señalar que en la Figura 3.24 se representa la evolución de la precipitación registrada para dos distintas estaciones meteorológicas (Estación la Begoña I y II y Estación Cinco Señores), con las cuales se intentó hacer corresponder los datos de escurrimiento registrados en ellas, para tener una idea de los volúmenes de escurrimiento registrados en las tres unidades de escurrimiento (UE) presentes en la subcuenca Tábula-Picachos, las cuales no se encuentran aforadas.

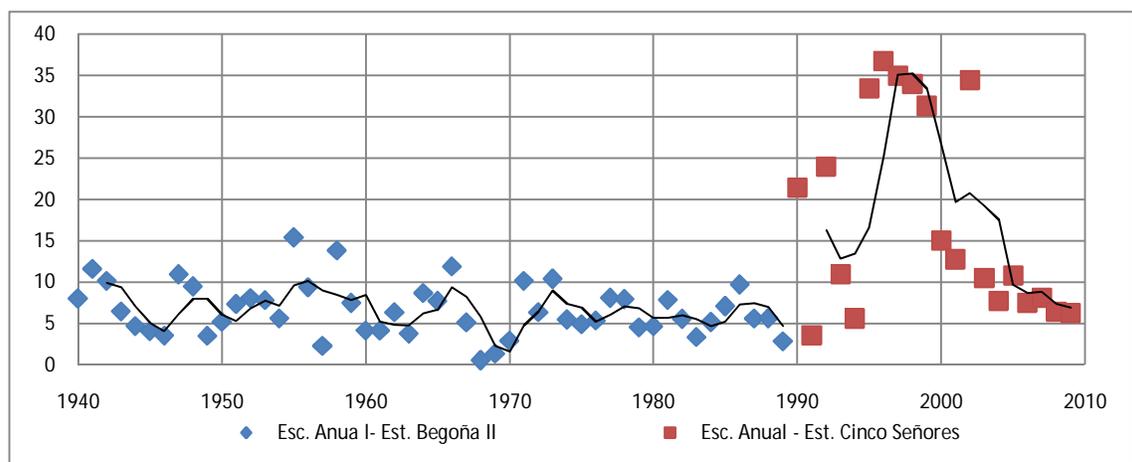


Figura 3.24. Media móvil del escurrimiento determinado por el Método de la Analogía Hidrológica

Ahora bien, a manera de resumen, en la Tabla 3.6 y 3.7 se presenta el cálculo del escurrimiento medio mensual y anual para el período comprendido entre 1983 al 2004, mediante los métodos de “La Curva Numérica” (CN) y la

“NOM-011-CNA-2000”, el cual hace uso del “Factor de Escurrimiento” (K), calculado como un promedio ponderado derivado de los “Shapes” de cobertura vegetal presente en la zona de estudio.

TABLA 3.6. MÉTODO DE LA CURVA NUMÉRICA (CN)													
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	TOT
1989	-	-	-	1.29	0.51	0.63	44.57	44.45	20.06	0.44	-	0.07	112.01
1990	-	0.35	0.62	-	5.12	2.01	32.22	53.52	11.84	29.15	-	-	134.83
1991	-	-	-	-	2.55	75.54	154.48	21.34	61.28	0.18	0.01	0.08	315.45
1992	34.42	0.01	0.86	-	16.68	16.24	45.01	28.76	31.68	5.18	0.93	-	179.77
1993	0.58	0.30	-	0.09	-	43.86	69.91	7.85	19.06	0.06	0.03	-	141.73
1994	-	-	-	0.23	10.87	115.54	12.38	26.72	4.62	14.26	-	-	184.61
1995	0.14	-	-	1.09	13.21	31.58	17.48	45.79	26.89	0.36	1.77	-	138.31
1996	-	-	-	-	0.85	0.91	0.76	1.43	0.52	0.30	-	-	4.77
1997	1.33	-	0.14	1.86	9.42	0.39	29.56	10.33	0.05	9.21	-	-	62.29
1998	-	-	-	-	-	49.32	21.72	49.16	120.42	49.09	0.12	-	289.82
1999	-	-	-	0.11	0.08	40.36	38.19	14.52	1.55	0.80	-	-	95.60
2000	-	-	-	-	23.83	49.38	25.04	18.20	11.74	2.22	0.05	0.42	130.87
2001	1.16	-	0.01	0.40	19.11	63.53	67.64	47.34	32.75	2.18	0.51	-	234.64
2002	0.02	0.22	-	-	1.07	6.23	14.21	0.11	4.90	0.06	0.18	-	27.00
2003	0.10	-	-	-	16.42	57.79	79.63	61.16	70.11	13.12	-	-	298.33
2004	0.52	-	0.94	-	0.45	3.73	0.58	2.28	3.25	0.10	-	-	11.85

TABLA 3.7. MÉTODO DE LA NOM - 011 CNA - 2000 (Factor K)													
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	TOT
1989	-	0.09	-	0.29	2.22	2.32	14.84	14.81	8.72	0.72	0.11	1.69	45.82
1990	-	0.79	0.61	0.20	4.41	3.15	11.79	17.04	6.50	11.03	-	-	55.52
1991	0.18	0.21	-	-	3.40	22.57	44.34	9.05	18.97	1.88	1.48	1.72	103.81
1992	12.34	1.29	0.48	1.33	7.83	7.72	14.95	10.93	11.66	4.43	2.54	0.11	75.60
1993	0.63	0.83	-	1.73	1.33	14.66	21.14	5.32	8.46	1.15	1.58	-	56.83
1994	0.24	-	0.04	1.94	6.22	33.17	6.66	10.42	4.23	7.18	-	0.24	70.33
1995	1.01	0.02	-	0.37	6.89	11.63	8.05	15.14	10.46	0.79	3.03	1.37	58.75
1996	-	-	-	0.09	0.48	0.45	0.53	2.84	2.23	0.83	-	-	7.46
1997	0.27	-	1.00	3.06	5.77	2.10	11.07	6.04	1.63	5.71	0.23	0.03	36.92
1998	-	-	-	-	0.23	15.92	9.10	15.88	34.32	15.86	1.03	0.05	92.39
1999	-	-	-	1.05	1.10	13.65	13.12	7.18	2.88	0.51	-	0.08	39.57
2000	-	-	0.16	0.08	9.59	15.84	9.89	8.15	6.41	3.22	1.16	0.74	55.25
2001	0.34	0.05	1.52	2.11	8.39	19.31	20.33	15.35	11.79	3.20	0.67	0.03	83.09
2002	1.54	0.91	-	0.13	0.38	4.75	7.09	1.76	4.29	1.14	0.95	-	22.96
2003	1.73	0.12	-	-	7.69	17.90	23.35	18.73	20.95	6.80	-	-	97.26
2004	0.66	-	0.44	-	0.72	3.86	2.27	3.25	3.66	1.05	-	0.07	15.97

En la Figura 3.25 se presentan los gráficos de las “medias móviles” del escurrimiento calculado por los métodos de la Curva Numérica y la Norma Oficial Mexicana NOM-011, los cuales están asociados a los datos de precipitación media

registrados en las estaciones meteorológicas presentes en la zona de estudio. El cálculo de las medias móviles nos da una idea de la recurrencia temporal de escurrimientos extraordinarios, focalizándose en aquellos años con gran incidencia de escurrimientos extremos y aquellos años conocidos como períodos secos.

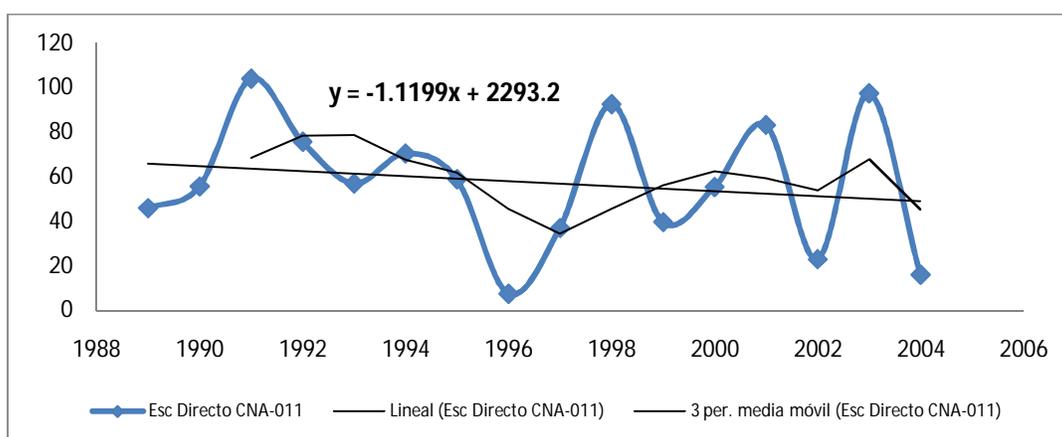
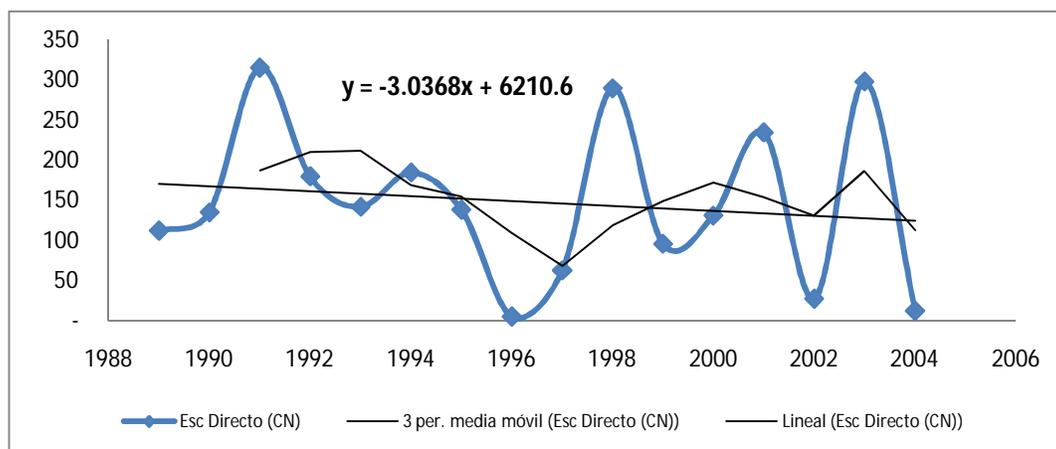


Figura 3.25. Medias móviles calculadas para el período de años de 1989 al 2004 para la subcuenca Tábula-Picachos

Para el cálculo de los “números de escurrimiento (CN)” y el “factor de escurrimiento (F)” fue necesario asociar la cobertura vegetal en el área de estudio con la precipitación media registrada en la misma, para poder definir la cantidad de lluvia que escurre y se infiltra principalmente. Para tal objetivo, se utilizó el programa ArcView 3.2 para definir las zonas con parámetros comunes asociados a la infiltración y escurrimiento. Los principales datos obtenidos del programa se plasman en la Tabla 3.8:

TABLA 3.8. Uso del suelo y vegetación asociados a distintos valores de escurrimiento directo

Tip o	Descripción
1	Agricultura de riego (incluye agricultura de humedad)
2	Agricultura de temporal
3	Asentamientos humanos
4	Bosque de encino
5	Bosque de encino perturbado
6	Cuerpo de agua (incluye canales, presas y bordos)
7	Frutales
8	Infraestructura (incluye granjas)
9	Matorral xerófilo
10	Matorral xerófilo perturbado
11	Pastizal inducido
12	Río (incluye cauce de río)
13	Selva baja caducifolia
14	Selva baja caducifolia perturbada
16	Sitio de extracción de materiales
17	Terracería (camino y brecha)
18	Vegetación riparia
19	Vegetación secundaria (arbustiva y herbácea)
20	Vialidad pavimentada
21	Zona inundable
22	Zona sin vegetación aparente

De acuerdo a los registros de los “shapes” de “Uso de Suelo y Vegetación” registrados para los años 1993 y 2003, los valores ponderados que fueron determinados mediante el manejo en ArcView para la Curva Numérica (CN) y el Factor de Escurrimiento (F) son:

- Valores para 1993
 - CN pond: 69.4195
 - Kpond: 0.2512
- Valores para 2003
 - CN pond: 69.4195
 - Kpond: 0.2512

Una vez determinados los valores de Curva Numérica y Factor de Escurrimiento, respectivamente para los métodos de cálculo de escurrimiento directo, se procedió a comprar estos con el valor calculado con el programa HEC-

HMS para el año 2000. A continuación, en las Tablas 3.9 y 3.10 se presenta en detalle el cálculo del escurrimiento medio mensual, partiendo de los valores de (CN) y (K) obtenidos mediante el apoyo de la espacialización de los factores en ArcView y calculando el promedio ponderado de acuerdo al uso de suelo y vegetación para el año 2003.

De igual manera, la comparativa con los valores de escurrimiento mensual determinados mediante HEC-HMS en el estudio hidrológico realizado en el documento LBC – STP para el año 2000 en la subcuenca específica Tábula-Picachos.

TABLA 3.9. Factor de Escurrimiento "F" por el Método de la NOM-011 CNA-2000													
AÑO	AÑO/MES	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
2000	P mens (mm)	0.00	0.00	2.69	1.28	141.03	220.43	145.07	121.60	97.37	50.60	18.79	11.98
	Ce1	0.16	0.16	0.16	0.16	0.17	0.18	0.17	0.17	0.17	0.16	0.16	0.16
	VED (Hm3)	-	-	0.16	0.08	9.59	15.84	9.89	8.15	6.41	3.22	1.16	0.74

TABLA 3.10. Factor de Escurrimiento "CN" por el Método de la Curva Numérica													
AÑO	AÑO/MES	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
2000	P1 (in)	0.00	0.00	0.11	0.05	5.55	8.68	5.71	4.79	3.83	1.99	0.74	0.47
	P2 (cm)	0.00	0.00	0.27	0.13	14.10	22.04	14.51	12.16	9.74	5.06	1.88	1.20
	CN	69.42	69.42	69.42	69.42	69.42	69.42	69.42	69.42	69.42	69.42	69.42	69.42
	S	4.41	4.41	4.41	4.41	4.41	4.41	4.41	4.41	4.41	4.41	4.41	4.41
	Pe1 (in)	0.00	0.00	0.17	0.19	2.40	4.98	2.53	1.84	1.18	0.22	0.00	0.04
	Pe2 (cm)	0.00	0.00	0.42	0.49	6.11	12.66	6.42	4.66	3.01	0.57	0.01	0.11
	Vlluvia (Hm3)	-	-	1.05	0.50	55.03	86.02	56.61	47.45	37.99	19.74	7.33	4.67
	VED2 (Hm3)	-	-	1.64	1.91	23.83	49.38	25.04	18.20	11.74	2.22	0.05	0.42

De las tablas anteriores, se resume que el volumen de escurrimiento directo calculado por el Método de la NOM-011 es un máximo de 15.84Hm3 para el mes de Julio del año 2000. Por el Método de la Curva Numérica, el valor máximo registrado es de 49.38Hm3 para el mes de Julio del mismo año. De igual manera, por el Método de la Analogía Hidrológica, se obtuvo un valor de 2.85Hm3, correspondiente a los datos de la Estación Hidrométrica "Cinco Señores".

Por otro lado, en la Tabla 3.11 se exponen los valores de escurrimiento mensual calculados con el programa HEC-HMS para los meses de junio, julio, agosto y septiembre del año 2000, los cuales son considerados como los meses húmedos en la zona de estudio.

Mes	P mm	Precip (Hm3)	%	Ved mens (Hm3):
JUN	220.43	72.95	67.8%	49.44
JUL	205.65	68.06	43.6%	29.68
AGO	205.28	67.93	32.8%	22.27
SEP	127.76	42.28	51.0%	21.58

A continuación, en la Tabla 3.12 se muestra una comparativa de los resultados para los cuatro métodos anteriormente expuestos, donde se puede observar que con el método del “Factor de Escurrimiento (F)” se obtienen valores del volumen de escurrimiento directo más conservadores, respecto a los resultados obtenidos en el método de “La Curva Numérica (CN)”, y con el programa “HEC-HMS”. Por último, con el método de la “Analogía Hidrológica” solo se obtienen valores de escurrimiento que sirven como referencia para los cálculos de los demás métodos.

Mes / Método	F	CN	HEC-HMS	ANALOGÍA HIDROLÓGICA
JUNIO	15.84	49.38	49.44	0.00
JULIO	9.89	25.04	29.68	2.85
AGOSTO	8.15	18.20	22.27	3.56
SEPTIEMBRE	6.41	11.74	21.58	6.14

Por último, en la Figura 3.26 se presenta un resumen del cálculo del escurrimiento medio anual para el total período de registro de incidencia de precipitaciones en las unidades de escurrimiento que conforman la subcuenca Támbula-Picachos, el cual comprende de 1989 al año 2004. Los métodos representados en esta gráfica del cálculo del escurrimiento directo son: la Analogía Hidrológica, la Curva Numérica (CN) y el método de la NOM-011-CNA-2000, para los cuales se obtiene un máximo de 298 Hm³/año con el Método de la

Curva Numérica, de 104 Hm³/año con el Método de la NOM-011 y de 33.5 Hm³/año por Analogía Hidrológica.

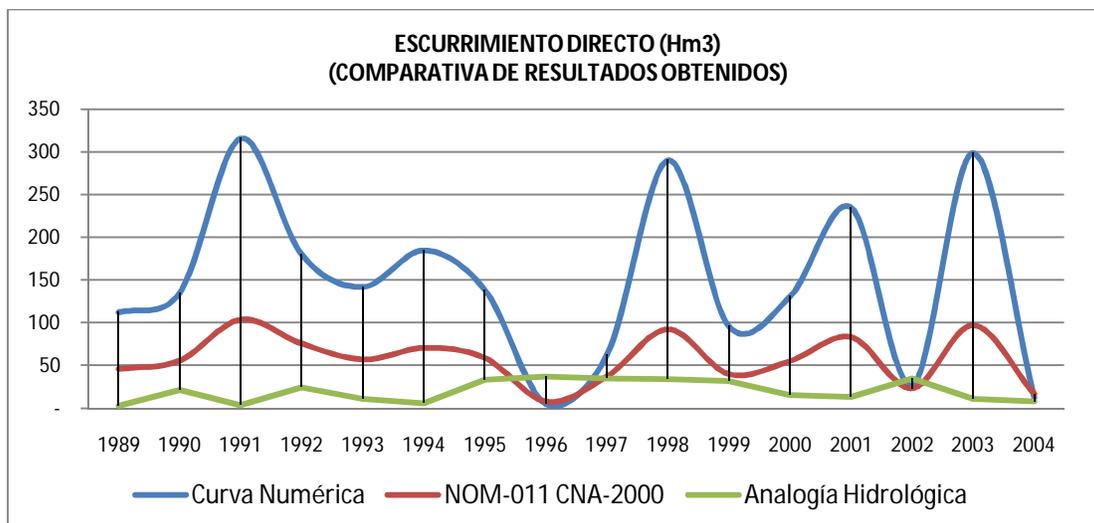


Figura 3.26. Comparativa del escurrimiento directo entre tres distintas metodologías

Determinación de la evapotranspiración potencial

El “Método de Thornthwaite” puede hacer uso del Sistema de Información Geográfica (SIG) para espacializar los valores de Evaporación y Temperatura registrados en una zona de estudio, los cuales están directamente relacionados con un año específico de incidencia de precipitación y una cobertura vegetal determinada, y de esta manera representar el valor de la ETP para cada año evaluado.

Sin embargo, puesto que a la fecha solo se cuenta con dos “shapes” de cobertura del suelo (1993 y 2003), la evaluación de metodologías como las propuestas por Turc, Coutagne y Hargreaves-Samani, solo pudieron ser evaluadas para estos dos años de forma directa, resultando un valor promedio de Evapotranspiración Potencial de acuerdo a lo descrito en la Tabla 3.13, resultando un valor promedio de 432.9mm anuales para 1993 y 470.92mm para 2003.

TABLA 3.13. PROMEDIO DE EVAPOTRANSPIRACIÓN ANUAL

Método	Año	Valor	Unidad
Turc	1993	415.83	mm
	2003	466.14	mm
Coutagne	1993	317.32	mm
	2003	392.37	mm
Hargreaves-Samani	1993	565.54	mm
	2003	554.25	mm
PROMEDIO 1993		432.90	mm
PROMEDIO 2003		470.92	mm

Para el cálculo del resto de la serie ETP, se hizo uso del método de Thornthwaite, el cual solo requiere de dos insumos: la temperatura media y la precipitación media, calculando inicialmente el índice de calor anual y la evapotranspiración de referencia.

Por tanto, mediante el manejo de los datos registrados de precipitación (Figura 3.22) y temperatura (Figura 3.27) en las estaciones climáticas de la zona de estudio, se procedió a calcular la evapotranspiración potencial (ETP) para la subcuenca Tábula-Picachos, mediante distintos métodos, optando por el “Método de Thornthwaite” para la obtención los siguientes valores de ETP (Figura 3.28). La temperatura promedio en la subcuenca equivale a 11.9°C, mientras que la evapotranspiración potencial promedio es aproximadamente 578mm anuales.

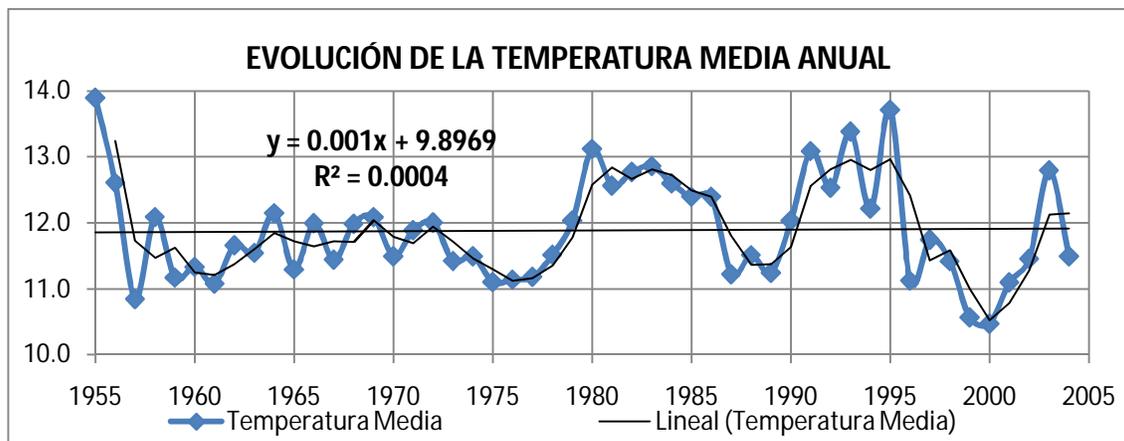


Figura 3.27. Serie de Temperatura media anual de 1954 al 2004 para la subcuenca Tábula-Picachos

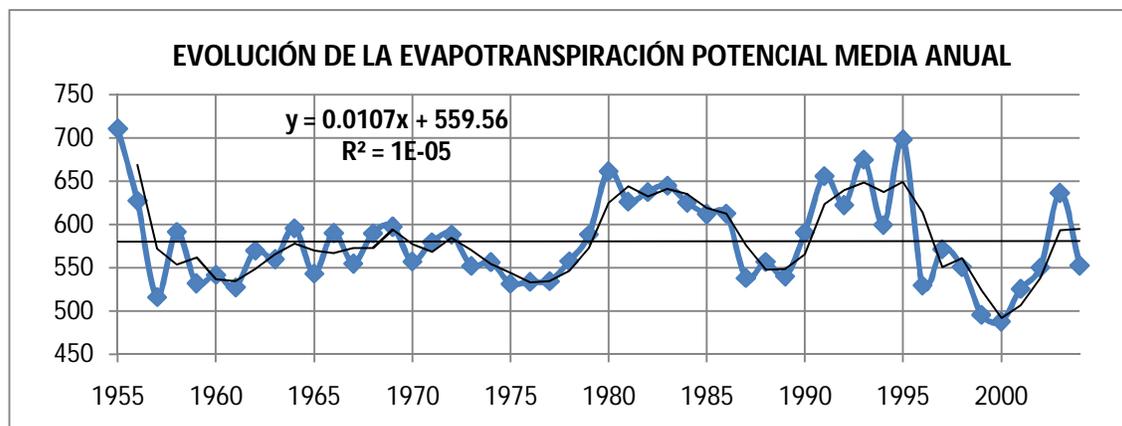


Figura 3.28. Serie de Evapotranspiración potencial media anual de 1954 al 2004 para la subcuenca Támula-Picachos

Capacidad de almacenamiento superficial

Observando el área ocupada por los cuerpos de agua (3.54km^2) registrados en el “shape” de Uso de Suelo y Vegetación de 1993 y 2003, y considerando un promedio bruto entre 2.0 y 2.5m de profundidad en los bordos y represas presentes en la zona, es posible calcular indirectamente un valor estimado del volumen almacenado en la subcuenca, que corresponde a un rango entre 7.08 y 8.85Hm^3 /año aproximadamente.

Cabe señalar que este volumen de almacenamiento solo se encuentra disponible un máximo de 6 a 8 meses, de acuerdo a la información recabada en los recorridos de campo a distintas localidades de la zona de estudio.

Cálculo indirecto de la infiltración

Por último, mediante la aplicación cuantitativa del balance hídrico, los valores de infiltración que resultaron para los años 1993 y 2003 se presentan en la Tabla 3.14, considerando que del total de lluvia incidente en la zona de estudio, una parte se escurre, otra se evapotranspira, una más se almacena y el sobrante se infiltra.

Como resultado de la aplicación del concepto de balance hídrico superficial, se obtienen valores medios de recarga potencial de 80.3Hm^3 para 1993 y 230.7Hm^3 para el año 2003.

TABLA 3.14. BALANCE HÍDRICO PARA LA SUBCUENCA ESPECÍFICA TÁMBULA-PICACHOS, GTO. (Hm³/año)

Año	PM	EDM	ETP	ALM	IM	unidad
1993	313.1	56.8	168.9	7.08	80.3	Hm ³ /año
2003	520.6	97.3	183.8	8.85	230.7	Hm ³ /año

Cabe recordar que los valores de recarga potencial determinados corresponden al proceso natural del ciclo hidrológico en la subcuenca Támara-Picachos, pero sin considerar que a este balance hídrico tienen que sumársele los valores de extracción media anual e infiltración inducida, producto de las actividades antrópicas desarrolladas en la zona de estudio. Por la complejidad de dichas cuestiones, la simulación conjunta del agua representa una alternativa de evaluación sencilla, haciendo uso del programa AQUATOOL DMA y de las subrutinas SIMGES y AQUIVAL.

III.4.1.2. Ecurrimiento e infiltración por el modelo de Témez

Una metodología alterna para el cálculo simultáneo del escurrimiento directo y la recarga potencial es el uso del modelo de “Témez” (Témez, 1977), tomando como referencia los datos medios ponderados de precipitación y temperatura registrados en las cinco estaciones climáticas de la zona de estudio, así como la recopilación de información cualitativa para corroborar y validar los datos de escurrimiento superficial registrado. Además, se procedió a cruzar la información calculada, respecto a datos de estaciones hidrométricas cercanas a la zona de estudio y respecto a los registros del valor de la infiltración media anual en el acuífero incidente.

Es importante considerar que de esta metodología en adelante, el cálculo de infiltración solo es aplicable a la Unidad de Ecurrimiento No. 1, pues solamente ésta es la que incide directamente sobre la recarga del Acuífero San Miguel de Allende, por tanto, los datos obtenidos mediante éste modelo solo son aplicables a la UE-1. Para las Unidades de Ecurrimiento No. 2 y 3 se consideran los valores de escurrimiento directo calculados por el método de la NOM-011 y los

respectivos valores de infiltración mediante su despeje de la ecuación general de balance hídrico y la analogía hidrológica entre cuencas vecinas.

Procesamiento de datos

Como ya se mencionó antes, el modelo Témez requiere de la introducción de datos de precipitación y evapotranspiración medios mensuales para generar los escurrimientos superficiales y las recargas al acuífero. Una vez determinados los valores de ETP y Precipitación medios mensuales (para la serie de 1954 al 2004), se introdujeron al modelo Témez y se procedió a calibrarlo, considerando un valor del “Factor de Escurrimiento” de 0.6942, obtenido con anterioridad por el método de los “Números de escurrimiento” del USS Soil Conservation Service (considerando la distribución espacial del uso de suelo y vegetación en la obtención de un promedio ponderado de este coeficiente).

De igual manera, el “Coeficiente de descarga” del acuífero se toma como un valor muy pequeño (≈ 0), pues se considera que el acuífero no descarga agua superficialmente, sino que la recarga potencial que se produce en la zona tiende a ser una recarga de alimentación profunda para el acuífero.

Validación del modelo

Para realizar la calibración de los datos obtenidos en el Modelo Témez, se recurrió a cruzar la información disponible, que corresponde a cuatro distintos recursos:

- Los datos de recarga media al acuífero de “La Cuenca Alta del Río Laja”, calculados en distintos estudios geohidrológicos para la zona de estudio
- Los datos de escurrimiento medio anual calculados con el modelo espacialmente distribuido de la “NOM-011 – CNA-2000”, haciendo uso del factor de suelo “K”
- Los datos de escurrimiento medio anual de referencia en la estación de aforo “Cinco Señores”, cercana a la zona de estudio y de características morfométricas similares

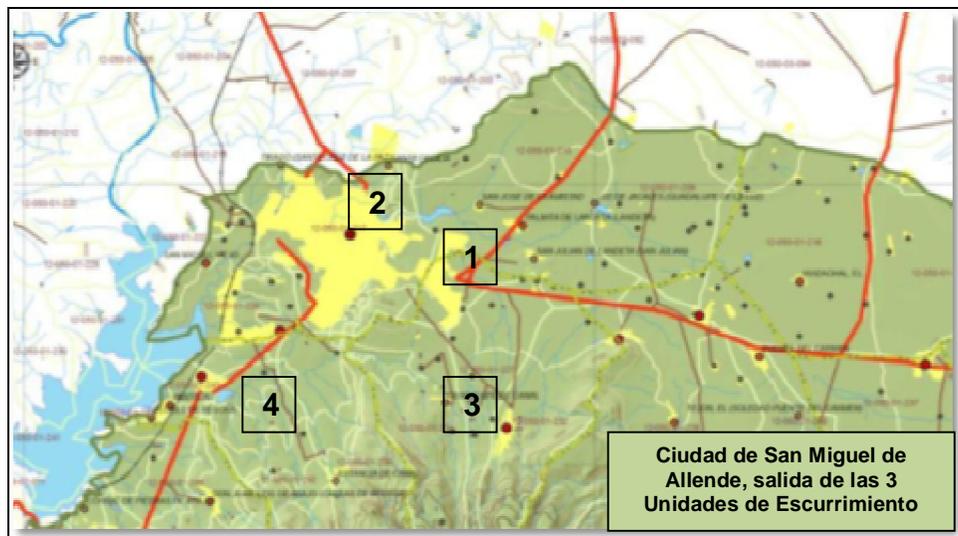
- La corroboración cualitativa de los meses de escurrimiento superficial obtenidos en el modelo, respecto a los observados por personas que habitan en la zona de estudio (informantes clave)

Del último punto correspondiente a la calibración cualitativa de los resultados obtenidos por el Modelo de Témez para el cálculo del escurrimiento directo e infiltración en la zona de estudio, se desprende que los datos aportados por los informantes/habitantes son:

- Los meses más lluviosos son entre Julio y Septiembre
- Se presentan escurrimientos entre Junio y Octubre
- El escurrimiento en los cauces de arroyos puede ser observado varias semanas después de la incidencia de una tormenta
- El escurrimiento es más rápido y destructivo en zonas con gran pendiente (faldas de los cerros), respecto a las zonas de planicie, donde suelen inundarse zonas de cultivo y partes de la carretera principal que comunica hacia San Miguel de Allende, Gto.
- Se presentan lluvias y granizadas esporádicas en los meses de Noviembre a Enero
- Ocasionalmente en los meses de invierno (noviembre-febrero) se presentan heladas
- Las zonas Norte, Este y Sur de la subcuenca presentan aleatoriedad respecto a la incidencia de sequías e inundaciones
- Los bordos (presas de tierra) que se ubican en la zona de estudio tienden a almacenar el agua para su uso como abrevadero del ganado por un plazo máximo de 6-8 meses
- La distribución de bordos es heterogénea dentro de la subcuenca
- Algunas de las presas de mampostería que se encuentran actualmente funcionando son (Figura 3.29):

1. Represa Las Colonias: construida por una empresa alemana en 1920, con problemas de azolve, una máxima profundidad de 1.5m medidos en la cortina

2. Presa del Obraja: se encuentra aguas abajo de la represa Las Colonias, funcionando como atractivo turístico en la Cañada de San Miguel de Allende, Gto.
 3. Represa de la Cañada de los Pajaritos: es una represa rehabilitada por el Charco del Ingenio, con apoyo y muestra de suma de voluntades entre el gobierno municipal y una asociación civil medioambientalista
 4. Presa de la Cantera: es una represa de mampostería, situada aguas debajo de la Represa de la Cañada de los Pajaritos y construida entre 1940 y 1960, la cual recoge el agua escurrida por la falda oeste del Cerro Los Picachos y solo desborda en época de lluvias
- El uso de las represas es principalmente de zonas de abrevadero y recreativas y ninguna de ellas se encuentra monitoreada
 - Existe una represa de mampostería entre las microcuencas de Guadalupe de Tábula y Puerto de Nieto, la cual se encuentra inhabilitada por haber fallado en el año de 1996
 - Varias represas de mampostería al verse azolvadas les fue aumentada la cota del nivel de almacenamiento máximo (NAMAX), propiciando una mayor retención de agua, en varios casos ocasionando su colapso



9Figura 3.28. Ubicación de represas de mampostería, cercanas a la Ciudad de San Miguel de Allende, Gto.

Resultados de la modelación

Las opciones probadas y calibradas de “Humedad Máxima” (Hmáx) e “Infiltración Máxima” (Imáx) consideradas en el modelo de Témez fueron:

- A. Valores de Hmáx e Imáx para un **rango mínimo** de escurrimiento y recarga medios (entre 20 y 18Hm3 respectivamente)
- B. Valores de Hmáx e Imáx para un **rango máximo** de escurrimiento y recarga medios (entre 57 y 31Hm3 respectivamente)
- C. Valores de Hmáx e Imáx para un **rango medio** de escurrimiento y recarga medios (38.5 y 24.5Hm3 respectivamente)
- D. Valores que permitan observar físicamente una buena correspondencia entre los gráficos del escurrimiento aforado en la cuenca vecina y los escurrimientos obtenidos con el modelo Témez, considerando los rangos de escurrimiento y recarga

TABLA 3.15. VARIABLES A SIMULAR EN EL MODELO DE TÉMEZ PARA LA OBTENCIÓN DEL ESCURRIMIENTO DIRECTO Y LA RECARGA POTENCIAL

OPCIÓN - VARIABLE	Hmáx (mm)	Imáx (mm/mes)	Recarga Media (Hm ³ /año)	Esc. Medio (Hm ³ /año)
A	203	77	18.2	20.0
B			31.6	57.4
C	123	48	24.5	38.1
D	71	42	30.9	56.9

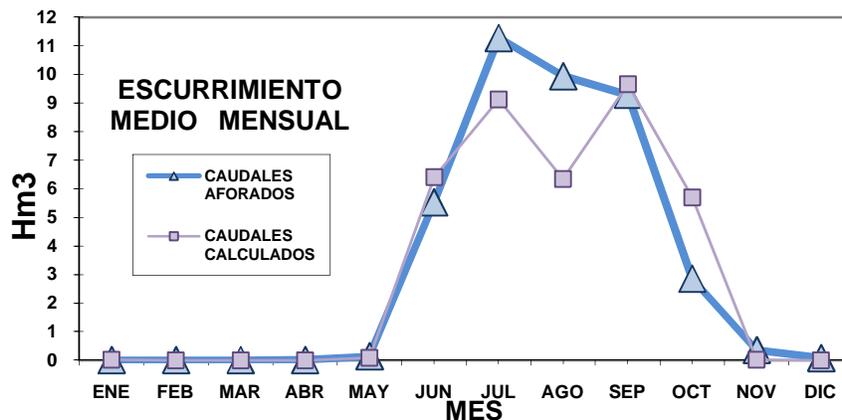


Figura 3.30. Correspondencia en la evolución del escurrimiento entre el aforo de una cuenca vecina a la zona de estudio y el escurrimiento calculado con el Modelo de Témez

En la Figura 3.30 se expone el resultado gráfico, correspondiente a la modelación del escurrimiento en la subcuenca Tábula-Picachos, haciendo uso del modelo Témez calibrado, comparado con los caudales aforados en una cuenca vecina, como se describe en la opción “D”. De igual forma, a manera de resumen, en la Figura 3.31 se expone un gráfico comparativo entre las distintas opciones de modelación del escurrimiento en la subcuenca Tábula-Picachos, haciendo uso del modelo Témez.

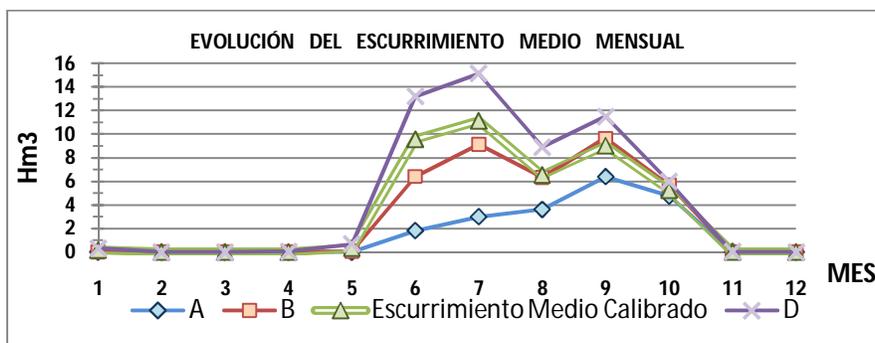


Figura 3.31. Escurrimiento medio mensual calculado en el Modelo de Témez para cuatro distintas alternativas

En la gráfica anterior se puede observar la evolución del escurrimiento medio mensual correspondiente a una serie temporal de 50 años (1954-2004), registrando un valor medio máximo calibrado de 9.65Hm^3 para el mes de Septiembre. El dato del mes en el que más escurrimientos se presentan queda corroborado por los informantes clave, siendo en el mes de septiembre usualmente cuando se registra inundaciones de parcelas, terracerías y algunas zonas bajas cercanas a distintas localidades de la subcuenca.

Por último, en la Figura 3.32 se puede observar la correspondencia entre los picos de escurrimiento aforados en la “Estación Cinco Señores”, respecto a los caudales calculados con el Modelo de Témez calibrado, en el cual se registra un escurrimiento medio máximo anual de 113.19Hm^3 para el año de 1996, mismo que coincide con el registro histórico de inundaciones presentes en la Ciudad de San Miguel de Allende y otras localidades de la subcuenca.

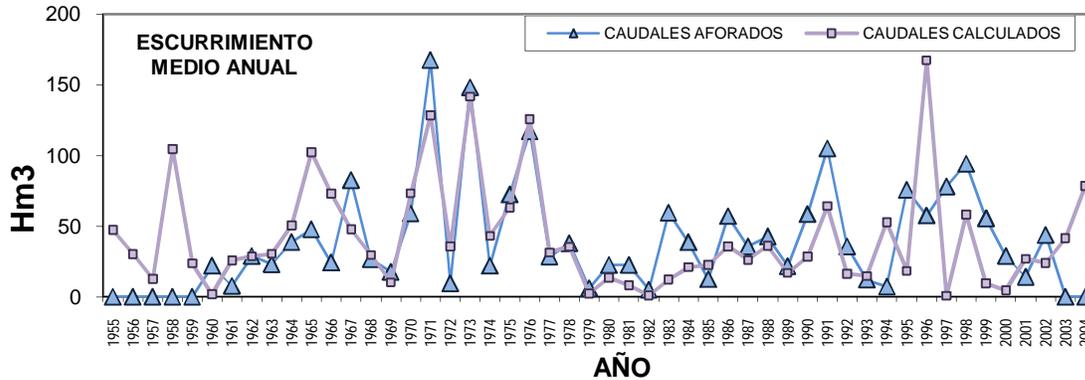


Figura 3.32. Evolución del escurrimiento medio anual para la serie de precipitaciones modelada en Témex

De igual manera, en la Figura 3.33 se presenta la evolución de la recarga potencial media anual de acuerdo a los resultados del Modelo de Témex calibrado, donde destaca un valor máximo de 48.73Hm³ para el año 1958.

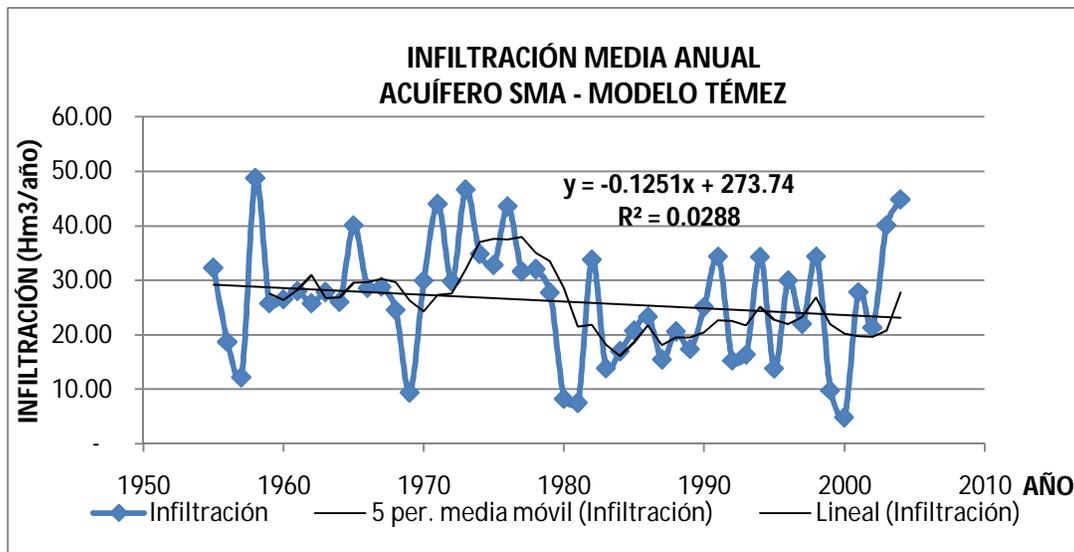


Figura 3.33. Evolución de la recarga potencial media anual para la serie de precipitaciones y escurrimientos modelados en Témex

III.4.2. Modelación subterránea

III.4.2.1. Calibración del acuífero San Miguel de Allende

En el proceso de establecer los parámetros de funcionamiento hidrodinámico del acuífero San Miguel de Allende (Figura 3.34), es común realizar abstracciones de la realidad para poder representar de manera sencilla o poder

llegar a simular su funcionamiento ante acciones externas, tal es el caso de las extracciones de agua subterránea y la recarga por infiltración mediante los cuerpos receptores de agua de lluvia. Este acuífero cuenta con un área de 414.3km² aproximadamente y se considera como una parte independiente del acuífero Cuenca Alta del Río Laja.

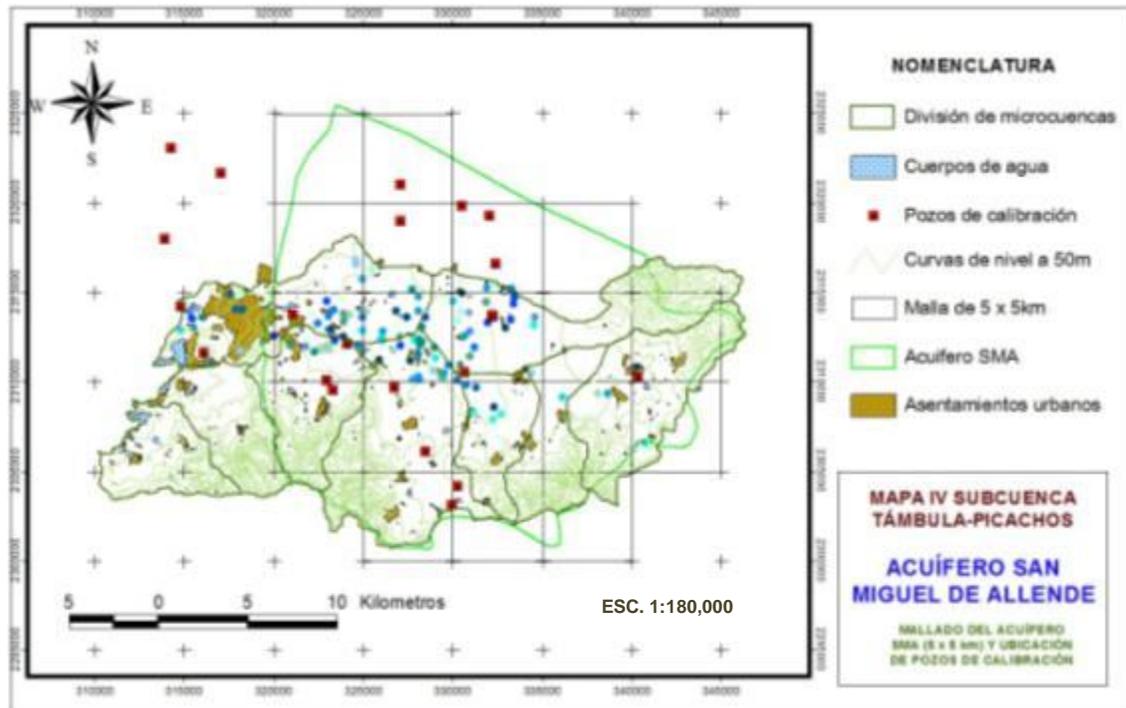


Figura 3.34. Malla de Discretización del Acuífero SMA en la Subcuenca Tábula-Picachos y niveles piezométricos registrados entre 1998 y 2004

Como ya se mencionó antes, el acuífero San Miguel de Allende está directamente relacionado con la Unidad de Esgurrimiento No. 1, por lo que para poder calibrar el modelo de acuífero es necesario tomar en cuenta solo una parte de la subcuenca y debido a la complejidad que representa el modelar al acuífero Cuenca Alta del Río Laja (por representar un área 10 veces más grande que el acuífero en estudio, la complejidad de sus demandas y aportaciones, etc.), en el presente proyecto de tesis solo se discretizará y analizará una de las zonas de mayor interés respecto a la modelación conjunta y uso eficiente del agua en la subcuenca Tábula-Picachos. Para la calibración del esquema de acuífero adoptado, mediante su modelación en el programa AQUIVAL, haciendo uso de

Autovalores y Autovectores, se siguió una serie de pasos, los cuales se desarrollan a detalle a continuación:

1. Hipótesis y Discretización en la Modelación Subterránea

- El acuífero San Miguel de Allende (SMA) se considera independiente del Acuífero Cuenca Alta del Río Laja (CARL), debido al desplazamiento geológico presente que divide los niveles freáticos en dos distintas zonas: hacia el Este y Oeste de la Ciudad de San Miguel de Allende
- El esquema de flujo subterráneo original es de Este a Oeste, desde las formaciones montañosas volcánicas (Picachos y Tàmbula) y sedimentarias (La Márgara), con dirección hacia el Río Laja y la Presa Ignacio Allende
- El acuífero se considera granular, semi-confinado, con descargas libres en la Zona Noroeste, cercano a la Ciudad de San Miguel de Allende, Gto.
- La descarga en la celda de nivel constante se considera como la salida en la represa del “Charco del Ingenio”, confluencia de los escurrimientos superficiales de la mayor parte de la subcuenca (UE-1)
- En la modelación del acuífero San Miguel de Allende se incluyen como mayores demandas, las agrícolas, zonificándolas en un conjunto de celdas, que es una parte de la subcuenca donde se desea conocer la evolución y abatimiento de los niveles piezométricos
- Se considera que solo un 13% del agua demandada para abastecimiento urbano es extraída del acuífero San Miguel de Allende, el 87% restante se abastece del Acuífero Cuenca Alta del Río Laja, en las cercanías de la Presa Ignacio Allende
- Se considera un nivel piezométrico de referencia “0” en la Celda 1-1, teniendo una elevación inicial de 1879.65msnm

Como niveles piezométricos iniciales o de referencia, se cuenta con un conjunto de datos monitoreados (Tabla 3.16) en distintas épocas del año, partiendo del año 1998 hasta el 2004. Dichos puntos se encuentran representados en la Figura 3.35, mientras que en la Figura 3.34 se presenta la distribución de los

niveles piezométricos (NP) promedio en el Acuífero San Miguel de Allende, donde las zonas más claras indican mayor altitud del NP, registrando un máximo de 2076msnm y un mínimo en la zona norte de 1879msnm. Adicionalmente, se encuentran numeradas las celdas de monitoreo para la calibración del modelo de acuífero en AQUIVAL.

TABLA 3.16. Elevaciones Piezométricas registradas entre 1998 y 2004 en la zona de estudio (msnm)

Celda	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	ABAT
1-1	1899.65	1896.49	1890.96	1893.76	1891.81	1887.60	1886.20	3.17
2-1	1915.15	1912.75	1910.79	1909.03	1908.45	1907.26	1905.26	1.65
3-1	1935.33	1934.57	1933.23	1931.28	1929.02	1924.85	1923.45	1.98
3-2	1932.72	1928.74	1926.08	1921.90	1923.52	1918.52	1917.61	3.06
3-3	1929.49	1926.96	1922.79	1917.31	1915.09	1916.22	1912.62	3.19
4-3	1944.51	1943.02	1940.48	1941.19	1941.92	1940.59	1937.97	1.57
4-4	1997.58	1986.95	1984.10	1987.18	1984.73	1981.37	1974.63	4.85

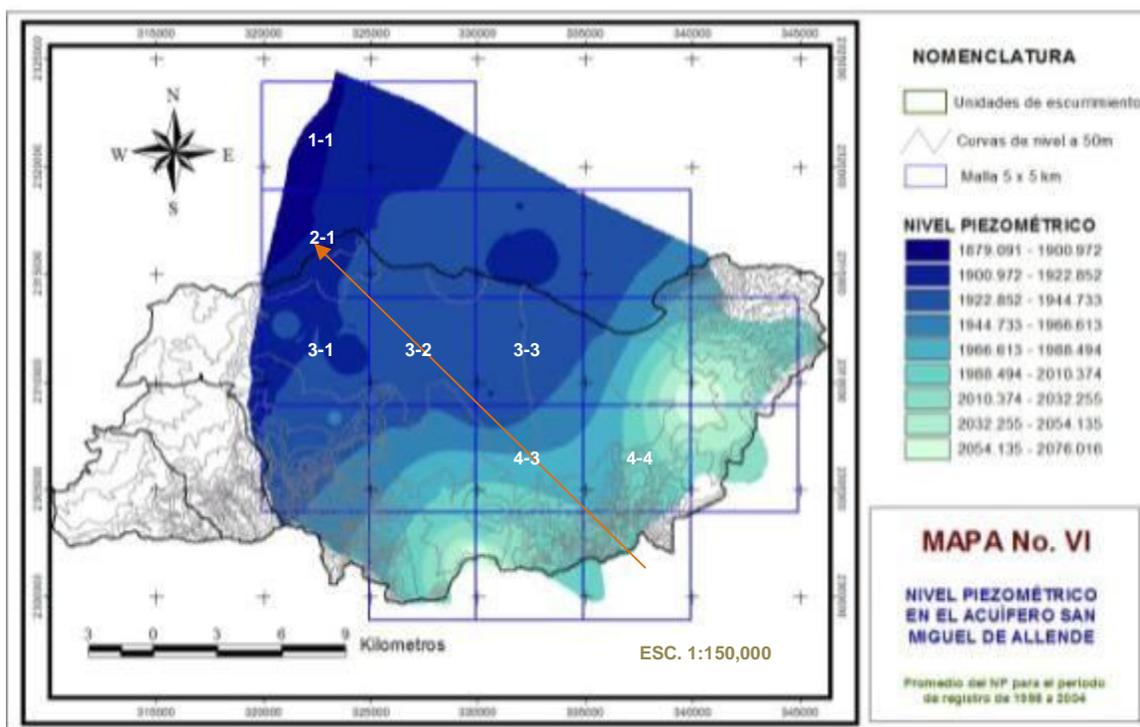


Figura 3.35. Distribución del NP en el acuífero San Miguel de Allende, ubicación de celdas de monitoreo

En la Figura 3.36 se muestra un perfil del terreno natural y su correspondiente altura piezométrica, de acuerdo a los 5 puntos que pasan por la diagonal desde la celda 2-1 hasta la celda 5-4, tal como se representa en la línea

naranja de la Figura 3.35. Esta diagonal de elevaciones nos da una idea del movimiento del agua en sentido Noroeste, primero hacia el centro del valle presente en la Unidad de Escurrimiento No. 1 y posteriormente hacia el río Laja y la Presa Allende, debido a la acción de la falla geológica presente en la zona aledaña a la Ciudad de San Miguel de Allende.

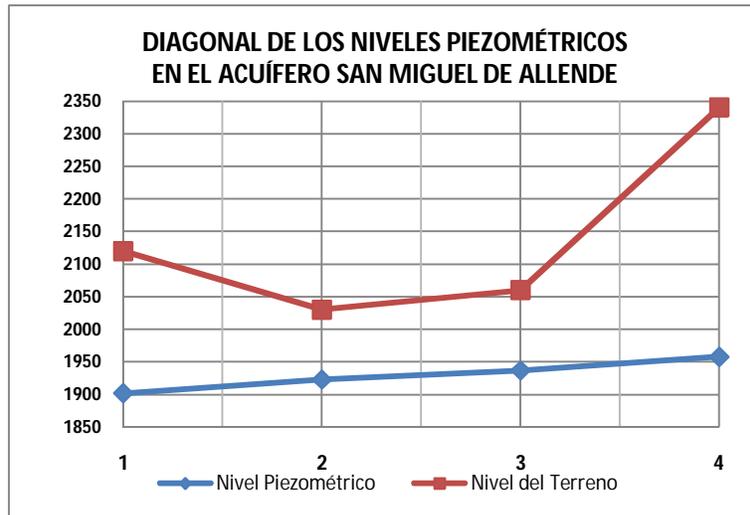


Figura 3.36. Representación del NP y del Terreno en la Diagonal de la Figura 3.35

2. Uso de un Modelo de Diferencias Finitas en AQUIVAL

En la propuesta del modelo del acuífero SMA en el entorno de AQUIVAL, se siguieron los siguientes pasos:

- Dimensionamiento de la malla o retícula representativa de la forma del acuífero, con 5 filas y 5 columnas, y un ancho de las celdas de 5000 x 5000 m (Figura 3.37a)
- En las Condiciones de Contorno de las celdas que componen la malla del acuífero (Figura 3.37b), se consideraron como celdas inactivas aquellas que representan las zonas con las principales elevaciones topográficas y una celda de nivel constante (Celda 1-1), como punto de confluencia de los flujos subterráneos
- Introducción de los parámetros hidrodinámicos específicos de la zona de estudio al modelo del acuífero, tomando como referencia los datos del “Estudio

hidrogeológico y Modelo Matemático del Acuífero Río Laja – San Felipe, Gto.”, tomando como valores iniciales de transmisividad promedio de $2053\text{m}^2/\text{día}$ y un coeficiente de almacenamiento de 0.055 (Figura 3.38)

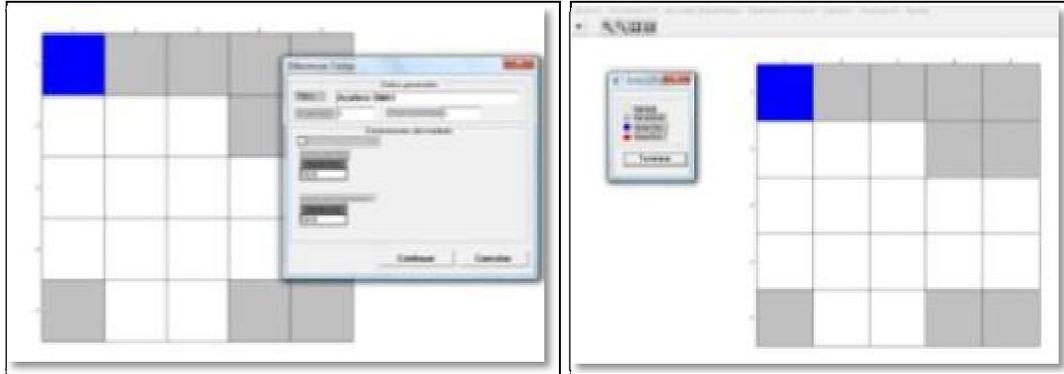


Figura 3.37a Dimensiones de la malla del Modelo de acuífero

Figura 3.37b Condiciones de contorno y celdas activas del modelo



Figura 3.38. Valores de transmisividad y coeficiente de almacenamiento iniciales adoptados para el Modelo de acuífero

A continuación, en la Tabla 3.17 se presenta un resumen de los parámetros hidrodinámicos iniciales con que se contaba para la modelación del acuífero San Miguel de Allende en AQUIVAL, el cual se encuentra estrechamente relacionado con el acuífero Cuenca Alta del Río Laja, al cual pertenece la siguiente información, sin embargo, se cuenta con información más específica para la subcuenca y de forma detallada para cada una de las porciones que caen dentro de las microcuencas a modelar.

TABLA 3.17. Atributos hidrométricos del acuífero Cuenca Alta del Río Laja, Gto.²⁹

ACUÍFERO	Propiedad	Valor
Cuenca alta del Río Laja	Área del Acuífero	3049.0 km ²
	Coeficiente de Transmisividad	0.5 x 10 ⁻³ m ² /s 4.7x10 ⁻² m ² /s
	Coeficiente medio de Almacenamiento	1.8x10 ⁻² y 5.8x10 ⁻²
	Calidad salina buena	300-800 ppm
	Profundidad	35-400 m
	Dirección del escurrimiento	Norte-Sur
	Rendimiento de pozos	2-10 lps
	Capacidad específica de extracción en los pozos	0.13-82.2 lps/m de prof
	Tipo de acuífero	Granular, parcialmente confinado
	BALANCE	Balance general para 1982 (entradas - salidas = cambio de almacenamiento); entradas = entradas sub + recarga vertical; El cambio de almacenamiento considera un coeficiente de almacenamiento de 0.05
DISPONIBILIDAD	Disp. = RMA - DNC - VASC RMA: Recarga media anual DNC: Descarga natural comprometida VASC: Volumen anual subterráneo concesionado (REDPA y SGAA-2002)	RMA: 139.71Hm ³ /año DNC: Nula VASC: 184.923Hm ³ /año Disp.: -45.213Hm ³ /año (valor negativo)

3. Definición de Acciones Elementales

Se introdujeron los valores de las dos acciones elementales que inciden en la modelación del acuífero SMA, siendo las siguientes:

- Infiltración media mensual, para un período de 50 años (1954-2004), determinada a partir del Modelo Hidrológico Superficial de Témex (Figura 3.32)
- Demanda promedio mensuales (Figura 3.39), para el mismo período de 50 años, determinada a partir de consultas a dependencias de gobierno, consultas con informantes clave y artículos publicados sobre la zona de estudio.

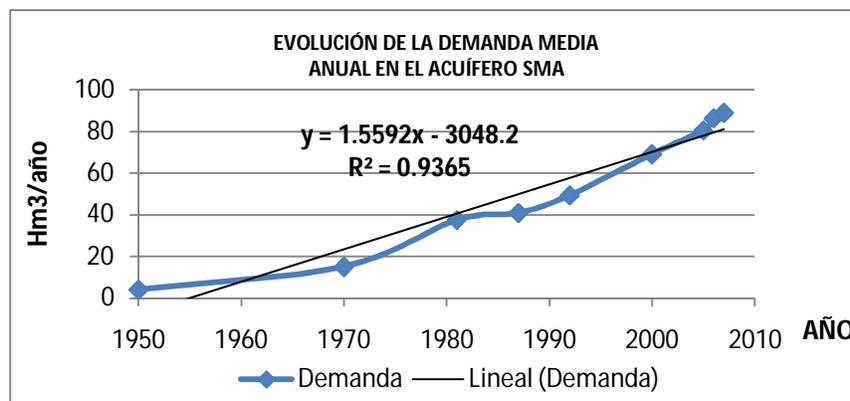


Figura 3.39. Demanda Media Anual en el Acuífero SMA

²⁹ Estudio hidrológico realizado en 1982 por Geohidrológica Mexicana y actualizado en 2004 por CONAGUA para el acuífero Cuenca Alta del Río Laja, Guanajuato.

4. Definición de Parámetros de Control

Se introdujeron parámetros de apoyo en la realización de la calibración del modelo del acuífero SMA, el cual será posteriormente usado en el entorno de Aquatool DMA para la simulación conjunta del agua en la subcuenca, donde se considera lo siguiente:

- NP en la Celda 2-1: nivel piezométrico en una zona cercana a la celda de nivel constante (Celda 1-1)
- NP en la Celda 3-3: nivel piezométrico en la zona de extracciones
- NP en la Celda 4-4: nivel piezométrico en una zona alejada de la celda de nivel constante
- Volumen Total Almacenado (VTA) para el modelo del acuífero SMA
- Volumen de Salida (VSAL) en la celda de nivel constante

5. Revisión de Simulación y Calibración

Una vez definidas las acciones elementales y los parámetros de control para el acuífero SMA, se procedió a realizar simulaciones en el entorno de AQUIVAL, observando la evolución del modelo del acuífero adoptado, iniciando con los datos promedio de transmisividad en X y Y ($2054\text{m}^2/\text{día}$) y el coeficiente de almacenamiento (0.038) registrados para el acuífero Cuenca Alta del Río Laja (Tabla 3.17). El resultado de esta simulación se presenta en la gráfica de evolución del nivel piezométrico de la Figura 3.38, la cual está referenciada a un nivel inicial (igual a 0) en la celda de nivel constante (Celda 1-1).

Cabe señalar que los valores de los coeficientes de transmisividad y almacenamiento buscados son tales que cumplan con las condiciones de descenso registradas en la Tabla 3.16 (1.7m en la Celda 2-1 y 3.2m en la Celda 3-3), pues estas representan el registro de las condiciones originales del acuífero. Luego entonces, tomando en cuenta estas condiciones iniciales para el NP en el acuífero y los parámetros hidrodinámicos registrados para la zona de estudio, en una primera simulación del acuífero se obtuvo lo siguiente:

- La evolución del NP en las Celdas 2-1 y 4-4 se presenta de forma descendente pero con un promedio de descenso entre 1.5 y 0.5 m por año (Figura 3.40)
- La evolución del volumen almacenado en las celdas activas y el volumen de salida en la Celda 1-1 se presenta de forma descendente, con un valor de 9268.58 y 0.72 Hm³/año respectivamente (Figura 3.41)

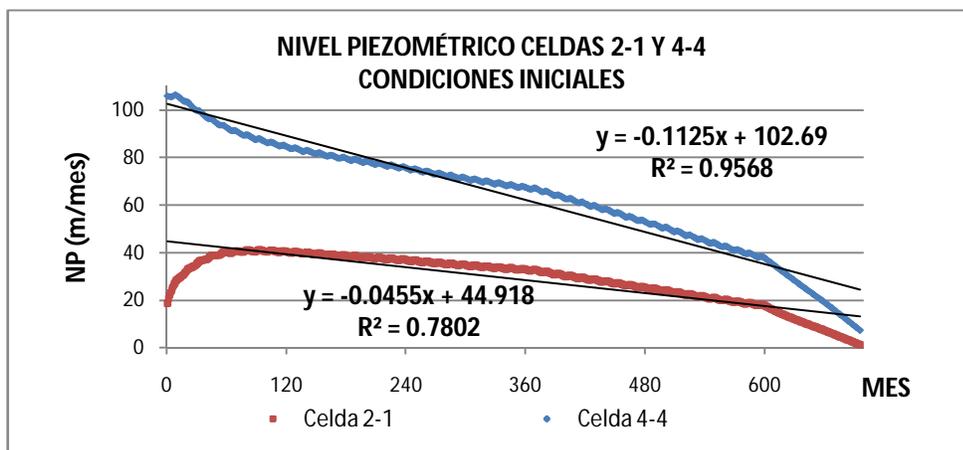


Figura 3.40. Evolución Inicial del NP en el Modelo del Acuífero SMA adoptado para AQUIVAL

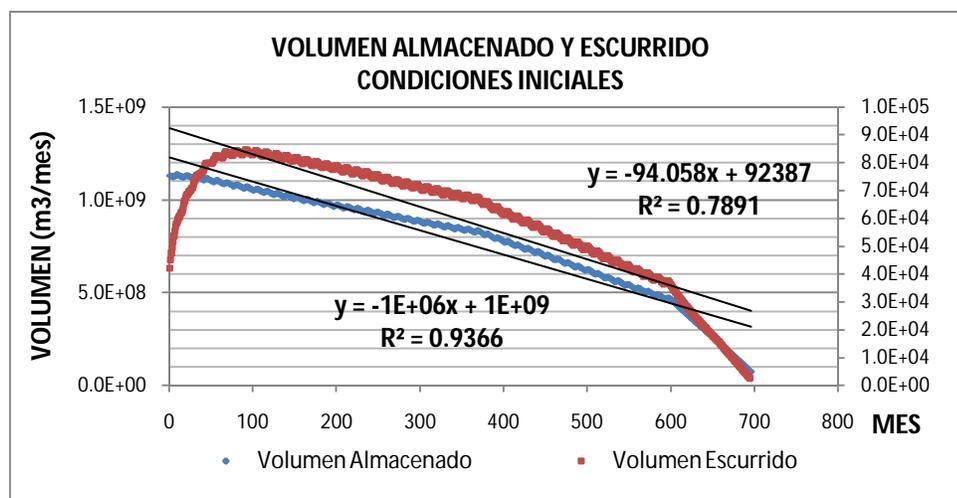


Figura 3.41. Evolución Inicial del Volumen Almacenado y Escurrido en el Modelo del Acuífero SMA adoptado para AQUIVAL

Una vez obtenidos los resultados gráficos, a manera de calibración, se procedió a comparar las pendientes de la línea de tendencia del NP anual calculado y la del NP anual medido (Figura 3.42), resultando:

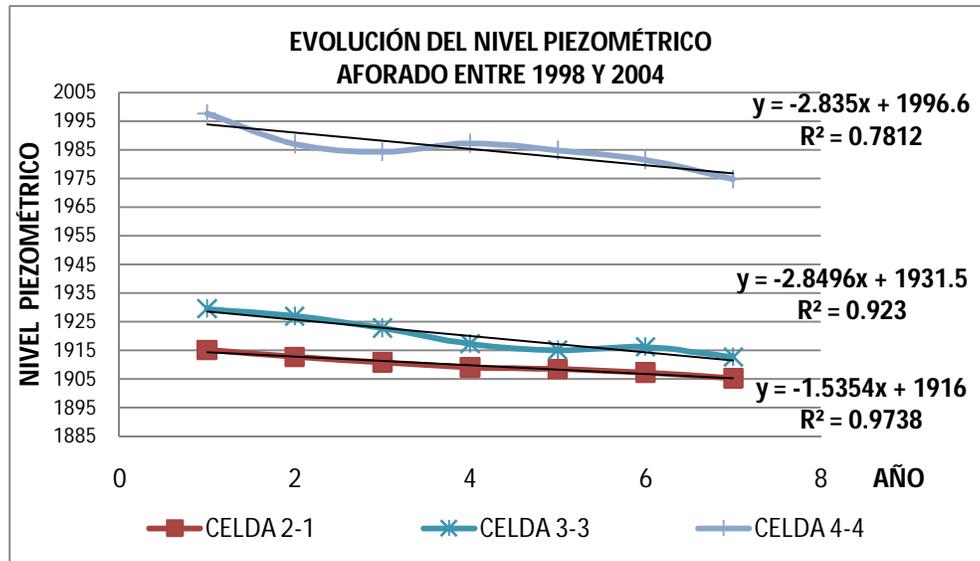


Figura 3.42. Pendiente de descenso del NP registrado para las celdas 2-1, 3-3 y 4-4 en el período de 1994 a 2004

Una vez se hubiera observado la misma tendencia de descenso entre los niveles calculados y medidos, se sabría que el modelo de acuífero adoptado responde de igual manera que como lo hace de forma natural. Para el caso del acuífero modelado, se buscaba observar una pendiente de descenso de entre 1.5 y 2.8%, dependiendo de la zona analizada.

Por último, cuando son adoptados valores de transmisividad (tanto en X como Y) entre 800 y 900 m²/día en las celdas de modelo, y un coeficiente de almacenamiento promedio de 0.015, se observó que el modelo del acuífero evoluciona de manera similar a la piezometría registrada en la zona de estudio, rescatado lo siguiente:

- La pendiente de descenso de los NP se presenta entre el 8 y el 20%
- El descenso de NP oscila entre 1.9 y 3.3 m, distribuidos de manera localizada en el acuífero
- El volumen total almacenado y escurrido es de 4759.64 y 0.37 Hm³/año
- Los NP medios (referenciados a la celda de nivel constante 1-1), tienen valores de 38.50m, 72.48m y 82.06 m, para las celdas 2-1, 3-3 y 4-4 respectivamente

6. Presentación de Resultados Gráficos

Finalmente, como resultado de la modelación del acuífero SMA, es rescatable la siguiente información:

- La evolución del NP en las Celdas 2-1, 3-3 y 4-4 con el modelo del acuífero para la serie de datos de 50 años, revisando solamente los últimos 7 años, los cuales son representativos de la evolución actual monitoreada del NP en el Acuífero (Figura 3.43)
- La evolución del Volumen Total Almacenado en el Acuífero y el Volumen de Salida en la Celda 1-1 modelados para el acuífero SMA

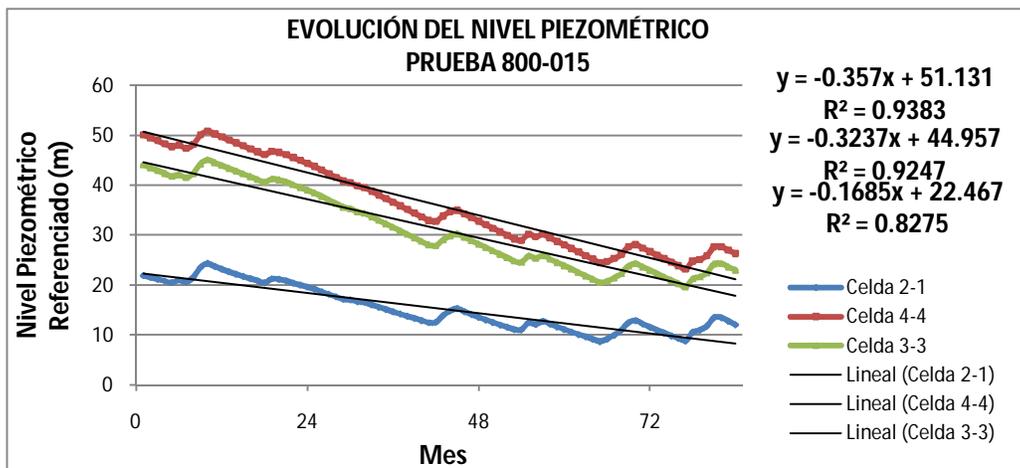


Figura 3.43. Pendiente de descenso del NP Calculado para las celdas 2-1, 3-3 y 4-4 del Modelo adoptado para el acuífero SMA

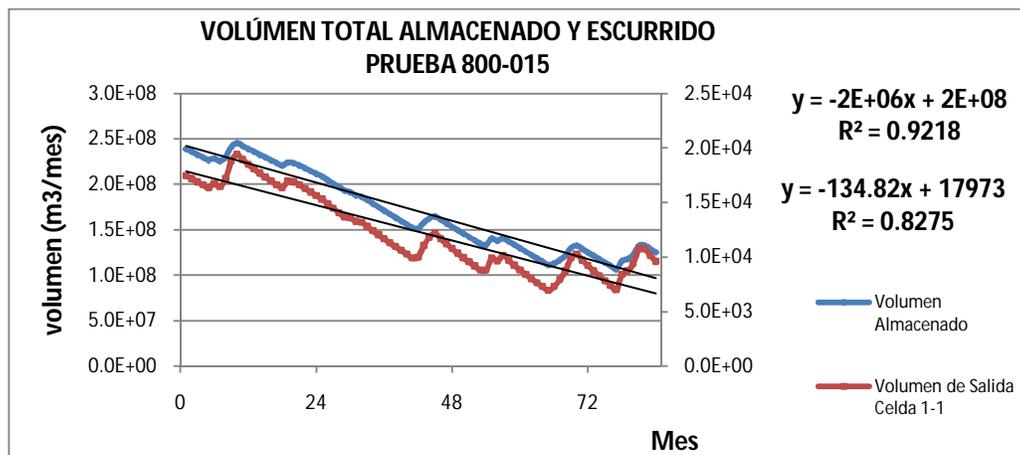


Figura 3.44. Pendiente de descenso del Volumen Total Almacenado y Escurrido para las celdas 2-1, 3-3 y 4-4 del modelo adoptado para el acuífero SMA

III.4.3. Simulación conjunta del manejo del agua en la subcuenca

La propuesta para el funcionamiento del esquema de modelación hídrica conjunta simplificado para la subcuenca Tábula-Picachos se basa en su división por microcuencas, pues es en ellas en donde se plantean las acciones a ejecutar a nivel comunitario y es precisamente en ellas donde se puede incidir de manera importante en modificaciones sobre el régimen hidrológico mediante la acción participativa de los habitantes presentes en la zona de estudio.

Todas las microcuencas tienen un alto grado de perturbación, existiendo desde las avocadas en un 80% de su superficie a la agricultura, hasta aquellas que aún conservan sus recursos naturales en las partes más altas y menos accesibles de los cerros de Tábula, Los Picachos y La Márgara.

Por tanto, la sub-división de las demandas Agropecuaria, Industrial y Urbana, dependiendo de las actividades realizadas en cada microcuenca, fue determinada para las nueve microcuencas que conforman la Subcuenca de Tábula Picachos en el municipio de San Miguel de Allende.

III.4.3.1. Esquema de trabajo en AQUATOOL DMA

En el esquema de trabajo se manejan NUDOS por cada una de las nueve microcuencas, que sirven como base para definir las APORTACIONES mensuales individuales de cada Unidad de Escurrimiento de la subcuenca. En el Capítulo 2 se presenta la serie de DEMANDAS al que están expuestas las microcuencas, haciendo uso de las tres principales demandas de agua anuales que se presentan en la subcuenca (agropecuario, urbano e industrial).

Respecto a los EMBALSES, solo se conoce el área de los bordos presentes en la subcuenca Tábula-Picachos, sin embargo la profundidad de cada uno de ellos es variable, tanto en dimensión como en épocas del año, comprendiendo valores entre 1.0m y 2.5m en época de lluvias y totalmente secos en época de estiaje.

Para cada microcuenca serán definidas tres distintas TOMAS, dependiendo de la demanda específica de agua, para uso agropecuario, urbano o industrial. Las CONEXIONES entre nudos de la subcuenca se establecen como de Tipo 1 ó conexiones simples principalmente. La representación de los acuíferos en la subcuenca se plantea de dos tipos: como tipo DEPÓSITO ó funcionando como un acuífero de autovalores y autovectores modelado en AQUIVAL.

En la Figura 3.46 se presenta el esquema de trabajo del entorno AQUATOOL DMA, de acuerdo a la subdivisión de demandas por microcuencas y de aportaciones por unidades de escurrimiento, donde destacan:

- Un nudo representativo por cada microcuenca, a partir del cual se distribuyen las demandas presentes en las mismas
- Tres aportaciones de escurrimiento superficial para cada unidad de escurrimiento de la subcuenca, una aportación para representar las recargas potenciales por lluvia y una aportación ficticia de control de escurrimientos generados por el acuífero en la Celda 1-1
- Conducciones Tipo 1 que simulan la desviación de agua hacia las 9 microcuencas, las cuales no tienen circulación de caudal. Además existen Conducciones Tipo 1 que simulan los cauces de las tres unidades de escurrimiento de la subcuenca, en las que se permite circular sin restricciones el agua aportada en la cabecera de cada UE
- Un máximo de 3 demandas consuntivas de agua por microcuenca, dependiendo el uso que se haga (agropecuario, urbano o industrial)
- Una línea de toma por cada demanda hídrica, las cuales parten del nodo representativo de cada una de las microcuencas
- Dos modelos de acuífero, uno considerado como tipo Depósito y otro como de Autovalores, para simular las extracciones y recargas en el Acuífero San Miguel de Allende y Cuenca Alta del Río Laja
- Un embalse por cada microcuenca, representativo de los bordos presentes en ellas, para representar la infiltración por almacenamiento en los cuerpos de agua de la zona de estudio

- Un nodo final, representativo de la confluencia de las tres unidades de escurrimiento de la subcuenca, en el que se hace alusión a la Presa Ignacio Allende, al Suroeste de San Miguel de Allende, Gto.

Para la simulación conjunta en AQUATOOL DMA se utilizó el escenario descrito como “Támbula-Picachos” y un modelo distinto para cada cambio en la simulación del manejo. Se simuló un periodo de 50 años, de 1954 al 2004. Se corrió la subrutina de SIMGES y se obtuvieron los resultados analizados en el apartado III.4.3.3. de este capítulo. Lectura de los resultados puede presentarse a manera de un resumen anual en un archivo “.txt” o de manera gráfica, con la aplicación de “Gráficos de Aquatool”.

Es importante mencionar que el escenario de simulación del manejo hídrico conjunto no se altera, ni los datos de “aportaciones”, solo se modifican las “demandas”, de acuerdo a cada variante del escenario simulado. En la Figura 3.45 se presenta la serie de aportaciones de la Unidad de Escurrimiento No.1 y la serie de Infiltraciones media, usadas en la simulación hídrica conjunta del acuífero San Miguel de Allende.

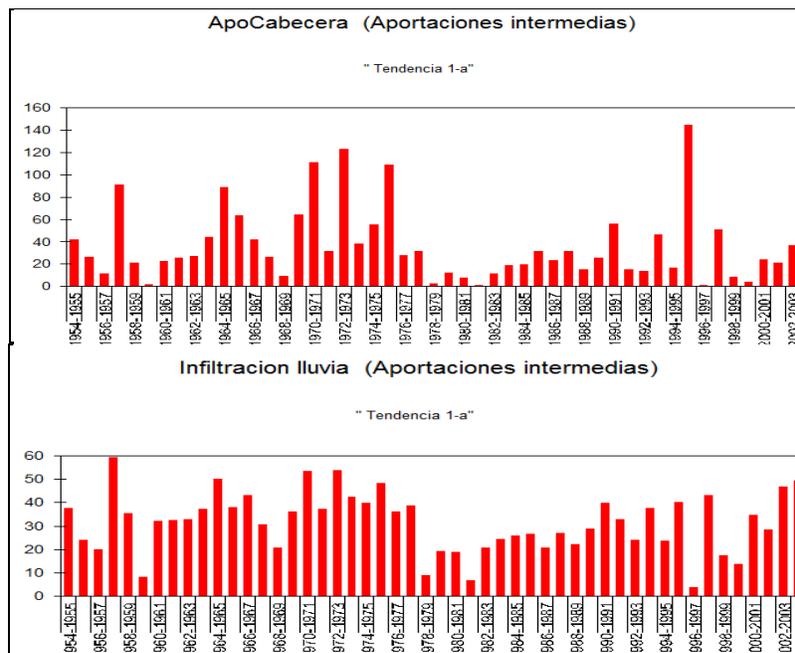


Figura 3.45. Aportaciones intermedias para la UE-1 de la subcuenca Támbula-Picachos

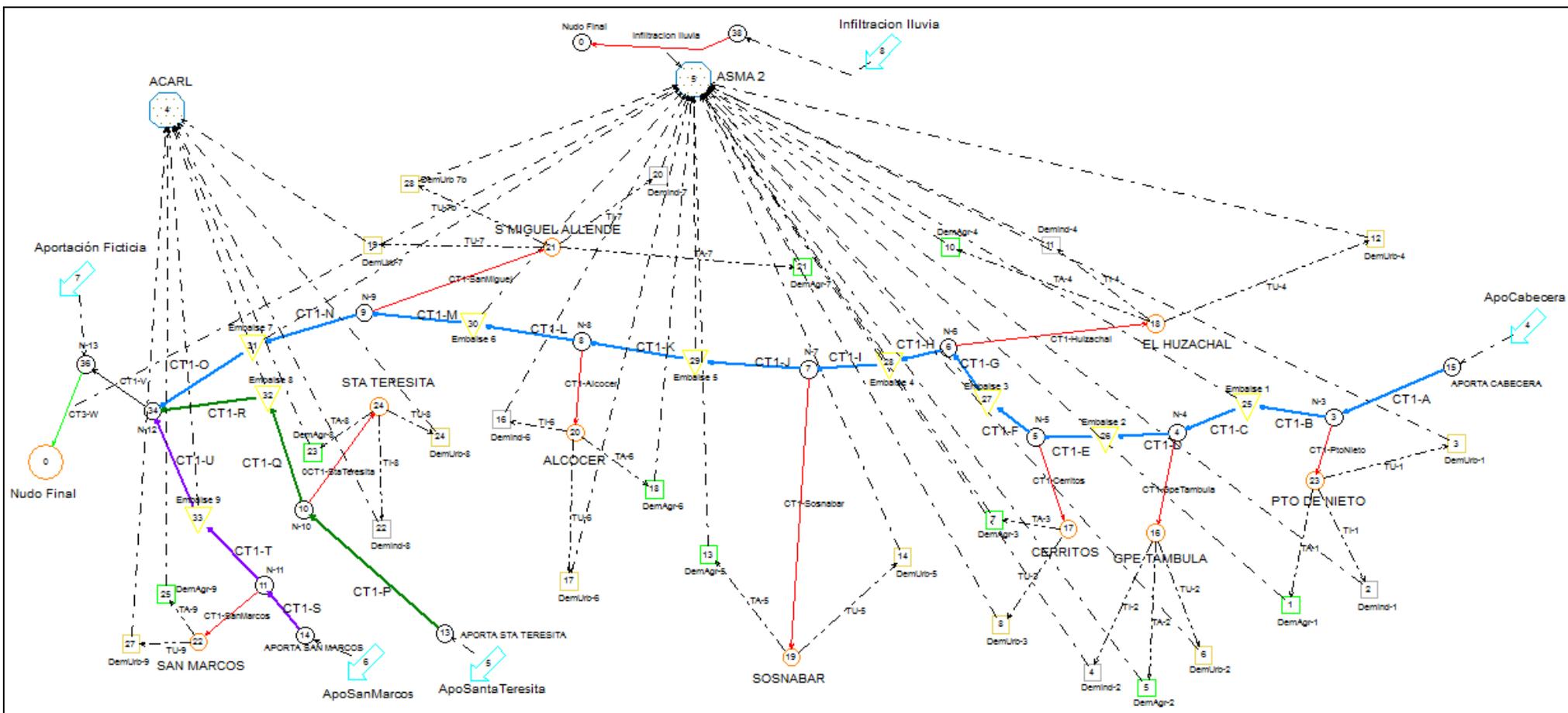


Figura 3.46. Esquema de trabajo para la simulación del manejo hídrico conjunto en la subcuenca Támbara-Picachos, Gto.

III.4.3.2. Escenarios de manejo adoptados

Previo al análisis de escenarios a simular, cabe recordar los puntos más importantes que son abordados de manera global, de acuerdo a los siguientes aspectos:

-Aspectos Ambientales

Cambio en el uso del suelo y la vegetación

Escenario de cambio de uso de suelo

Escenario de conservación

Aprovechamiento sustentable

Tendencia de la demanda agropecuaria

Tendencia del crecimiento urbano

-Aspectos Socio-Económicos

Tecnificación y Optimización

Cambio de métodos de riego

Optimización del uso del agua subterránea

Propiciar aumento de niveles piezométricos

Servicios ambientales y cultura del cuidado del agua

Acción y participación comunitaria

Relaciones campo-ciudad

La adopción de los escenarios de manejo evaluados en Aquatool DMA corresponden a la suposición de distintos criterios adoptados para el manejo hídrico conjunto en la subcuenca Tábula-Picachos, basándose principalmente en:

1. El **aumento** en la tendencia **de demandas** a que está sometido el acuífero SMA
2. El **aumento de la recarga** al acuífero SMA y la correspondiente disminución del escurrimiento superficial

Para los escenarios de aprovechamiento sustentable se introducen valores de recarga al Acuífero SMA, atendiendo a la superficie ocupada por cuerpos de

agua, del Shape “USV 2003”, para la subcuenca Tábula-Picachos, considerando un promedio de 2m de profundidad en los bordos y represas presentes y calculando de esta forma una aproximación del volumen almacenado por microcuenca, dando como resultado un valor de 8.91 Hm3.

De esta aproximación se calcula un % de infiltración, el cual considera las “pérdidas por infiltración” iguales a ¼ del volumen almacenado mensualmente (VAM), partiendo de que se cuenta con registros en la zona sobre un almacenamiento del agua por un máximo de 8 meses, de los cuales 4 son meses donde se registran precipitaciones, dejando 4 meses más para abatir el volumen almacenado por infiltración, quedando la ecuación de pérdidas usada por Aquatool como:

$$P = a + b \cdot V^c, \text{ donde:}$$

P (m3) : pérdidas por infiltración

a, b, c (adim): coeficientes de pérdidas

V (m3): volumen almacenado

En la hipótesis anterior (y a falta de mayores datos), se considera que no existen pérdidas por evaporación de la superficie libre del agua de los almacenamientos. Ahora bien, para reintegrar estos volúmenes mensuales al modelo del acuífero SMA, es necesario ligar la celda y el embalse del que procede el aporte por infiltración al acuífero, quedando como se muestra en la Tabla 3.18.

TABLA 3.18. Volumen almacenado en bordos para cada microcuenca en la subcuenca Tábula-Picachos, Gto.

NÚMERO DE EMBALSE	CELDA DE APORTACIÓN	COEFICIENTE DE INFILTRACIÓN	V_{ALM} (Hm3/mes)
1	4 – 5	0.49	0.24
2	4 – 4	0.08	0.04
3	4 – 3	0.11	0.05
4	3 – 4	0.17	0.08
5	4 – 2	0.55	0.28
6	4 – 1	0.37	0.19
7	3 - 2	0.24	0.12
8	-	0.07	0.03
9	-	0.15	0.08

Una vez calibrado el modelo de simulación conjunta, mediante la simulación y respuesta del modelo para el estado actual de los recursos, se procedió a adoptar los siguientes escenarios de manejo para su análisis y posterior discusión con tomadores de decisiones y habitantes de la zona de estudio, tales como:

- Partiendo del año 2004, seguir la tendencia de aumento en las demandas consuntivas, calculadas para los años 2025 y 2050 (Tabla 3.20)
- Haciendo uso del concepto de recarga difusa y su aplicación mediante una serie de embalses (bordos) presentes en la subcuenca, los cuales recargan 8.91Hm³/año aproximadamente al acuífero San Miguel de Allende, aportando hasta un 20.58% de la demanda hídrica total
- Una vez conocido el comportamiento tendencial de extracciones, se propone la reducción de la demanda anual en hasta un 30%, pasando de 43.3 a 30.30Hm³/año (Tabla 3.19)
- Aumentar la capacidad de almacenamiento de los embalses modelados al doble, pasando de 8.91 a 17.82Hm³/año de recarga media anual al acuífero San Miguel de Allende, considerando el uso de obras de conservación de suelo y agua, así como la reparación y la rehabilitación de bordos existentes en la zona
- Un escenario de manejo combinado, tomando en cuenta la disminución de la demanda en un 30% y el doble de la recarga por filtración en embalses.

TABLA 3.19. Modificación en las demandas consuntivas de la subcuenca Támara-Picachos para su simulación en AQUATOOL DMA

Microcuenca	Incremento de las demandas			Porcentaje de reducción en la demanda		
	2004	2025	2050	10%	15%	30%
Año						
1: ALCOCER	0.22	0.35	0.42	0.20	0.19	0.15
2: CERRITOS	0.32	0.51	0.61	0.29	0.27	0.22
3: EL HUIZACHAL	0.96	1.55	1.88	0.29	0.27	0.23
4: GPE. TAMBULA	0.16	0.25	0.30	0.29	0.27	0.23
5: PUERTO DE NIETO	0.11	0.16	0.20	0.87	0.82	0.68
6: SAN MARCOS DE BEGOÑA	0.01	0.01	0.01	0.86	0.81	0.67
7: SAN MIGUEL DE ALLENDE	1.42	2.27	3.55	0.86	0.81	0.67
8: SANTA TERESITA DE DON DIEGO	0.03	0.05	0.06	0.14	0.13	0.11
9: SOSNABAR	0.36	0.56	0.69	0.14	0.13	0.11
Demanda Mensual	3.59	5.70	7.71	3.94	3.72	3.06
Demanda Anual	43.05	68.39	92.51	47.28	44.65	36.77

III.4.3.3. Resultado de las simulaciones

A continuación, en la Figura 3.47 se presenta el resultado gráfico de las simulaciones hechas en AQUATOOL DMA para el manejo hídrico conjunto de la subcuenca Támbula-Picachos.

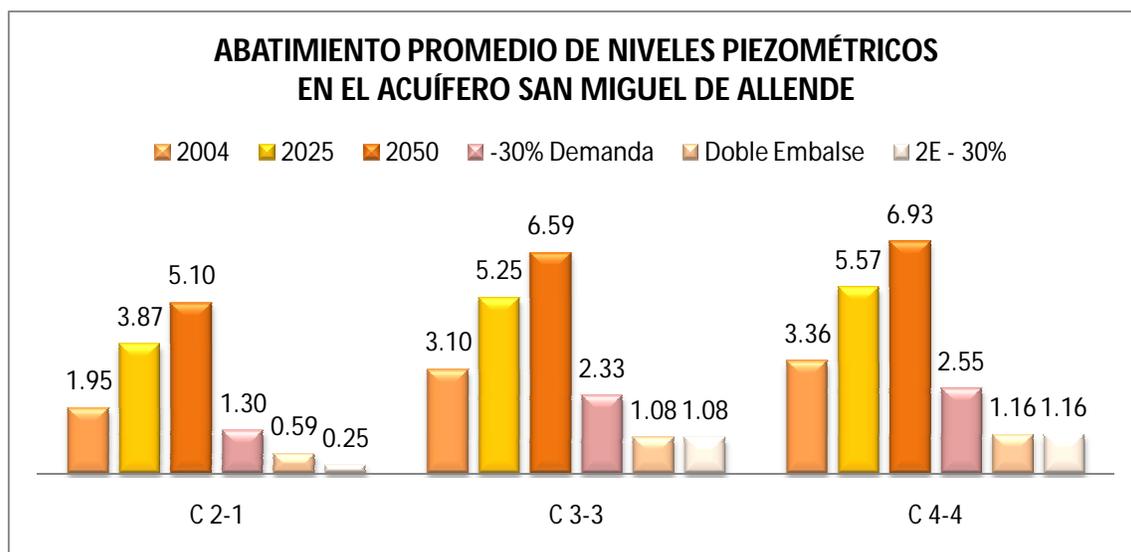


Figura 3.47. Abatimiento del nivel freático en tres celdas del modelo del Acuífero San Miguel de Allende

En la simulación conjunta del agua en el acuífero SMA (para los escenarios de tendencia de demandas y aumento de la recarga), el abatimiento anual promedio en las celdas 2-1, 3-3 y 4-4 del esquema de acuífero modelado en AQUIVAL, tiene la siguiente respuesta:

- La configuración de descenso para el año 2004 es entre 1.9 y 3.4m
- Para el año 2025 se registrará un descenso entre 3.9 y 5.6m
- El descenso del nivel freático para las demandas del año 2050 será entre 5.1 y 6.9m (como escenario extremo)
- Con la reducción de la demanda actual en un 30%, se registrará un descenso de niveles entre 1.3 y 2.5m
- Con el aumento de la filtración en embalses al doble, el descenso de niveles variará entre 0.6 y 1.1m

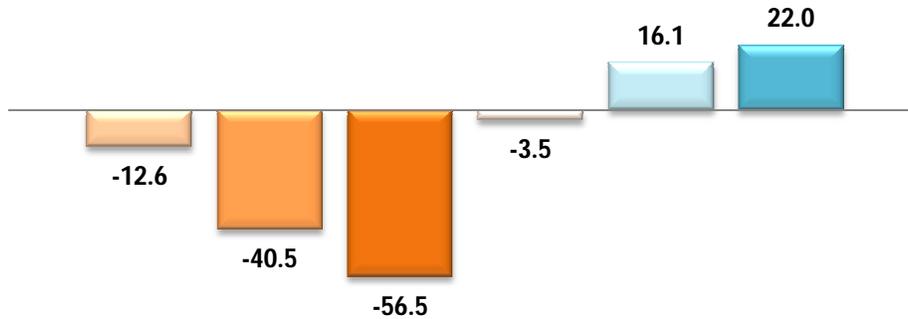
- Tomando en cuenta la reducción del 30% de la demanda actual y el doble de filtraciones en los embalses, se registrará un descenso entre 0.2 y 1m (como escenario de mayor recarga)

Ahora bien, en el análisis del cambio de almacenamiento para cada escenario simulado en AQUATOOL DMA sobresalen los resultados gráficos de las Figuras 3.48a,b y c, para el análisis de las simulaciones a 5, 10 y 20 años del cambio del almacenamiento en el acuífero San Miguel de Allende, de los cuales se rescata que:

- Manteniendo la tendencia de demanda del 2004, el acuífero pasará de un déficit hídrico de 10.55Hm^3 a 12.6Hm^3 en 5 años y hasta 34.2Hm^3 en 20 años
- Si consideramos la tendencia del incremento en la demanda hídrica, se alcanzará un déficit hídrico de 56.5Hm^3 en 5 años y hasta 192.3Hm^3 en 20 años
- Si se considera una reducción de la demanda actual en un 30%, el déficit hídrico en el acuífero en 5 años sería de 3.5Hm^3 y de 1.3Hm^3 en 20 años
- Si se considera el doble de capacidad en el almacenamiento de agua y su filtración al acuífero, el superávit hídrico sería de 16.1Hm^3 en 5 años y de 35.5Hm^3 en 20 años
- Si se reduce la demanda un 30% y se aumenta la capacidad de almacenamiento, el superávit registrado podría ser de 22.0Hm^3 en 5 años y de 48.5Hm^3 en 20 años

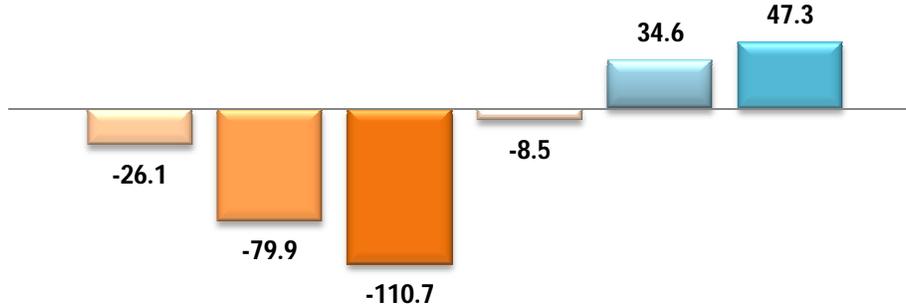
**3.46a. CAMBIO DE ALMACENAMIENTO EN 5 AÑOS
EN EL ACUÍFERO SAN MIGUEL DE ALLENDE (Hm³)**

2004 2025 2050 -30% Demanda Doble Embalse 2E - 30%



**3.46b. CAMBIO DE ALMACENAMIENTO EN 10 AÑOS
EN EL ACUÍFERO SAN MIGUEL DE ALLENDE (Hm³)**

2004 2025 2050 -30% Demanda Doble Embalse 2E - 30%



**3.46c. CAMBIO DE ALMACENAMIENTO EN 20 AÑOS
EN EL ACUÍFERO SAN MIGUEL DE ALLENDE (Hm³)**

2004 2025 2050 -30% Demanda Doble Embalse 2E - 30%

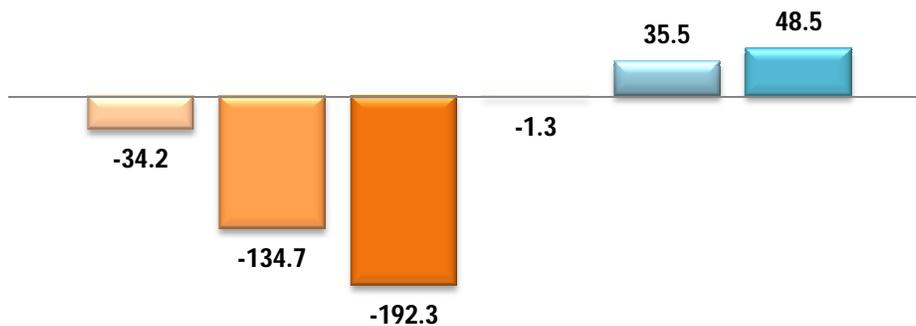


Figura 3.48a, b y c. Tendencia en el cambio de almacenamiento para el acuífero San Miguel de Allende

III.5. Conclusiones

a. Sobre la modelación hidrológica conjunta

Mediante el cálculo de las componentes del balance hídrico medio anual para la Subcuenca Tábula- Picachos, para los años 1993 y 2003 (tomando en cuenta la modificación del uso del suelo y la cobertura vegetal), se evaluó el efecto del cambio de esta variable en el comportamiento hidrológico de la cuenca y se realizó el balance hídrico superficial para estos años, obteniendo indirectamente la infiltración media anual para las tres unidades de escurrimiento de la cuenca. Adicionalmente, se realizó un balance hídrico conjunto para la Unidad de Escurrimiento No. 1, calculando el déficit en el cambio de almacenamiento del acuífero San Miguel de Allende, principal zona de extracción de la subcuenca.

Pese a las limitantes a las que están sujetos los modelos indirectos de cálculo de las componentes del balance hídrico anual, como el caso de las metodologías empleadas en este proyecto de tesis, estos constituyen una herramienta útil para evaluar de manera general el efecto que pueden tener las modificaciones del ambiente derivadas del cambio del uso del suelo y la alteración de la vegetación en la respuesta hidrológica de una cuenca, lo cual permite tener un panorama de la condición de los recursos en la zona, para así poder implementar estrategias de manejo más adecuadas, acorde a las demandas y aportaciones a que están sometidos los recursos hídricos en la zona de estudio.

De acuerdo a estos resultados, se concluye que a nivel regional (subcuenca) no se presentan cambios significativos en los componentes del balance hídrico anual. Sin embargo, en el análisis individualizado de sus componentes se observan leves modificaciones, reflejados como cambios en las variables ambientales incidentes, incrementándose el escurrimiento superficial y el tiempo de concentración de la lluvia (lo que potencialmente ocasiona inundaciones en la zona) y disminuyendo la recarga de los acuíferos (al tenerse menos capacidad de infiltración por las modificaciones en el uso del suelo y vegetación).

Como parte de los resultados de la simulación hídrica conjunta, correspondiente a la porción a la UE-1 principalmente, se encontró lo siguiente:

- Por la complejidad de los acuíferos y la falta de un mayor número de datos para su calibración, se procedió solo a discretizar de manera sencilla el acuífero de San Miguel de Allende, el cual es la principal fuente de aportación subterránea para las zonas agrícolas y rurales en la zona
- Los embalses usados en el modelo hídrico conjunto se considera que se mantienen con agua al rededor de 8 meses, infiltrando un porcentaje del volumen almacenado cada año, variando de acuerdo al número de bordos presente en cada microcuenca y las condiciones del suelo y vegetación
- La reducción del consumo hídrico se ve reflejado directamente en el abastecimiento agrícola y urbano, siendo posible con la tecnificación, ahorro y uso racional del recurso, encaminando la producción agrícola hacia aquellos productos que sea factible cosechar con el mayor beneficio económico y menor uso del recurso hídrico y hacia el fomento del cuidado en los hogares
- El cuidado de los recursos ambientales y en particular el recurso hídrico, depende no solamente de un esfuerzo institucional, sino de la participación privada y comunitaria, realizando diversas acciones de prevención, cuidado y rehabilitación de zonas de recarga y considerar que el agua utilizada en las partes bajas de la subcuenca son abastecidas por la recarga que se genera en las zonas demarcadas como de importancia crítica para la recarga de acuíferos (bordos, lomeríos y barrancos ubicados en la parte alta y media de la cuenca)

Todos los escenarios deben ser discutidos por distintos actores involucrados en el manejo de los recursos hídricos en la zona de estudio, los cuales tienen distinta presión e incidencia sobre los mismos, por lo que contar con un mayor número de escenarios analizados permitirá vislumbrar el panorama de sus recursos y como estos reaccionan ante las acciones externas de sus propios habitantes y tomadores de decisiones, recayendo en ellos el poder elegir qué futuro quieren construir para ellos y las generaciones venideras. Dichas

propuestas son analizadas y ampliadas en el Capítulo 4, donde son tomados en cuenta los actores locales que inciden en mayor medida en el uso del agua.

b. Sobre la gestión del agua a mediano y largo plazo a nivel regional

A nivel nacional, se prevé que para los años 2015 al 2030 la producción de alimentos necesitará incrementarse un 60 por ciento para cerrar las brechas de la nutrición (Figura 3.49), atender el crecimiento de la población y adaptarse a los cambios alimentarios en los próximos 30 años. Por lo que se espera de igual forma un incremento de la extracción del agua para la agricultura de un 14% en ese periodo. Gran parte del incremento corresponderá a las tierras cultivables de riego, cuya expansión se cree pasará de dos millones de km² a 2,42 millones de km². En un grupo de 93 países en desarrollo, se prevé que la eficacia de la utilización del agua para riego (es decir, la relación entre el consumo agrícola del agua y el volumen total del agua que se extrae) aumente de un promedio de 38% a un 42%.

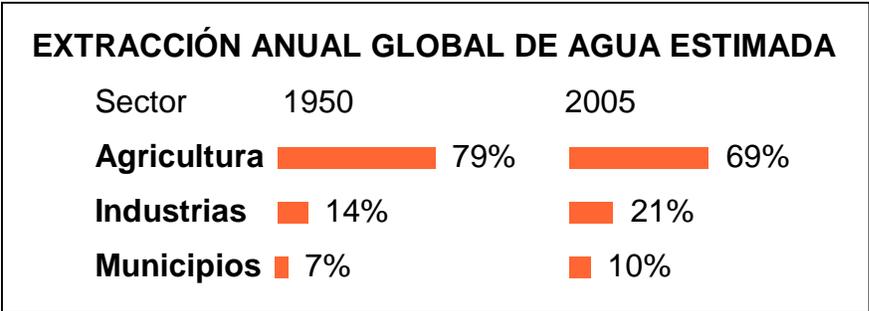


Figura 3.49. Variación del consumo de agua en los últimos 50 años a nivel mundial

Para mantener un buen manejo y gestión del agua en los próximos 20 años se deberá reducir la presión sobre los recursos, a la vez que deberá haber una mayor transferencia del recurso para otras aplicaciones, no agrícolas. El anterior incremento de la productividad obedeció a una inversión estratégica no sólo en infraestructura para la gestión del agua, sino en investigación y extensión agrícolas, sectores decisivos de la cadena de producción que hoy presentan una tendencia de aguda disminución.

Por tanto, para hacerles frente a los retos futuros, la inversión agrícola tiene que estimularse y utilizarse como apoyo a un conjunto estratégico que combina investigación, mejores prácticas agrícolas, creación de capacidad para los usuarios del agua y la promoción del comercio agrícola mundial.

El avance también dependerá de pasar de "una cultura de gestión del suministro" a otra de "gestión de la demanda". El modelo impulsado por el suministro fue la base de la mayor parte del desarrollo de los recursos hídricos en los últimos 50 años, cuando grandes instituciones nacionales o estatales establecieron vastas zonas de riego. La toma de decisiones comúnmente era vertical y burocrática, y les dejaba a los usuarios finales poca flexibilidad para definir sus pautas agrícolas, calendarios y programas de suministro de agua. Con frecuencia, un suministro de agua poco fiable obligaba al usuario a explotar en exceso los mantos freáticos.

Las amplias reformas iniciadas en el decenio de 1990 dieron lugar al paso de la responsabilidad a las asociaciones locales de usuarios y a un cambio en las estrategias de gestión impulsadas por la demanda. Hoy los agricultores cada vez participan más en la toma de decisiones y en los gastos de operación y mantenimiento de los sistemas de irrigación. Una de las principales prioridades de la modernización es evaluar las condiciones materiales del sistema de irrigación y determinar las opciones prácticas para avanzar hacia un servicio más fiable y flexible de suministro del agua y adaptarse a una demanda variable de servicios hídricos, pues a fin de cuentas, corresponde a los usuarios decidir qué nivel de servicio requieren y están dispuestos a pagar.

c. Sobre la mejora en la tecnología de riego

Los campesinos pobres ya han adoptado técnicas económicas, adaptadas a las condiciones locales, pues la agricultura de riego ha impulsado gran parte del incremento de la producción mundial de alimentos en los últimos decenios. Si bien

sólo el 20% de las tierras agrícolas del planeta cuentan con irrigación, en ellas se produce el 40% de nuestro suministro de alimentos. Los rendimientos más altos obtenidos en la agricultura de riego duplican con creces los rendimientos más altos de la agricultura de temporal, e incluso los cultivos de riego que consumen pocos insumos son más productivos que los de temporal que consumen muchos insumos.

Uno de los motivos por los que no puede seguir extendiéndose la agricultura de riego es el costo, la irrigación se ha considerado una de las actividades más subsidiadas del mundo, y algunos estudios ponen en duda el beneficio económico de la inversión en grandes sistemas de riego. El riego convencional también tiene costos ambientales elevados. Muchas veces se ha acusado a los sistemas de irrigación de gran intensidad de producir anegamiento y salinización del suelo, condiciones que hoy afectan al 30% de las tierras de riego. La salinización está reduciendo la superficie irrigada a una velocidad del dos por ciento anual. Por estos motivos, se considera para incrementar la contribución del riego a la producción de alimentos se necesita incrementar la eficiencia del riego.

Los agricultores adoptarán las técnicas para ahorrar agua si se les proporcionan los incentivos adecuados. Los principales métodos que se utilizarán en los países en desarrollo, donde suele abundar la mano de obra y faltar el capital, son el riego subterráneo y por goteo. Ambas técnicas dependen de una aplicación frecuente de pequeñas cantidades de agua, lo más directamente posible a las raíces de los cultivos. Una gran ventaja, sobre todo del riego por goteo, es que también incrementan las cosechas y reducen la salinización. Es más, como ninguno de estos métodos hace que el agua entre en contacto con el follaje, se pueden utilizar para aplicar agua salina a cultivos que no sean demasiado sensibles a las sales.

Algunos sistemas de riego subterráneo exigen mucha mano de obra y no necesitan de equipo costoso. En efecto, uno de los métodos más antiguos de riego es colocar vasijas de arcilla porosa en el suelo alrededor de los frutales y a lo

largo de las hileras de los cultivos. También se utilizan tubos porosos o perforados, que suelen servir para regar dos hileras de cultivos, una de cada lado del tubo. No se puede controlar el volumen del líquido que se aplica, aunque sí la frecuencia, ya que depende del tamaño de las perforaciones y de las características del suelo.

El riego por goteo es un sistema que funciona a presión para hacer circular agua por tubos perforados dispuestos sobre el suelo, y sólo se ha utilizado en una superficie muy reducida de la que es apta para producir con esta técnica. Aunque se trata de una tecnología relativamente sencilla, exige inversión y mantenimiento, ya que las perforaciones por donde sale el agua pueden obstruirse fácilmente. Sin embargo, los resultados obtenidos en muchos países demuestran que los agricultores que pasaron del riego por aspersión a sistemas de goteo han reducido su consumo de agua del 30 al 60 %. Como se dosifica con eficacia la aplicación de agua, y a menudo también la de fertilizante, suelen aumentar las cosechas.

d. Sobre la gestión moderna del uso del agua

Las instituciones responsables del riego necesitan desempeñarse mejor, tanto en lo económico como en lo ambiental, ya que la modernización del riego antes se consideraba un "proyecto de ingeniería": entubar los canales abiertos; utilizar sensores para aplicar automáticamente el agua; revestir los canales y nivelar el suelo. Además, la responsabilidad era competencia de los ingenieros.

Hoy ya es conocido que donde la gestión no puede hacer funcionar y mantener un sistema en óptimas condiciones, no basta restaurar la infraestructura material para mejorar la producción. Necesitan modificarse profundamente los acuerdos institucionales y los reglamentos para lograr que las instituciones responsables del riego se orienten al servicio a los agricultores y mejoren su desempeño económico y ambiental.

Esto quiere decir adoptar nuevas tecnologías y mejorar la infraestructura, pero también aplicar sólidos principios administrativos y promover la participación de los usuarios del agua en el funcionamiento y la gestión de los sistemas. La participación de los agricultores puede evitar muchos problemas frecuentes de los sistemas de irrigación administrados verticalmente: demolición de los canales que atraviesan el campo, robo de puertas, y sistemas rurales de drenaje descompuestos. Para lograr una gestión moderna del recurso hídrico a nivel regional, se requiere tomar en cuenta lo siguiente:

- **Condiciones del éxito.** De los estudios de la reciente modernización del riego en México se ha obtenido un conjunto de "condiciones del éxito". En primer lugar, la modernización es más eficaz si los usuarios del agua toman la iniciativa. Si bien todos los proyectos de modernización incluyen mejoras materiales, los resultados positivos también obedecieron a la capacitación impartida a los usuarios del agua para utilizar buenas prácticas agrícolas, calcular las necesidades de agua y programar el riego. Las personas que no estaban acostumbradas a pagar por utilizar el agua se dieron cuenta de que ésta no es gratuita, pues a la larga no se puede seguir contando con los subsidios del gobierno.
- **Devolución.** Si bien la gestión de los depósitos y de los sistemas de canales grandes tiene que correr a cargo de organizaciones profesionales, las organizaciones de usuarios casi siempre pueden encargarse de la gestión del sistema de distribución final en el ámbito de la aldea (lo que a menudo permite a las organizaciones de gestión "renacer" como prestadoras de servicios o empresas de servicios).

En México, las asociaciones campesinas han asumido la gestión de más del 85 por ciento de los 3,3 millones de hectáreas de tierras estatales de riego, lo que si bien acarreó el pago del agua para irrigar, éste no excedió el ocho por ciento del total de los costos de producción y la mayor parte de las asociaciones ya son independientes económicamente.

Además de la devolución del manejo del agua, muchos gobiernos están retirando gradualmente los subsidios al riego como medida de conservación del recurso y para promover una mayor eficacia económica. El cobro del agua también sirve para proteger los mantos acuíferos que están explotándose en exceso (recuadro). Una vez que se evalúe el índice de reposición de un acuífero, los derechos por extraer ese volumen pueden repartirse entre los campesinos que explotan el acuífero. Se puede hacer que los campesinos que extraigan más agua de la que les corresponde paguen precios muy altos o que compren derechos de extracción de agua en un mercado abierto donde otros usuarios vendan los derechos que les sobren.

- **Prioridades difíciles.** La gestión del riego debe contribuir a asegurar una utilización óptima del agua en la cuenca hidrográfica, en beneficio de todos los usuarios, comprendidos los consumidores urbanos, la industria, la agricultura, las autoridades de la energía hidroeléctrica, las zonas húmedas y las comunidades pesqueras de las zonas bajas. En muchas partes del mundo los centros urbanos sencillamente se han adueñado del agua de las zonas periurbanas que consideran de su propiedad, privando a los campesinos locales de sus medios de subsistencia. En los demás lugares, hay intensas negociaciones entre las autoridades municipales y los propietarios de las tierras rurales.

Donde escasee el agua, habrá que establecer las prioridades: la más pura debería destinarse al consumo doméstico, el agua tratada al riego agrícola, y el agua de menor calidad al riego de las plantaciones forestales y los pastizales.

III.6. Literatura citada

- Álvarez, J.; Sánchez, A.; Quintas, L. 2005. SIMPA, a GRASS Based Tool for Hydrological Studies. *International Journal of Geoinformatics*, Vol.1, No. 1, March 2005. pp. 13-20. USA.
- Andreu, J. 1984. *Aplicación del método de autovalores al análisis de sistemas con uso conjunto de recursos hídricos superficiales y subterráneos*. Universidad Politécnica de Valencia. 206p. Valencia, España.
- Andreu, J., Capilla, J., y Sanchís, E. 1996. AQUATOOL, a generalized decision-support system for water-resources planning and operational management. *Journal of Hydrology*. 37p. Valencia, España.
- Andreu, J.; Solera, A.; Capilla, J.; Blanco, L. 1997. AQUIVAL. Modulo para el pre-proceso y simulación de acuíferos. <http://www.upv.es/aquatool/>. Valencia, España.
- Andreu, J.; Solera, A.; Capilla, J.; Ferrer, J. 2007. *Modelo SIMGES de Simulación de la Gestión de Recursos Hídricos, incluyendo Utilización Conjunta. Versión 3.00. Manual del Usuario*. Ed. Universidad Politécnica de Valencia. Valencia, España.
- AQUATOOL DMA. 2007. *Manual de usuario, español. Directivas de Manejo del Agua de la Unión Europea en el sistema AQUATOL DMA*. <http://www.iiama.upv.es:8080/aquatool/aquatooldma>. Universidad Politécnica de Valencia. Valencia, España.
- AQUIVAL. 2007. *Módulo para el pre-proceso y simulación de acuíferos*. <http://www.upv.es/aquatool/>. Valencia, España.
- Brooks, K. N.; Folliott, P. F.; Gregersen, H. M.; Thames, J.L. 1993. *Hydrology and the Management of Watersheds*. Iowa State University Press. 392 p. Iowa, USA.
- Buras, N. 1967. *Operation of a complex water resources utilization system*. Conference of water for peace, Washintong, D.C. USA.
- Cabezas F.; Estrada L.; Estrela M. 1999. *Algunas contribuciones técnicas del Libro Blanco del Agua en España*. *Ingeniería Civil*, nº 115, pp. 79-96. España.

- Cochran, G. F. 1970. *Analysis of ground and surface water utilization in urbanized arid areas. Technical Report Series of Hydrology and Water Resources. University of Nevada. Nevada, USA.*
- Cotler, H. 2004. *La cuenca Lerma-Chapala: algunas ideas para un antiguo problema. Gaceta Ecológica del Instituto Nacional de Ecología. p 4. México, DF.*
- CONAGUA. 2008. *Programa Nacional Hídrico 2007-2012. Comisión Nacional del Agua. http://www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/Noticias/PNH_07_08.pdf. 163p. México.*
- CONAGUA. 2007. *Estadísticas del agua en México. Comisión Nacional del Agua. <http://cna.gob.mx>. 248 p. México.*
- Davies, F. M.; Leonard, R. A.; Kinsel, W. G. 1990. *GLEAMS, user manual v.1.8.55. USDA-ARS. SWRL. Tifton GA. USA. 38 p.*
- Estrela, T. 1993. *Metodologías y recomendaciones para la evaluación de recursos hídricos. Centro de estudios hidrográficos del CEDEX. España.*
- Grant, W. E.; Marín, S. L.; Pedersen, E. K. 1997. *Ecología y Manejo de Recursos Naturales: Análisis de sistemas y simulación. 315 p. México.*
- HEC-HMS. 2000. *Hydrological Modeling System. US Army Corps of Engineers. <http://www.hec.usace.army.mil/software/hec-hms/>. USA.*
- IEEG. 2007. *Instituto de Ecología del Estado de Guanajuato. Gobierno del Estado de Guanajuato. <http://ecologia.guanajuato.gob.mx/prevencion/licencia.php>. México.*
- Klemes, V. 1998. *Hidrología y manejo de recursos hídricos. Congreso de recursos hídricos. 376p. Ottawa, Canadá.*
- Leonard, R. A.; Kinsel, W. G.; Still, D. A. 1987. *Groundwater Loading Effects of Agricultural Management Systems (GLEAMS). Trans. of the ASAE, 30,1403-1418 pp. USA.*
- López, J. 1993. *Restitución de datos de aforo al régimen natural. Conceptos y métodos para la planificación hidrológica. Editorial CIMNE. Barcelona, España.*

- Maass, A.; Hufschmidt, M. M.; Dorfman, R.; Thomas, H. A.; Marglin, S.; Fair, G. M. 1982. *Design of water resources systems*. Harvard University Press. 274p. Cambridge, Massachusetts, USA.
- M.V.Z. Ignacio Agustín Soto Gutiérrez. *Presidente de la Asociación de Ganaderos Unidos de Allende, Gto. Tel Particular: (415) 155 80 48.*
- NOM-011 CNA-2000. *Norma Oficial Mexicana sobre la conservación del recurso agua, que establece las especificaciones y el método para determinar la disponibilidad media anual de las aguas nacionales. Diario Oficial de la Federación. SEMARNAT 2000. 17p. México.*
- Olaya, F. V. 2002. *Integración de modelos computacionales geomorfológicos, hidrológicos y selvícolas para el desarrollo de soluciones SIG específicos en hidrología forestal de pequeñas y medianas cuencas vertientes españolas. Tesis Doctoral. Universidad Politécnica de Madrid. Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Montes. 188 p. España.*
- Ortega, A. 2000. *Seguimiento del estudio hidrogeológico y modelo matemático del acuífero Río Laja - San Felipe, Guanajuato. Comisión Estatal del Agua de Guanajuato. Lesser y asociados, S.A. de C.V. 58p. Guanajuato, México.*
- Ortega, G; Campos, L.; Rojas, F. 2004. *Groudwater quality at the Independence basin in central Mexico: Impacts for regional development. 22p. San Miguel de Allende, Gto.*
- Ortega, A. 2008. *Principios de Hidrología Subterránea. Curso de maestría en Gestión Integrada de Cuencas. 47p. Querétaro, México.*
- Paredes, J.; Solera, A.; Andreu, J. 2007. *Modelo Gescal para la simulación de la calidad del agua en sistemas de recursos hídricos. Manual de usuario. Versión 1.0. Ed. Universidad Politécnica de Valencia. Valencia, España.*
- PMI-STP. 2009. *Formación de una línea de base científica para el manejo integrado de la subcuenca específica Támara-Picachos en San Miguel de Allende, Guanajuato. Abreviado como Plan para el manejo integral de la subcuenca Támara-Picachos. 582p. Guanajuato, México.*
- Quintas, L. 1996. *La base de datos hidrológicos "HIDRO" del CEDEX. Ingeniería Civil, 104. pp. 117-126. España.*

- Ruiz, J. 1999. *Modelo distribuido para la evaluación de recursos hídricos. Monografías CEDEX M67. España.*
- SARL, 2010. *Organización Civil: Salvemos al Río Laja. San Miguel de Allende, Gto. <http://www.rio-laja.org/espanol/cuenca/cultura.htm>*
- Schellekens, J.; Scatena, F. N.; Bruijnzeel, L. A.; Wickel, A. J. 1999. *Modelling rainfall interception by a lowland tropical rain forest in northeastern Puerto Rico. Journal of Hydrology. 225: 168-184 pp. Puerto Rico.*
- SIMGES. 2007. *Manual de usuario SIMGES. Modelo de simulación de la gestión y el manejo hídrico, incluyendo el uso conjunto del agua superficial y subterránea. Instituto de Ingeniería del Agua y Medio Ambiente. <http://www.iiama.upv.es:8080/aquatool/Members/asolera/SIMGE2usr300.pdf> f. 106p. Universidad Politécnica de Valencia. Valencia, España.*
- Sánchez, S., Andreu, J., Solera, A. 2001. *Gestión de recursos hídricos con decisiones basadas en la estimación de riesgos. Editorial Universidad Politécnica de Valencia. Valencia, España.*
- Solera, A. 2003. *Herramientas y métodos para la ayuda a la decisión en la gestión sistémica de recursos hídricos: aplicación a las cuencas de los ríos Tajo y Júcar. Tesis doctoral de la Escuela Técnica Superior de Caminos, Canales y Puertos. Universidad Politécnica de Valencia. Valencia, España.*
- Steyaert, L. T. 1993. *A perspective on the state of environmental simulation modeling. Environmental Modeling with GIS. Oxford University Press. 16-30 pp. Pensilvania, USA.*
- Témez, J. 1977. *Modelo matemático de transformación precipitación-aportación. ASINEL.*
- USDA. 1996. *United States Department of Agriculture (USDA). Agricultural Research Service and Texas Agricultural Experiment Station. Temple, Texas. USA. <http://www.wcc.nrcs.usda.gov/water/factsheets/epic.html>*

CAPÍTULO 4

MANEJO DEL AGUA Y ACTORES EN LA SUBCUENCA ESPECÍFICA TÁMBULA-PICACHOS, GUANAJUATO

IV.1. Introducción

En este capítulo se describen los espacios en donde intervienen actores que desarrollan sus actividades en las zonas de recarga y de mayor demanda de agua dentro de la subcuenca. Se consideran las zonas prioritarias de recarga de acuerdo a Córdova et al. (2010) a los ejidatarios presentes en estas zonas y los productores agropecuarios en las zonas de riego intensivo.

El tema del manejo de los recursos naturales, considerando la dinámica de una cuenca hidrográfica (más conocido como gestión de cuencas) es una opción para la articulación de la participación de los usuarios de una cuenca sobre los recursos naturales presentes en ella (Manco, 2005). Las ciencias naturales y sociales han introducido propuestas conceptuales y metodológicas destinadas a la solución de distintos conflictos y problemas que aquejan nuestros pueblos desde distintas perspectivas y enfoques (tanto conceptuales como metodológicos).

Por tanto, diferentes instituciones gubernamentales y privadas han venido adoptando estas formas de abordar la realidad ambiental y social con nuevos esquemas teóricos y operativos. Desde esta visión, la percepción, el significado, la cultura, la educación y la participación comunitaria se han convertido en parte de los componentes fundamentales para los planes de desarrollo en la mayoría de los países del mundo, formando parte de un lenguaje común entre políticos, planificadores, ejecutivos, investigadores y técnicos (Ojeda, Cely y Marín, 1991).

Desde lo regional, la cuenca Lerma-Chapala (53,567 km²) es un espacio complejo de 15 millones de habitantes, que concentra parte importante de la industria y la producción agrícola del país, enfrentando condiciones de fuertes a severas sobre escasez de agua y degradación ambiental (contaminación, erosión, pérdida de biodiversidad, entre otras), derivadas de la falta de acuerdos institucionales y sociales para el uso adecuado de este territorio común (SRL,

2010). Tras la industrialización y crecimiento acelerado de las ciudades del Bajío, y la demanda de agua, se empiezan a explotar los afluentes del Río Lerma y en los estados de Guanajuato y Michoacán se comienza a retener el flujo de agua, con lo que se provoca que circule menos agua de la normal en la cuenca.

Por el propio tamaño y complejidad del territorio se dificulta la resolución de sus problemáticas actuales, por lo que es necesario contar con una visión integral que incluya aspectos sociales, económicos y ambientales, aterrizados en los espacios particulares que componen las subcuencas, en las cuales resulta más factible involucrar a los actores para alcanzar acuerdos y crear soluciones de conjunto.

Una de las organizaciones no gubernamentales (ONG's) que trabaja a nivel regional es la Red Lerma, la cual tiene la misión de lograr la recuperación de la cuenca Lerma-Chapala y encaminarla hacia un desarrollo sustentable, a través de la Gestión Integrada de sus Recursos Hídricos (GIRH) con la participación activa y determinante de aliados estratégicos y grupos de interés mediante el uso eficiente y sustentable de los recursos hídricos (Figura 4.1). Por otro lado, la Fundación Cuenca Lerma Chapala Santiago es un organismo no gubernamental que trabaja a nivel regional, dedicado a la investigación y análisis ecológico e integrado por académicos, periodistas y asociaciones afines.

Por último, la organización Salvemos al Río Laja es la ONG regional más cercana a la zona de estudio, esta ONG tiene la misión de restaurar y conservar los ecosistemas de la cuenca del Río Laja (a la cual pertenece la subcuenca específica Támbula-Picachos), de forma tal que sirva como modelo para otras áreas de México y el mundo en beneficio de la vida silvestre y los habitantes presentes y futuros. Para poder lograr tal objetivo cuenta con apoyo técnico, educativo, económico y la supervisión de comunidades y ONG's, dando asesoría a dependencias y particulares. En pro de la restauración y conservación de la Cuenca del Río Laja, la organización ha logrado integrar a una serie de organizaciones, que participan en la promoción de técnicas y métodos en restauración de ríos y arroyos, con programas de capacitación en las

comunidades que viven en las riberas de los ríos y en las zonas de montaña. Entre estas organizaciones que atienden al manejo integral del agua se encuentran:

- Cuerpos de Conservación de Guanajuato (CCG)
- Asesores Agropecuarios para el campo (AAC)
- Area Natural protegida Peña Alta A.C. (PA)
- Grupo Desarrollo Rural de Sierra Gorda (SG)



Figura 4.1. Organizaciones no gubernamentales que trabajan en la zona de estudio

IV.2. El manejo del agua y la subcuenca

IV.2.1. Conflictos por el agua

En ciertas regiones del país existen problemas respecto a la competencia sobre el uso y manejo del recurso hídrico (Figura 4.2), expresados a manera de conflictos, con causas como el rechazo social a la imposición sobre el uso del agua por parte de una política gubernamental o el pago de derechos de uso y explotación. En el caso específico del estado de Guanajuato (como parte del medio Lerma), se tiene una política de “no almacenamiento” del agua superficial, con el objetivo de llevar la mayor cantidad de agua escurrida posible al Lago de Chapala y así contribuir a la recuperación de los niveles de agua en el lago. Esta limitante pactada entre los estados que conforman la cuenca Lerma-Chapala da pauta a la negativa por parte de autoridades federales, estatales y municipales

para la construcción de nuevas represas o presas de mampostería que retengan agua de lluvia con fines de explotación hídrica.

Por tanto, es importante el establecimiento de organismos a nivel de cuenca, que permitan concertar y discutir los conflictos concernientes al manejo del agua, mediante la generación de mecanismos de negociación entre los instrumentos políticos, los tomadores de decisiones y los usuarios de servicios en torno al agua, con el fin de propiciar la paulatina atenuación de la marcada diferenciación en escala e intensidad de los conflictos por el agua. Para lograr tal fin, se requiere que los conflictos tomen en cuenta a todos los actores (o en su defecto a la mayoría), a la mayoría de las variables regionales y locales que son de importancia en la generación de las “políticas públicas de manejo del agua”, con el fin de lograr su instrumentación.

Mientras que en algunas regiones de la subcuenca se practican agricultura de producción intensiva mediante técnicas de riego eficientes (Figura 4.2), en otras zonas el riego no es tan eficiente, siendo por aspersión, rodado, por cintillas y presurizado los principales tipos de riego tecnificado usados en la zona de estudio. Sin embargo, existen otras zonas de la subcuenca que solo hacen uso de agua de lluvia para la producción de sus cosechas de temporal, siendo la mayoría de estas de producción para autoconsumo con un bajo rendimiento de sus cosechas.

La demanda actual de agua para abastecimiento urbano se ha visto mejorada en la zona de estudio, al dotar de agua entubada procedente de fuentes subterráneas a las localidades de la subcuenca (Figura 4.2), permitiendo que el suministro del agua sea constante durante el año, lo cual no sucedía hace 10 o 15 años, cuando las fuentes de agua eran el agua de lluvia captado en el sistema de bordería y los manantiales de la zona de estudio. Actualmente estas fuentes de abastecimiento han sido abandonadas, siendo el agua entubada la principal fuente de abastecimiento en los hogares de las localidades. Finalmente, el abastecimiento de agua para la industria de la zona se realiza de igual forma que el abastecimiento urbano, mediante la extracción de agua de pozos profundos.



Figura 4.2. Distinta intensidad en el uso del agua

La Subcuenca específica Tábula-Picachos se encuentra inmersa dentro de la cuenca del Lerma-Chapala, una de las principales cuencas del país por su desarrollo económico y el valor agregado que genera. Se trata de una región con altos niveles de actividad económica, cuyo crecimiento se ha realizado (en gran parte) a costa de sus recursos naturales, especialmente del agua y el suelo (Caire, 2003). Por tanto, el INE (2002) expone que los principales problemas ambientales que se suscitan al interior de la cuenca (y en particular en la Subcuenca Tábula-Picachos), los cuales inciden en la generación de conflictos (atendiendo a diversos intereses), están relacionados con los siguientes aspectos:

- Escasez del agua en proporción con los actuales niveles de consumo, especialmente por parte de la actividad agrícola
- Sobreexplotación de los acuíferos subterráneos de la región, utilizada principalmente para consumo agrícola, urbano e industrial
- Elevados niveles de contaminación de origen agrícola, industrial y urbano y ausencia o insuficiencia de infraestructura para el tratamiento de aguas residuales y mantenimiento de los cuerpos de agua
- Cambios acelerados en el uso del suelo de bosque a tierras de cultivo y ganadería
- Degradación de suelos: declinación de la fertilidad y erosión hídrica
- Distinta intensidad en el uso del agua entre los agricultores y ganaderos de producción intensiva y los de producción de temporal, entre la zona urbana de San Miguel de Allende y las demás localidades de la subcuenca

Conforme las ciudades utilizan más agua para su población en acelerado crecimiento, la agricultura debe mejorar considerablemente la eficacia y productividad del uso que hace del agua. La productividad de las tierras de regadío es aproximadamente tres veces superior a las de temporal, sin embargo, más allá de este dato general, existen muchas razones para destacar la función del control de los recursos hídricos en la agricultura.

La inversión en la mejora de los regadíos supone una garantía frente a las variaciones pluviométricas y estabiliza la producción agrícola, impulsando la productividad de los cultivos y permitiendo que los agricultores diversifiquen su actividad (Figura 4.3). Ello tiene un reflejo en un incremento y una menor volatilidad de los ingresos agrícolas. La productividad en la zona de estudio varía respecto a las zonas medias y bajas de la subcuenca, presentándose producción intensiva y semi-intensiva en las zonas bajas y producción de temporal en zonas medias de la subcuenca. Los principales productos agrícolas de temporal son maíz, frijol, calabaza, entre otros (PMI-STP, 2009).



Figura 4.3. Distintos tipos de productividad en el campo regional

En cuanto a lo local, un sistema de producción predecible y estable tiene un efecto positivo en los proveedores de servicios de un determinado sector

productivo, incrementando el efecto multiplicador a la inversión no agrícola. Además, la inversión en el fomento del cuidado del agua revaloriza la tierra. Las obras en pequeña escala para el acopio de aguas, el riego y el drenaje realizadas con mano de obra local son viables económicamente y, una vez que se ha instalado la infraestructura básica con financiamiento público, también se hace viable una mayor inversión privada. Entre los efectos indirectos adicionales del fomento del cuidado del agua se encuentran la mejora de nutrientes en el suelo a lo largo del año, un mercado laboral rural más activo, una menor migración y una menor presión agrícola sobre las tierras marginales.

IV.3. Metodología

IV.3.1. Antecedentes metodológicos del manejo de recursos en la subcuenca específica Támula-Picachos

El abordaje metodológico de la modelación hidrológica de las propuestas de manejo alterno del agua y la descripción de actores incidentes en el uso local del agua tiene como base tres estudios importantes:

- La Línea de base científica para el manejo integrado de la subcuenca específica Támula-Picachos, Gto.
- Los planes rectores de producción y conservación (PRPC) de las nueve microcuencas que forman a la subcuenca Támula-Picachos, Gto.
- Los proyectos de tesis de compañeros de la maestría (de generaciones pasadas y la propia), referentes al manejo de los recursos ambientales, económicos y sociales al interior de la zona de estudio

La línea de base científica reconoce las características actuales de la estructura biótica y física de la subcuenca, organizando un proceso de gestión a escala local (a nivel de microcuenca mediante la elaboración de los nueve planes rectores de producción y conservación de las microcuencas, PRPC),

estableciendo un plan de manejo integrado de la subcuenca en función de las necesidades de conservación, prevención de riesgos naturales y las posibilidades de esquemas productivos y de pago de servicios ambientales entre las áreas rurales y urbanas de la subcuenca.

Por otro lado, los proyectos de tesis realizados dentro de la subcuenca o en alguna de las microcuencas que la conforman están dirigidos a un abordaje de múltiples variables ambientales, económicas y sociales en la zona, desde la descripción de sistemas productivos y el tejido social presente en las localidades de la subcuenca, así como distintos tipos de estudios sobre la degradación ambiental y antrópica producto del desarrollo de la región.

En el caso de este proyecto de tesis, como aproximación metodológica se realiza una descripción de los actores involucrados en el manejo conjunto del agua en la subcuenca, tomando como vínculo la modelación hídrica conjunta (y las propuestas de manejo que de ella se generaron) y aquellos actores que inciden en las zonas de recarga y las zonas de explotación intensiva, de donde los productos que resaltan son:

- La espacialización de las zonas de recarga y extracción
- Identificación de los actores incidentes en estas zonas
- Descripción del manejo dado a las zonas de recarga y extracción

En este sentido, los actores vinculados al manejo del agua en mayor intensidad son los relacionados con las actividades ganadera y pecuaria, donde para poder tener un panorama general del manejo del agua en la subcuenca, se consideró una técnica de investigación: la entrevista semi-estructurada, valiéndose de la detección y el acercamiento con informantes clave.

Retomando la definición de entrevista y su importancia para la construcción del abordaje metodológico de este capítulo, a la entrevista se le considera como una de las principales técnicas de la investigación social, la cual se fundamenta en un abordaje cualitativo de una experiencia de trabajo de campo. En este sentido,

la entrevista responde a una determinada experiencia o un conocimiento ganado en particular, lo que le permite describir la complejidad real característica de distintos contextos y situaciones en las que es practicada.

La entrevista más que buscar información sobre hechos, busca un discurso local que valore, relacione y contraste con otros puntos de vista, de tal forma que el informante sea libre de expresar su particular punto de vista sobre determinada experiencia. Es por tanto que el preguntar a través de una entrevista no es pedir a los informantes que hagan el trabajo o resuelvan nuestros problemas, sino establecer un medio a través del cual sea posible ir y venir entre distintos universos culturales.

Al realizar entrevistas informales a distintos informantes clave, estos expresan libremente su opinión sobre el estado del manejo del agua en la zona, sus virtudes y deficiencias en el uso y explotación tanto del agua superficial como subterránea, así como la relación entre sus actividades productivas y usos y costumbres particulares dados al manejo del agua en la zona. Al no encontrarse adscritos a algún tipo de organización, la apertura de sus opiniones es libre de cualquier represalia producto de cualquier otra técnica donde son concentrados distintos actores.

Debido a las peculiaridades que impone el propio medio rural o el espacio urbano a la observación participante, con la entrevista semi-estructurada existe un sin número de diferencias y semejanzas entre los tipos de espacios de trabajo. En ambos contextos, de segmentación social y diversidad de roles, se requiere una selección de informantes específicos, ajustados al tema que sea objeto de investigación.

En el caso específico del manejo conjunto del agua en la subcuenca Támbula-Picachos, los informantes clave son acotados a aquellos que inciden en las zonas de recarga y el uso que dan a este territorio, respecto al cuidado y mantenimiento de bordos, reforestación y construcción de obras de Conservación de Suelo y Agua (CONSA). Por otro lado, se encuentran aquellos actores que

inciden en zonas con una mayor demanda de agua, identificando aquellas zonas donde se extrae una gran cantidad de agua desde pozos profundos para la agricultura de riego y la cría de ganado, principalmente.

Los principales informantes clave en los que son utilizadas las entrevistas semi-estructuradas son ejidatarios y pequeños propietarios dentro de las zonas prioritarias para la recarga de lluvia, los productores (agricultores y ganaderos); así mismo, se tuvo acercamiento con representantes de organizaciones civiles en la zona de estudio y funcionarios de distintos órdenes de gobierno que inciden indirectamente en el manejo del agua.

En el proyecto de tesis se realizaron un total de 14 entrevistas semi-estructuradas a informantes clave de los ejidos que se corresponden con las cuatro zonas prioritarias para la recarga de agua de lluvia hacia los acuíferos que se relacionan con la subcuenca Tábula-Picachos; entre los informantes clave se encuentran *avecindados*, *comisariados* y *delegados ejidales*.

Se realizaron cinco entrevistas en la zona prioritaria no.1, tres en la zona prioritaria no. 2, dos en la zona prioritaria no. 3 y cuatro en la zona prioritaria no. 4. Por otro lado, se realizaron 4 entrevistas en las zonas de mayor demanda hídrica, considerando dos informantes clave relacionados con la producción agrícola intensiva y dos informantes relacionados con la producción ganadera intensiva, los cuales se desarrollan en la zona norte de la subcuenca principalmente, en la zona de *rancherías*.

Así mismo, la técnica del “mapa social” se utilizó para modelar las relaciones sociales en torno al manejo del agua en la zona de estudio, tomando como base las entrevistas realizadas a distintos actores, las cuales sirvieron como principal fuente de información en la descripción de los actores y las relaciones que se dan entre estos y el manejo del agua dentro de la subcuenca Tábula-Picachos, de acuerdo a como se presentan en el mapa social de la Figura 4.6.

El mapa social (Alberich, 2007) es una representación gráfica de los grupos y organizaciones colectivas en una zona de estudio, donde se plasma de forma gráfica la intensidad de las relaciones que se suscitan respecto al manejo actual del agua en una cuenca desde lo local, lo regional y lo nacional.

Esta representación gráfica (Figura 4.6) se enfoca en aquellos actores que desde la formalidad o la informalidad inciden en el uso y manejo del agua en la subcuenca, lo que permite identificar las relaciones de poder e intereses que inciden en el uso del agua en la zona, así como la intensidad de las relaciones entre los actores y el territorio demarcado por la subcuenca Tábula-Picachos.

En el mapa social se representan tres tipos de conglomerados de actores: aquellos relacionados con imágenes de poder, grupos de población y organizaciones o asociaciones, los cuales se reparten de distinta forma a cada escala de observación.

IV.3.2. Escenarios de manejo simulados

Retomando la definición de escenario del Capítulo I, un escenario de manejo hídrico conjunto se define como aquella representación plausible del manejo hídrico en el futuro, el cual se caracteriza por un cierto número de variables y se construirá a partir de la evolución histórica de tendencias de manejo y la incidencia de factores de cambio en el manejo actual, que detonen un efecto favorable hacia la conservación y explotación sustentable de los recursos hídricos en la subcuenca específica Tábula-Picachos.

En este sentido, los escenarios simulados que fueron descritos en el Capítulo III (Figura 4.4) contemplan dos extremos: el aumento de las extracciones a mediano y largo plazo y el aumento de las recargas por disminución de la demanda y aumento de la capacidad de almacenamiento. Fueron simulados cuatro escenarios de manejo alterno, en los cuales se observa la incidencia de actores en el cuidado del agua superficial y subterránea.

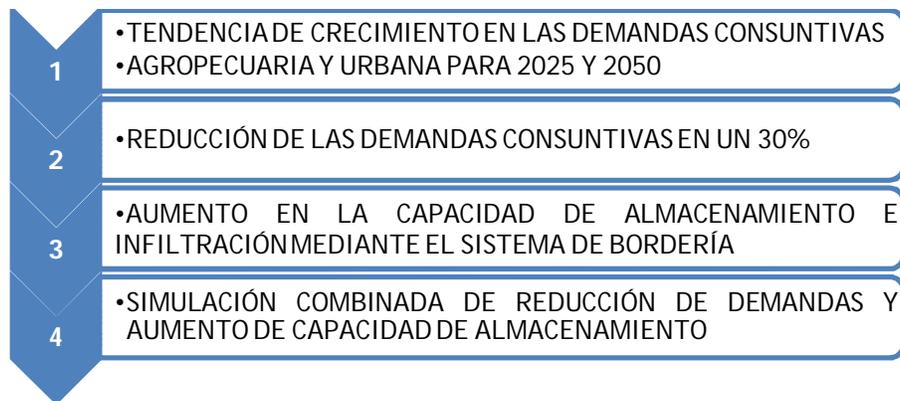


Figura 4.4. Escenarios de manejo alternativo en la Subcuenca Tábula-Picachos

Para la integración de la modelación hidrológica conjunta, el planteamiento de escenarios de manejo y el rol que desempeñan los actores (desde lo local) en el manejo del agua en la subcuenca, se trabajó con los actores ya mencionados que inciden en los escenarios de manejo simulados en AQUATOOL DMA. En la realización de las entrevistas semi-estructuradas (Anexos) se tomaron en cuenta distintos aspectos o indicadores relacionados con los escenarios y propuestas de manejo planteados, contemplando:

Aspectos Ambientales

- Cambio en el uso del suelo y la vegetación
- Conservación de la base de recursos en la zona
- Aprovechamiento sustentable

Tendencia de la demanda agropecuaria

Tendencia del crecimiento urbano

Aspectos Socio-Económicos

- Tecnificación y Optimización
- Servicios ambientales y cultura del cuidado del agua

Cambio de métodos de riego

Optimización del uso del agua subterránea

Aumento de los niveles piezométricos

Acción y participación comunitaria

Relación sistémica y dependencia entre el campo y la ciudad

Dichos aspectos refuerzan la decisión de tomar como informantes clave a aquellos actores presentes en zonas donde se desarrollan importantes actividades económicas (agropecuarias) y aquellos presentes en zonas donde las organizaciones civiles y distintos estudios apuestan por la conservación y cuidado ambiental para la recarga de los acuíferos en la zona de estudio.

IV.4. Resultados

IV.4.1. Actores e informantes clave

En la identificación de actores que, de manera local, se encuentran directamente involucrados en el manejo del agua en la Subcuenca Támbula-Picachos, se pueden listar los siguientes grupos:

- Agricultores (con sistemas de riego y de temporal)
- Ganaderos (con distintos sistemas de producción)
- Apicultores (con producción semi-intensiva y de subsistencia)
- Ejidatarios, avecindados y pequeños propietarios
- Habitantes (de localidades urbanas y rurales)
- Industrias auto-abastecidas (urbanas y rurales)

Del listado anterior, en el presente proyecto de tesis solo nos avocamos a la descripción del manejo realizado por agricultores y ganaderos en la zona de escurrimiento no. 1, que incide en el acuífero San Miguel de Allende y el manejo dado por ejidatarios y avecindados en las zonas consideradas como de recarga para los acuíferos, pues son precisamente estos dos grupos de actores los que realizan un mayor uso de volúmenes de agua en la zona de estudio.



Figura 4.5. Entrevista a ejidatarios en las zonas consideradas como de recarga en la subcuenca Tábula-Picachos

Una lista más general de los grupos de actores incidentes en la gestión y el manejo del agua en la subcuenca se presenta a continuación, los cuales contribuyen al enriquecimiento contextual e informativo sobre el manejo dado a los recursos presentes en la subcuenca Tábula-Picachos (Figura 4.6).

- Académicos de la Maestría en Gestión y Manejo Integrado de Cuencas de la Universidad Autónoma de Querétaro y otras universidades
- Funcionarios públicos de distintas dependencias a nivel Federal, Estatal y Municipal (CONAGUA, CEAG, INE, SEMARNAT, IMTA, IEE, COTAS, SAPASMA , otros)
- Representantes del Comité de Subcuenca y Microcuencas
- Representantes de Organizaciones civiles (Salvemos al Río Laja)
- Representantes de la Asociación Ganadera Local
- Representantes estatales y comunales de Pesca y Agricultura
- Ex-funcionarios municipales
- Delegados ejidales y comunitarios
- Ejidatarios, avocindados y propiedad privada
- Inversionistas privados
- Sociedad civil organizada
- Consultores agrícolas

Como ya se mencionó, en el mapa social de la Figura 4.6 se representan tres tipos de grupos de actores: los relacionados con imágenes de poder, los grupos de población y las organizaciones o asociaciones, los cuales interactúan con el manejo del agua en la subcuenca desde distintas formas y escalas de intervención. Además, se identifican tres tipos de relaciones básicas (débil, fuerte y normal) entre los grupos de actores y su relación con el manejo del agua en la subcuenca.

Adicionalmente, se tienen dos tipos de sentido o dirección entre las relaciones, con lo que se representa el flujo de información entre la zona de estudio y los grupos de actores. Si bien en algunos casos se presenta reciprocidad en el flujo de información, en otros casos solo se observa extracción (inmobiliarias, COTAS, cadenas productivas, etc.) o acumulación de información (académicos, dependencias de gobierno, etc.).

Las relaciones formales entre actores se caracterizan por realizarse entre estructuras y sistemas oficiales definidos para la toma de decisiones, mediante la comunicación y el control, con los cuales es posible definir de manera explícita dónde y cómo se vinculan personas y actividades. De acuerdo a Idalberto Chiavenato (2007), la formalidad comprende la estructura organizacional, las directrices, normas y reglamentos, las rutinas y procedimientos y, en general, todos los aspectos que expresan cómo la organización pretende que sean las relaciones entre los órganos formales y los agentes externos.

Por otro lado, se encuentran las organizaciones informales entre distintos grupos de actores, los cuales se definen como medios no oficiales que de cierta forma influyen en la comunicación, la toma de decisiones y el control que son parte de la forma habitual de hacer las cosas en una organización y en la toma de decisiones. Sin embargo, cabe resaltar que aunque prácticamente todas las organizaciones tienen cierto nivel de formalización, también todas las organizaciones, tienen un cierto grado de informalización.

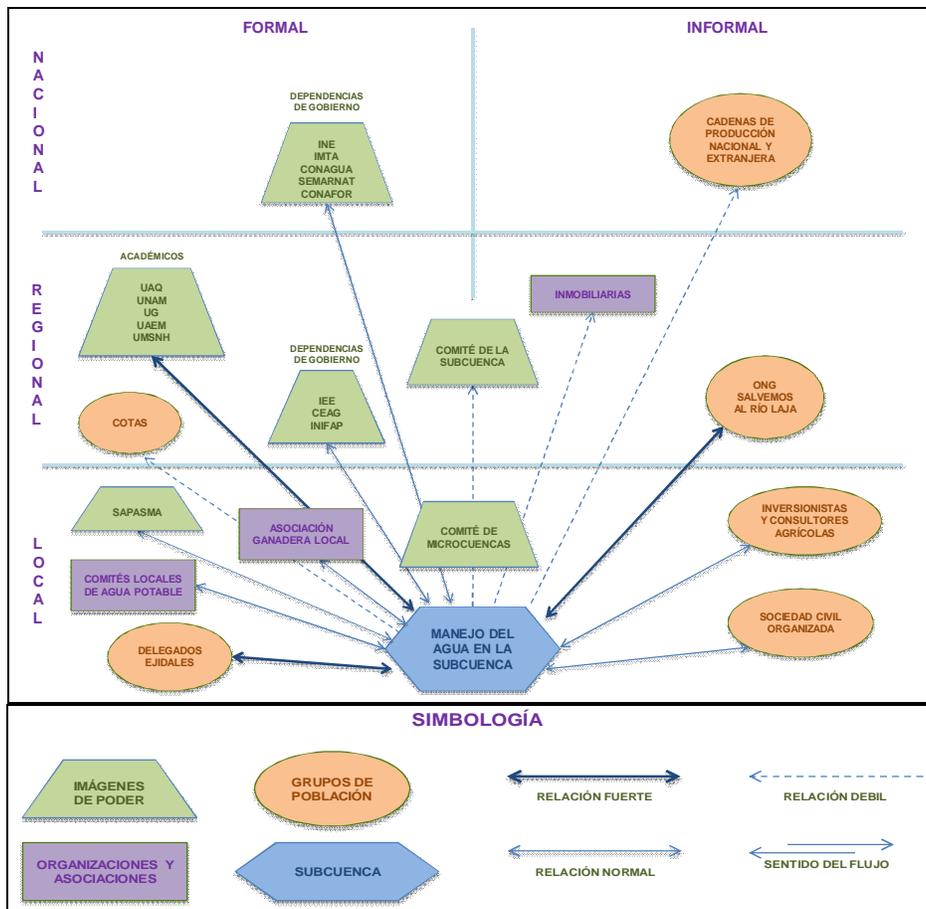


Figura 4.6. Mapa social de actores incidentes en el manejo del agua en la subcuenca Tábula-Picachos

Del mapa social de la figura anterior podemos describir tres tipos de escalas en las que interactúan distintos tipos de actores en el manejo conjunto del agua en la subcuenca y dos niveles: la formalidad y la informalidad de las intervenciones. Entre los actores formales que inciden de manera local se encuentran:

1. El sistema de agua potable y alcantarillado de San Miguel de Allende (SAPASMA), el cual se define como un organismo formal que de manera local (municipal) tiene a cargo el agua para los usos: doméstico, mixto, comercial, industrial y de servicios, así como el agua tratada. Este sistema es el responsable de la prestación de los servicios de agua potable y alcantarillado en los centros de población y comunidades del municipio (y por consiguiente de la subcuenca), auxiliándose en los comités del agua y saneamiento locales

2. Los comités de agua potable, que funcionan como administradores locales del manejo dado al agua extraída en los pozos de las localidades, encargándose de la dotación, administración y mantenimiento del sistema hidráulico y tanques de almacenamiento
3. Las asociaciones ganaderas locales, donde son representados los ganaderos productores de leche y carne de la subcuenca y del municipio de San Miguel de Allende principalmente
4. Los comisariados ejidales, repartidos en las cuatro zonas prioritarias de recarga, que representan de manera formal la toma de decisiones en sus correspondientes ejidos presentes en la subcuenca
5. El comité de microcuencas, conformado por un representante de cada una de las nueve microcuencas que integran la subcuenca Támbula-Picachos, el cual funge como el comité que de forma local toma decisiones sobre el manejo integral dado a los recursos en la zona de estudio. Es importante rescatar que este comité se pone como un grupo que aún no se define entre la formalidad y la informalidad, al ser un comité recientemente creado y el cual es considerado como poco representativo de las facultades y responsabilidades que se le han otorgado al mismo

En contraste, los actores definidos como de carácter informal que de manera local inciden en el uso y manejo del agua en la subcuenca son:

1. Sociedad civil organizada, este grupo de actores se refiere a aquellos actores que, desde la zona urbana de San Miguel de Allende, viendo por la problemática ambiental relacionada con el inadecuado uso del agua en las zonas de riego agrícola y las zonas urbanas principalmente. Este grupo de actores contempla a reporteros, activistas o grupos de personas comprometidas con el cuidado medioambiental en las zonas cercanas a la ciudad de San Miguel de Allende, la cual se encuentra poblada en una gran mayoría por extranjeros que exigen al municipio bienestar ambiental
2. Inversionistas y consultores agropecuarios, donde destacan actores privados provenientes de la ciudad de San Miguel de Allende

comprometidos con la mejora de la producción intensiva y de temporal en la subcuenca, realizando estudios sobre la mejora genética de los productos agropecuarios manejados en la zona de estudio, así como en la realización de prácticas de conservación de suelo y agua que mejoren la productividad de las parcelas. Además se tienen los grupos de constructores, actores que trabajan en ladrilleras y bancos de material, concreteras, fábricas de quesos, curtidoras, granjas de producción de carne avícola, etc.

Para el caso del nivel regional y nacional, los actores relacionados con la formalidad del manejo del agua son:

1. Académicos, entre los que se encuentran distintos grupos de investigadores pertenecientes a universidades como la Universidad Autónoma de Querétaro (UAQ), la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), Universidad de Guanajuato (UDG), Universidad Autónoma de Morelos (UAEM), etc. Estos grupos de actores inciden de manera indirecta en la elaboración de estudios que permiten encaminar el manejo sustentable y racional de los recursos presentes en la subcuenca, tomando en cuenta la caracterización y el diagnóstico de los aspectos ambientales, sociales y económicos de la subcuenca Támbula-Picachos y otras regiones aledañas
2. Dependencias de gobierno, donde a nivel regional destacan la Comisión Estatal del Agua de Guanajuato (CEAG), el Instituto de Ecología del Estado de Guanajuato (IEE) y el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). Cada uno de estos grupos de actores inciden de manera formal en la toma de decisiones sobre la competencia del uso del agua, en la elaboración de planes de manejo y aptitud de uso del territorio, ordenamientos territoriales y en el desarrollo de investigaciones para la mejora de la producción regional, mediante la atención agrosilvopastoril, relacionando las especies de producción agrícola y pecuaria con el aprovechamiento adecuado (tanto para fines de conservación como para la producción), el cuidado y explotación de los bosques naturales, la creación de praderas para la cría de animales

especialmente el ganado bovino y ovino, junto con la siembra de pastos y forrajes de corte

3. COTAS, son los grupos de actores conocidos como Comités Técnicos de Aguas Subterráneas, de acuerdo a la denominación de la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), los cuales congregan a representantes de los usuarios de un acuífero y están destinados a concertar un reglamento de aguas subterráneas, basándose en estudios técnicos que definen un "plan de manejo óptimo". La función principal de estos COTAS es facultar a la autoridad para aplicar restricciones temporales o definitivas incluso a derechos legítimos, donde, en el caso del Estado de Guanajuato, se tiene una alternativa diferente, en la que se busca tener la mayor participación posible de la sociedad y la mínima necesaria del gobierno, pensando en la participación social como "mecanismo de gobierno" del acuífero, soportada en un área operativa determinada (acuífero)
4. Comité de la subcuenca Támbula-Picachos, donde la base para la creación de este comité se relaciona con el propósito de detener la degradación ambiental y el manejo sustentable de los recursos en la subcuenca. Por tanto, el Estado de Guanajuato, el H. Ayuntamiento de San Miguel de Allende, la Secretaría de Desarrollo Agropecuario (SDA) del Gobierno del Estado, la Universidad Autónoma de Querétaro y la Gerencia Estatal del Fideicomiso de Riesgo Compartido (FIRCO), iniciaron un proceso de identificación, valoración y ajuste de un trabajo comunitario y creación de proyectos productivos en función de las necesidades de los pobladores de la zona, con lo que se pretende contribuir a que la participación de las instituciones se base en el conocimiento local, los estudios de las unidades fisiográficas y la realidad de la organización al interior de cada comunidad. Sin embargo, al igual que el comité de microcuencas, este tipo de actores no cuenta con la representatividad suficiente ni la difusión o poder de convocatoria necesarios como para realizar las obligaciones y facultades que se le han otorgado

Desde la perspectiva informal, los actores incidentes en el manejo del agua en la subcuenca que, de manera regional y nacional fueron encontrados, estan:

1. Inmobiliarias, se trata de un grupo de actores que ejerce presión sobre las zonas agropecuarias de las partes bajas de la subcuenca, aledañas a la ciudad de de San Miguel de Allende, los cuales requieren de la dotación de servicios de agua potable y alcantarillado para generar mayor plusvalía en sus construcciones. En la actualidad, de acuerdo al periódico “El Informador”¹, se tiene una baja generalizada de venta de casas, debido a dos circunstancias principalmente: la inseguridad y la crisis financiera que aleja a los compradores extranjeros, siendo los compradores nacionales (de las zonas metropolitanas del Valle de México, Guadalajara y Monterrey) quienes actualmente adquieren viviendas residenciales turísticas en la zona urbana de San Miguel de Allende. Se ha generado mucha especulación sobre la presión de las compañías inmobiliarias locales y nacionales sobre la presión que estas tienen sobre la venta de terrenos de propiedad privada y ejidal que se encuentran cercanos a la carretera Querétaro-San Miguel de Allende, haciendo que los dueños de estas tierras se vean tentados a vender sus tierras por un valor menor al real. Actualmente se tiene una sobreoferta de viviendas, lo que representa una baja entre el 20 y el 40% del precio en relación con el año pasado. Esta sobreoferta está representada por aproximadamente 700 inmuebles usados o en reventa, los cuales tardarán entre 4 y 5 años en venderse nuevamente. Estos inmuebles fueron adquiridos años atrás por extranjeros, cuando en el año 2008 ocho de cada diez viviendas eran compradas por estos
2. Organizaciones Civiles no Gubernamentales, entre las que se encuentra la Organización Salvemos al Río Laja, que es la ONG más importante que se encuentra presente en la zona de estudio. Esta organización ha trabajado distintos aspectos ambientales, sociales y económicos del manejo sustentable de los recursos tanto de la subcuenca Tábula-Picachos, como de la cuenca del Río Laja, a la que pertenece la zona de estudio, sin embargo otras ONG’s

¹ De acuerdo al periódico El Informador de Guadalajara, Jalisco, en la nota de Economía del día 27 de Septiembre del 2010, presente en la dirección electrónica: <http://www.informador.com.mx/economia/2010/236779/6/baja-la-venta-de-casas-en-san-miguel-de-allende.htm>

como la Red Lerma y la Fundación Lerma Chapala Santiago trabajan a nivel regional en la procuración de estudios y trabajos locales en el cuidado del ambiente y en particular de la gestión de los recursos hídricos de la cuenca Lérma-Chapala-Santiago

3. Cadenas de producción nacional para la exportación, entre las que se encuentran algunos ranchos de la zona baja de la subcuenca, los cuales producen granos para exportación o algunas empresas que temporalmente se establecen y contratan gente para la cosecha y empaquetado de alcachofa. Es importante tomar en cuenta este tipo de empresas pues, de acuerdo al concepto de “huella del agua”, muchos de los productos cosechados en territorio nacional son enviados al extranjero para su consumo o en su defecto para ser procesados y devueltos a México con un valor agregado, sin embargo, para la producción de estos productos se requiere una gran cantidad de agua extraída de la zona del Bajío principalmente (siendo ésta actualmente una zona deficitaria de agua superficial y subterránea), en donde el costo de producción no se ve reflejado en la venta del producto, el agua y los insumos utilizados

Por último, se tiene el grupo de actores formales pertenecientes a un nivel de intervención de carácter nacional, donde se encontraron principalmente dependencias de gobierno a nivel federal como:

1. La Comisión Nacional del Agua (CONAGUA)², que funge como gestor del manejo del agua (superficial y subterránea) dado en el territorio nacional, compitiéndole la administración sustentable de las aguas nacionales, teniendo injerencia en los tres órdenes de gobierno, siendo la autoridad técnica que promueve la participación social para la gestión de los recursos naturales en el país. La CONAGUA tiene como objetivo a nivel nacional el fortalecimiento técnico y la autosuficiencia financiera de los organismos operadores de agua mediante la aplicación de acciones que impulsen la eficiencia de la prestación de servicios. A este organismo competen la cobertura de servicios de agua potable y alcantarillado, el tratamiento de aguas residuales y la mejora de la

² Página oficial de la Comisión Nacional del Agua: <http://www.cna.gob.mx/Default.aspx>

calidad del agua suministrada a las localidades. En particular, para la zona de estudio, está comprometida con propiciar el equilibrio de las cuencas y acuíferos sobre-explotados, normar y promover la recarga de acuíferos, consolidar un sistema de medición de las componentes del ciclo hidrológico, fomentar acciones que reduzcan la demanda de agua, reglamentar el uso del agua y propiciar la conservación de los ecosistemas regionales

2. El Instituto Nacional de Ecología (INE)³, tiene como objetivo generar, integrar y difundir conocimiento e información a través de la investigación científica aplicada y el fortalecimiento de capacidades, para apoyar la formulación de políticas ambientales y la toma de decisiones que promuevan el desarrollo sustentable a nivel regional
3. Instituto Mexicano en Tecnología del Agua (IMTA), este organismo se encarga de realizar estudios independientes sobre la disponibilidad y calidad del agua en todo el país, particularmente en el Estado de Guanajuato y municipios aledaños a San Miguel de Allende se han realizado estudios por parte de este instituto concernientes a la disponibilidad y explotación del agua superficial y subterránea de los acuíferos Cuenca Alta del Río Laja, San Miguel de Allende, Laguna Seca, Doctor Mora y San José Iturbide
4. La Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), está comprometida con lograr un adecuado manejo y preservación del agua en cuencas y acuíferos para impulsar el bienestar social, el desarrollo económico y la preservación del medio ambiente, impulsando el manejo territorial integral mediante los programas de Ordenamiento Ecológico General del Territorio y la atención a regiones prioritarias La SEMARNAT impulsa la participación incluyente, equitativa, diferenciada, corresponsable y efectiva de todos los sectores de la sociedad, y en todos los órdenes de gobierno, para la formulación de políticas y la adopción de compromisos conjuntos que contribuyan al desarrollo sustentable
5. Comisión Nacional Forestal (CONAFOR), se trata de un organismo que agrupa actores de nivel nacional que inciden de manera regional y local en el

³ Página oficial del Instituto Nacional de Ecología: <http://www.ine.gob.mx/index.php>

desarrollo, el favorecimiento e impulso de actividades productivas, de conservación y restauración en materia forestal, así como participar en la formulación de los planes, programas, y la aplicación de la política de desarrollo forestal sustentable. Este organismo ha llevado a cabo proyectos de reforestación en distintas zonas de la subcuenca Támbula-Picachos

6. Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática (INEGI), este organismo está encargado de recopilar toda una base de información estadística que permite definir los grupos de actores locales y la forma en que hacen uso del agua en las localidades de la zona de estudio

Es importante mencionar que el sentido del manejo de la información concerniente al manejo del agua en la subcuenca suele ser principalmente de los grupos de actores hacia el investigador que recopila la información, las relaciones más fuertes se definen con los ejidatarios de las microcuencas de la zona de estudio, con los organismos no gubernamentales (ONG) y con los académicos que han realizado y continúan realizando estudios de distinta índole en la subcuenca. Las interacciones más débiles o intermitentes se presentan con la intervención indirecta de las inmobiliarias, las cadenas de producción agrícola nacional destinadas a la exportación, los comités de microcuencas y la subcuenca, así como el Comité Técnico de Aguas Subterráneas que incide indirectamente en la toma de decisiones sobre la competencia en el uso del agua, entre el manejo del agua dado por ejidatarios y pequeños propietarios.

Los actores encontrados que se relacionan con el manejo conjunto del agua y que están representados en el mapa social se resumen en cinco tipos de grupos incidentes en la gestión y el manejo del agua en la subcuenca, siendo su participación o incidencia a distintas escalas y niveles, donde se tiene que:

1. Funcionarios: comprende a los actores que de manera institucional inciden en el manejo y la gestión del agua a nivel nacional, regional y local y por consecuencia en la zona de estudio
2. Sociedad civil y ONG's: este conglomerado agrupa a las organizaciones no gubernamentales y la sociedad civil organizada que mediante acciones de

conservación, cuidado y manejo sustentable de los recursos en la región inciden de manera directa e indirecta en la subcuenca

3. Productores: donde se incluyen aquellos actores que desarrollan agricultura y ganadería de manera intensiva y/o extensivamente
4. Ejidatarios: este grupo de actores toma en cuenta a los ejidatarios y sus representantes, los cuales desarrollan distintas actividades en este tipo de territorio, demarcado por una tenencia de la tierra distinto a los de pequeña propiedad o propiedad privada
5. Académicos: este conglomerado incluye a aquellos académicos de distintas universidades que han trabajado de manera conjunta en distintos proyectos de investigación en la zona de estudio, tanto a nivel local como regional

Se puede rescatar que los conglomerados de ejidatarios, sociedad civil y productores inciden a nivel local en el manejo del agua y los demás conglomerados participan de manera regional principalmente, sin embargo, quienes hacen uso del agua en mayor volumen son los conglomerados de productores y ejidatarios para la producción agropecuaria de carácter intensivo principalmente, de acuerdo a lo registrado en los usos del agua en el Municipio de San Miguel de Allende. Por tanto, el proyecto de tesis se avoca a estudiar y describir, desde lo local, el manejo dado al agua superficial y subterránea del agua en la zona de estudio.

IV.4.2. Zonas de mayor demanda hídrica

De acuerdo a lo reportado en INEGI (2005), las actividades económicas de mayor escala dentro de la subcuenca Támara-Picachos son: las del Sector Primario (agrícola y ganadero) y las del Sector Terciario (albañilería y servicios principalmente). La agricultura está dividida como “de riego” y “de temporal”. Los productores agrícolas presentes en la subcuenca son: asalariados, campesinos y empresarios. Por otro lado, los sistemas de producción desarrollados en la subcuenca pueden ser simplificados como:

- Pequeñas unidades agropecuarias
- Pequeñas unidades ganaderas
- Grandes unidades agropecuarias especializadas

La agricultura de riego se encuentra localizada en las partes bajas y planas de la subcuenca⁴, cosechando principalmente espárrago, alcachofa, brócoli, cebada, maíz y algunos forrajes para ganado (como alfalfa y sorgo) (Figura 4.7). La agricultura de temporal se ubica en las partes medias y altas de la subcuenca, sembrando principalmente maíz, calabaza, frijol y garbanzo, los cuales son considerados como productos de autoconsumo y/o medio de ahorro.

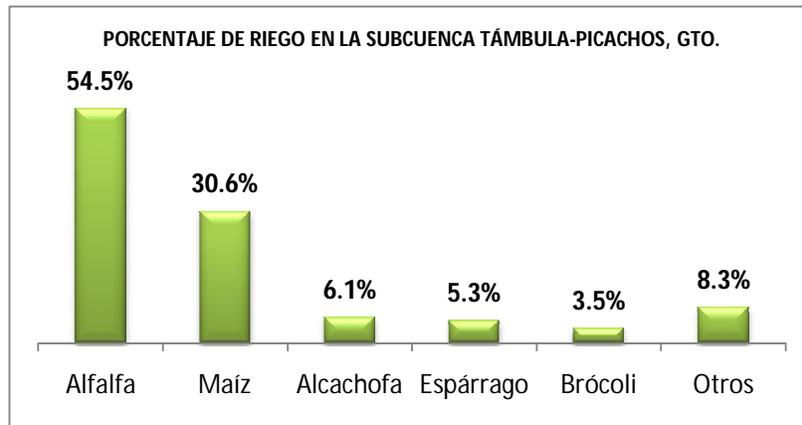


Figura 4.7. Principales tipos de cultivos de riego en la zona de estudio

Por otro lado, la ganadería contempla principalmente ganado caprino y ganado ovino y porcino en menor proporción, mientras que la producción ganadera intensiva se da mediante la crianza de ganado bobino para la producción de leche y carne. La albañilería y los servicios son comúnmente prestados fuera de las localidades de la subcuenca, principalmente en las ciudades de San Miguel de Allende, Querétaro, Guanajuato y León.

Nombrados los sistemas de producción que están asociados al mayor uso del agua en la subcuenca, es importante demarcar de forma gráfica las zonas que

⁴ De acuerdo al documento "Formación de una línea de base científica para el manejo integrado de la subcuenca específica Támara-Picachos, San Miguel de Allende, Gto." del año 2009, realizado por académicos de la Universidad Autónoma de Querétaro.

tienen que ver con aquellos actores incidentes en la recarga y la extracción del recurso hídrico en la subcuenca Támara-Picachos, considerando solo aquellos que desde el ámbito local intervienen en el manejo conjunto del agua. Por tanto, para lograr una integración del trabajo sobre la modelación hidrológica y el planteamiento de escenarios de manejo, es necesario incluir el rol que desempeñan los actores involucrados en el manejo conjunto del agua en la subcuenca, trabajando con:

- Los actores que tienen mayor incidencia en el uso del agua en la subcuenca para lograr un manejo racional y sustentable del agua extraída
- Los actores que intervienen y desempeñan sus labores en las zonas consideradas como de recarga potencial de agua para los acuíferos

Entre las zonas demarcadas como de mayor demanda de agua subterránea se encuentran aquellas que usan agua para la agricultura y ganadería de producción intensiva (Figura 4.8), ubicados al norte de la subcuenca, resaltando la propiedad privada y zonas ejidales en menor escala. Estas zonas se corresponden con la ubicación de un mayor número de pozos profundos (Figura 4.11), generalmente asociados a zonas de riego, concesionados y regulados por parte de la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA).

Es importante resaltar que las demandas agropecuarias en la subcuenca ascienden a 11.44Hm³/año (en la microcuenca El Huizachal) y a 10.76Hm³/año (en la microcuenca San Miguel de Allende), lo que equivale al 64% de la demanda agropecuaria total en la zona de estudio.



Figura 4.8. Producción agrícola intensiva de alfalfa y espárrago en la zona de estudio

Un 26% de la agricultura de la subcuenca está demarcada como de riego y un 74% como de temporal (Figura 4.9). Sin embargo, de los 60.11km² de superficie agrícola demarcada como de “propiedad ejidal” (Figura 4.9), el 85% es de agricultura de temporal y el 15% de agricultura de riego (Figura 4.10). En contraste, de los 102.14km² demarcados como “propiedad privada”, el 67% de la superficie es de agricultura de temporal y el 33% de agricultura de riego (Figura 4.10).

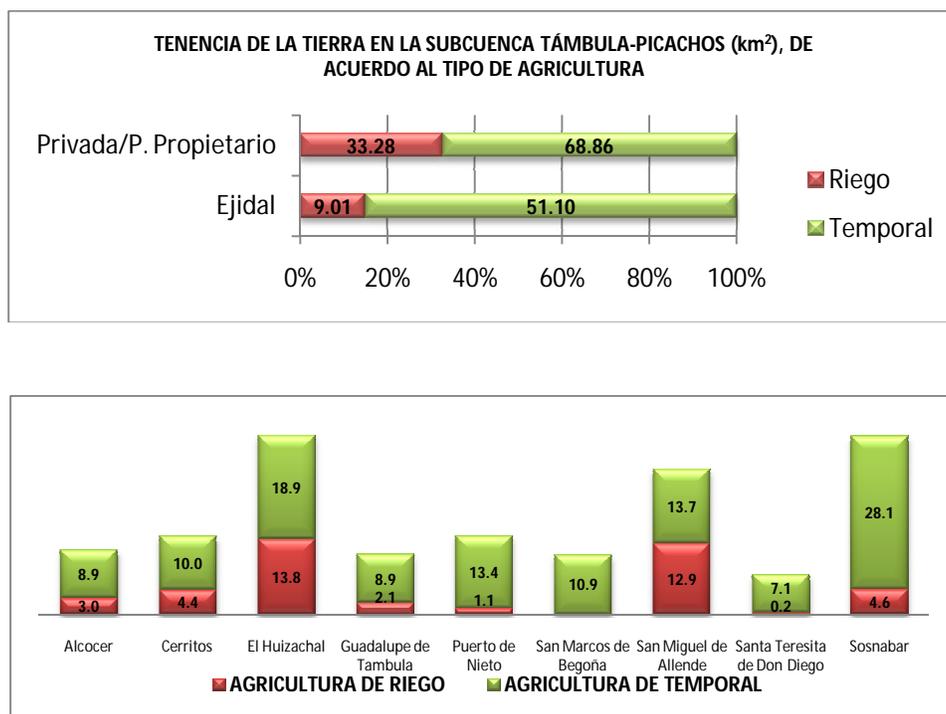


Figura 4.9. Tipos de agricultura y su superficie en la subcuenca Támula-Picachos

Comparando las superficies de riego entre el tipo de tenencia de la tierra (Figura 4.10), la propiedad privada consume, en proporción, 3.7 veces más que los de propiedad ejidal, lo cual nos da pauta a que el acercamiento con actores sea con aquellos productores presentes en las zonas denominadas como de propiedad privada.

Existe una correspondencia entre las zonas de producción ganadera intensiva, demarcada por tres principales cúmulos al interior de la subcuenca, delimitados por los ranchos de Capullos, 3 hermanos, Nuevo, San Agustín, La Providencia, Toñales, San Francisco, Sagrado Corazón, El Relicario, Santa Rita, San Lorenzo y el Rosario, ubicados al norte de la subcuenca, cercanos a las zonas ganaderas de la microcuenca de San Miguel de Allende (Figura 4.11).

Los principales⁵ ejidos donde se practica agricultura de riego son: La Palmita, Alcocer, Sosnabar y Cañajo, Llano Blanco, Fajardo de Bocas, Puerto de Nieto, Cerritos, Santas Marías y Moral del Puerto de Nieto.

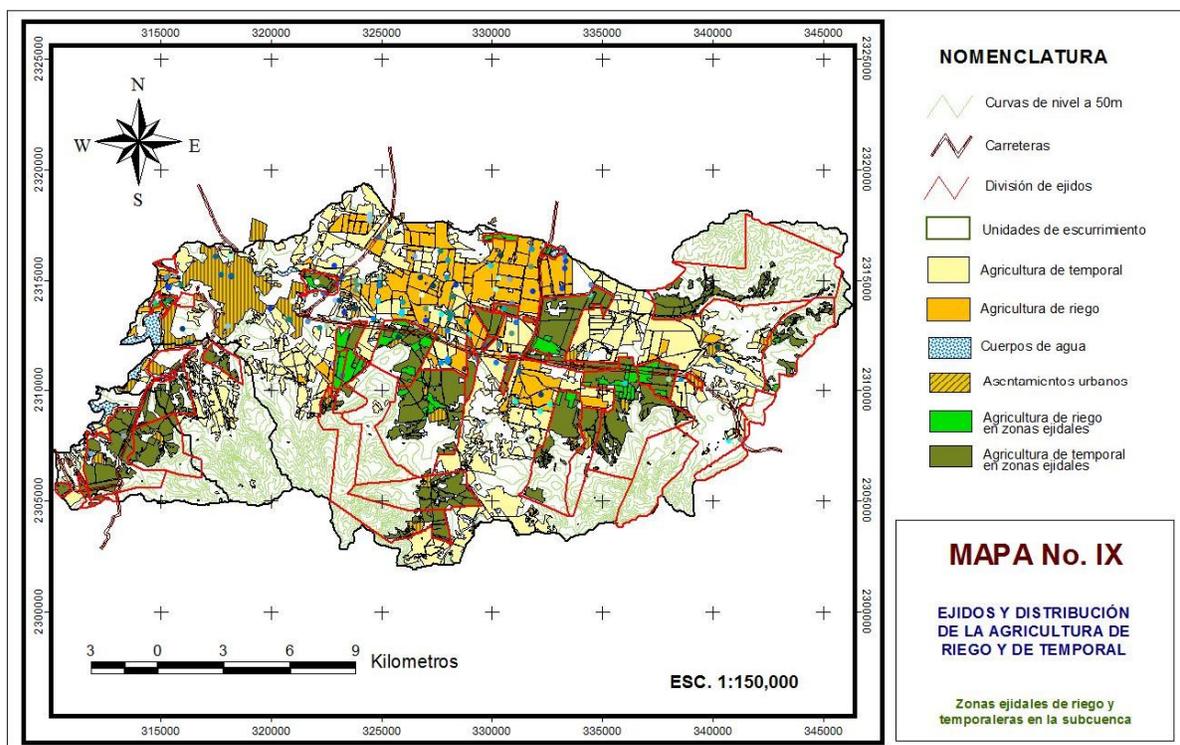


Figura 4.10. Zonas ejidales y agricultura de riego y temporal en la subcuenca Támula-Picachos

⁵ De acuerdo a los "Shapes" de Uso de Suelo y Vegetación del 2003 y Ejidos usados como base para la caracterización de la Subcuenca Támula-Picachos, Gto.

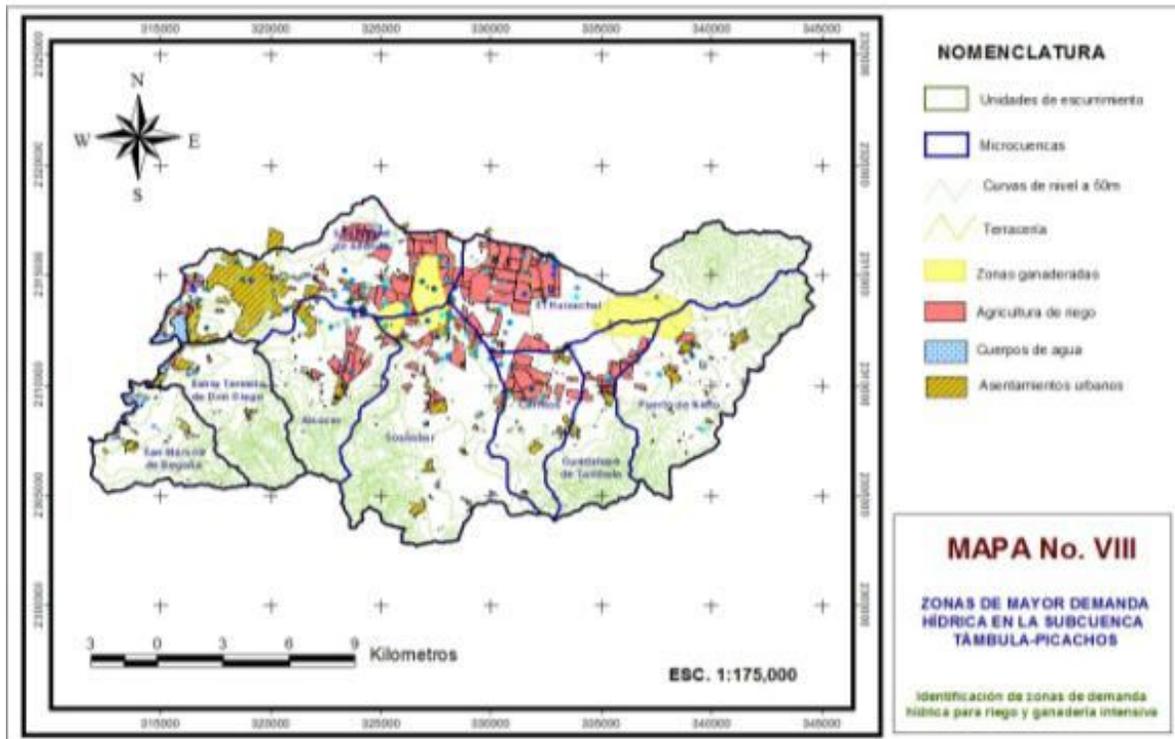


Figura 4.11. Zonas de mayor demanda de agua subterránea en la subcuenca Támara-Picachos

De acuerdo a las entrevistas realizadas, en la zona ganadera de las microcuencas de El Huizachal y Puerto de Nieto se sabe que se practica ganadería de tipo extensiva para producción de carne en la zona conocida como “Los Rodríguez”. La producción lechera (Figura 4.12) del Municipio de San Miguel de Allende es de aproximadamente 450,000 lt/día. Las principales zonas (Tabla 4.1) donde se concentra la producción intensiva de leche para abasto son:

Tabla 4.1. Zonas de producción lechera en San Miguel de Allende, Gto.

ZONA	TIPO DE PRODUCCIÓN LECHERA
Puerto de Sosa y Clavelinas	Alta producción
Los Rodríguez	Alta producción
Los Jacales	Mediana producción
La Cieneguita	Alta producción

Fuente: Entrevista realizada al Sr. Ignacio Soto, Presidente de la Asociación Ganadera Local de San Miguel de Allende, Gto.

De estas cuatro zonas, la de La Cieneguita y Los Rodríguez son las que más impacto tienen dentro de la subcuenca, destacando en la primera una fuerte presión por parte de las inmobiliarias y el crecimiento urbano de la Ciudad de San Miguel de Allende⁶. Por otro lado, en cuanto a la producción de carne, el sistema de producción es predominantemente de tipo extensivo, siendo las principales zonas donde se concentra la producción de carne en (Figura 4.11):

- El Tigre, carretera a Jalpa
- Puerto de Nieto, cerro de la Márgara
- Zona norte del municipio

Las zonas más representativas de producción de carne vacuna se presentan en el ejido de Puerto de Nieto y el cerro de La Márgara, entre las microcuencas de Puerto de Nieto y El Huizachal. Un tamaño aproximado de ganado especializado para la producción de carne es de 280 cabezas, solo para las zonas demarcadas dentro de la subcuenca.



Figura 4.12. Ganado bobino de producción lechera en la subcuenca

⁶ Entrevista realizada al MVZ. Ignacio Agustín Soto Gutiérrez, presidente de la Asociación de Ganaderos Unidos de Allende, Gto.

IV.4.3. Zonas prioritarias para la recarga de acuíferos

Las zonas de recarga determinadas de acuerdo a Córdova et al. (2010), corresponden a zonas de lomeríos cañadas, zonas ejidales de uso común para agostadero, donde se practica ganadería extensiva y agricultura de temporal. En la Figura 4.13 se presenta un esquema de los lugares considerados como de recarga, donde se observan cuatro zonas principales en la subcuenca que, ordenadas de acuerdo a su importancia, son:

1. Los Picachos - Doña Juana
2. La Márgara-Puerto de Nieto
3. San Marcos de Begoña
4. Tám-bula

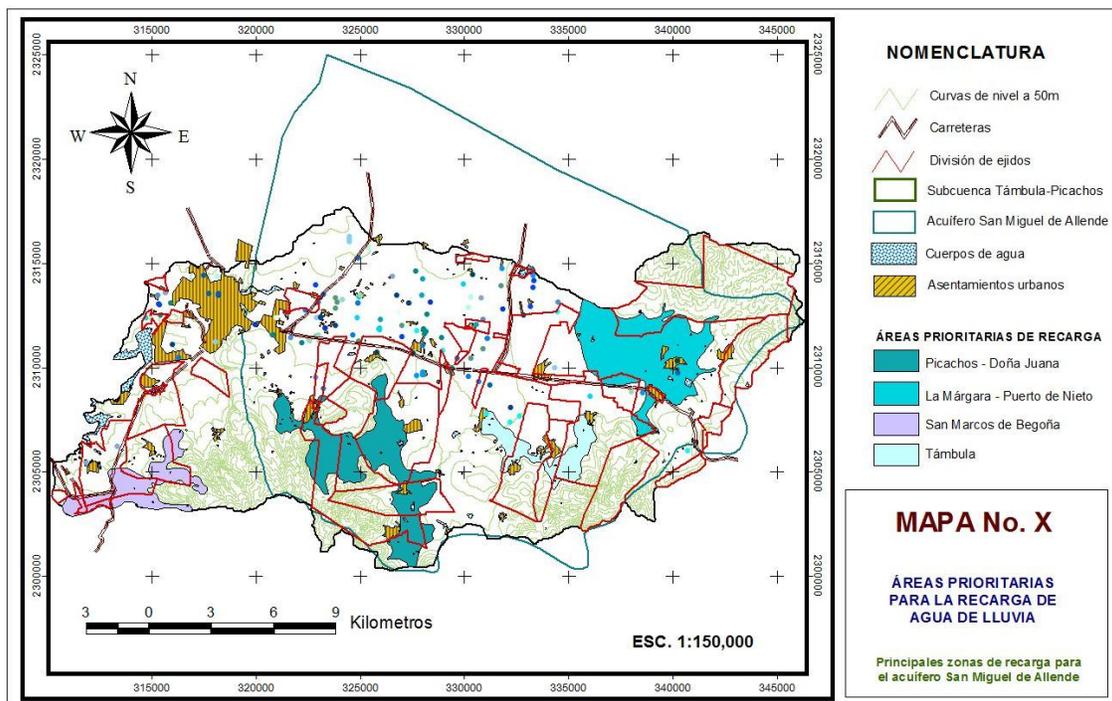


Figura 4.13. Zonas de recarga prioritarias de acuerdo a Córdova et al., 2010

Al describir la situación actual de las zonas de recarga se tiene que éstas presentan una grave degradación ambiental, con pérdida de más del 50% de la cobertura vegetal, un incremento en la mancha urbana y la disminución de la superficie neta de vegetación natural y el consecuente incremento de la

vegetación secundaria, principalmente mediante áreas de pastizales inducidos y problemas de erosión en partes altas y medias de la subcuenca (Córdova et al., 2010).

A continuación se presenta un resumen por cada zona prioritaria, producto de la serie de entrevistas realizadas a ejidatarios que laboran en las zonas denominadas como prioritarias para la recarga de los acuíferos de la subcuenca Tábula-Picachos, donde a manera de resumen se realizó una matriz sobre la percepción de determinados puntos comunes tratados en las entrevistas:

ZONA PRIORITARIA NO. 1: Los Picachos – Doña Juana



Se encuentra representada por los ejidos de Alcocer, Doña Juana y Llano Blanco, en un 78% del territorio. Las zonas de uso común son utilizadas para el pastoreo de aproximadamente 700 cabezas de ganado (entre ganado ovino, caprino y bobino). Un 70% de los cultivos son de temporal (como maíz, frijol y calabaza), mientras que en un 30% se practica agricultura de riego (cosechando maíz y sorgo principalmente).

El pastoreo del ganado se realiza en zonas comunes del ejido, las cuales se tienen circuladas, sin embargo, frecuentemente es introducido ganado ajeno a los ejidatarios, rompiendo cercas de esta zona y aumentando la presión del pastoreo en la zona y la compactación del suelo por el pisoteo del ganado, lo que conlleva una disminución de la capacidad de filtración del agua en la zona.

En esta zona se tiene la presencia de manantiales o escurrimientos en la época de lluvia principalmente, los cuales son usados como abrevaderos para el ganado que se introduce a las zonas comunes para pastorearlo. Antiguamente (hace unos 10-12 años) algunos manantiales eran usados como zonas de abastecimiento de agua para las localidades, pero con la introducción del agua de pozo profundo

entubada, esta práctica ha desaparecido casi por completo, olvidando darle el mantenimiento adecuado a los mismos.

Se tiene un registro local de la profundidad de los pozos entre 250 y 300m aproximadamente, la cual se ha visto notoriamente en disminución a través de los años, junto con la disminución de la cobertura vegetal, lo que impacta directamente en la capacidad de infiltración del suelo, en la disminución de la recarga a los acuíferos, en el aumento de la velocidad de escurrimiento, en el arrastre de sedimentos y azolve de bordos y represas, reportándose problemas con el arrastre de sedimentos y azolve de los bordos en la zona. Por otro lado, se reporta una baja recurrencia de eventos extremos (inundaciones y /o sequías) en esta zona, lo que climáticamente representa una relativa estabilidad en la práctica de la agricultura de temporal.

La mayoría de los ejidatarios entrevistados ven como positiva la rehabilitación y /o construcción de nuevos bordos de tierra y/o mampostería para el almacenamiento de agua de lluvia en sus ejidos y/o parcelas, donde se ha tenido recurrente asesoría técnica de gente enviada por el municipio de San Miguel de Allende o ajena a las localidades.

Constantemente se ha participado en obras de conservación de suelo y agua y se reporta una mala organización comunitaria en las localidades de Alcocer, Sosnabar y Doña Juana. Si bien se han llevado a cabo proyectos de tipo CONSA (Conservación de Suelo y Agua) en esta zona, muchos solo han sido realizados por el beneficio económico que estos representaron en su momento para los ejidatarios que participaron.

Sin embargo, los ejidatarios reconocen que existen otras experiencias exitosas en el acomodo de piedra y terraceo, donde se reporta una mejora en la productividad de las parcelas terraceadas y la disponibilidad de realizar nuevos proyectos de este tipo con estos ejidatarios que han tenido experiencias positivas y transmitir entre la gente de sus comunidades la experiencia ganada, lo cual permita

que las experiencias se ven reflejadas directamente en el cuidado de los recursos presentes en sus parcelas.

Por último, en esta zona se tiene una baja presión sobre la compra y venta de lotes para la construcción de desarrollos urbanos, aún cuando se trata de una de las zonas más cercanas a la ciudad de San Miguel de Allende, esto tal vez debido a lo alejado de la zona de recarga con la carretera principal que comunica a San Miguel de Allende y Querétaro. De igual forma, el fenómeno de migración en esta zona ha dejado de observarse, pues la gente mayor ha vuelto de Estados Unidos principalmente y se dedica al trabajo en el campo. Algunos ejidatarios muestran disposición para trabajar en proyectos de reforestación en sus parcelas, pero poca disposición a trabajar en zonas comunales.

ZONA PRIORITARIA NO. 2: La Márgara – Puerto de Nieto



Esta zona la conforma el ejido de Moral del Puerto de Nieto y Santas Marías en un 63%, donde sus zonas de uso común sirven para el pastoreo de aproximadamente 220 cabezas de ganado (entre bovinos y caprinos). La totalidad de cultivos son de temporal (maíz y frijol principalmente) y se desconoce de la profundidad de los pozos en la zona. Se registran unos pocos manantiales que surgen en época de lluvia, los cuales son usados

como abrevaderos temporales.

En estos ejidos solo se registra un bordo con capacidad de almacenamiento reducido por el azolve, sin embargo, existen otros dos bordos en la localidad de Puerto de Nieto y uno más dentro de propiedad privada, en la zona de riego y producción intensiva.

Dentro del ejido de Moral del Puerto de Nieto no se conoce la profundidad del pozo que abastece de agua a la localidad, pues se considera que se tiene muy baja organización dentro de la localidad y es muy escasa la transferencia de información entre comisariados ejidales. Los informantes clave en esta zona comentan que se ha observado una considerable degradación ambiental en los últimos 10-15 años, sin grandes cambios en la cobertura vegetal pero una reducción en la productividad del suelo. La ocurrencia de eventos extremos se ha observado como muy baja, mientras que si se ha observado un importante arrastre de sedimentos a los bordos y su consiguiente azolve

En esta zona se ha realizado poco trabajo con proyectos tipo CONSA, teniendo pocas parcelas terraceadas o con piedra acomodada. Se muestra poco interés por la construcción de nuevos bordos comunales, así como apoyo técnico para la mejora de la productividad y retención del suelo en las parcelas de los ejidos de esta zona prioritaria.

ZONA PRIORITARIA NO. 3: San Marcos de Begoña



El 56% de esta zona pertenece al ejido San Juan Xido de Abajo, donde sus zonas de uso común sirven para pastorear aproximadamente 150 cabezas (entre caprinos y ovinos). Se tiene agricultura de temporal en la totalidad del ejido y la extracción de agua se realiza a una profundidad de 180m aproximadamente. En esta zona no se han observado cambios en los niveles de agua o el rendimiento de las bombas.

En la zona prioritaria no. 3 se ha observado un alto grado de degradación ambiental, vista como en cambio y disminución de la cobertura vegetal principalmente. Los ejidatarios de esta zona mencionan que la degradación del suelo y el arrastre de sedimentos a los bordos de la zona es poco percibida, sin embargo,

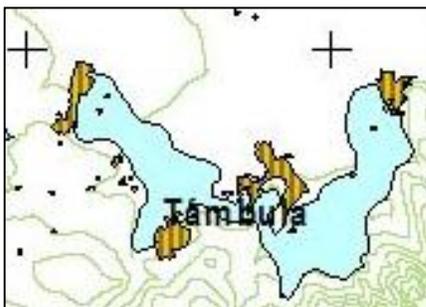
se ha tenido un alto acercamiento con asesores técnicos, provenientes del municipio de San Miguel de Allende y Celaya, así como agrónomos del INIFAP (Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias), con los cuales se ha trabajado en proyectos de tipo CONSA(Conservación de Suelo y Agua) que ayudan en el cuidado y conservación del suelo y agua en esta zona.

En este ejido se han desarrollado proyectos de tipo CONSA durante 6 años continuos aproximadamente, mediante la realización de cercas vivas y acomodo de piedra, la construcción de presas filtrantes en barrancas y el terraceo en parcelas. Se han realizado proyectos de reforestación, sin embargo estos han fallado por causas naturales (sequías y heladas), los cuales son percibidos como de constante ocurrencia en esta zona prioritaria. Adicionalmente, la reforestación llevada a cabo en la zona se realizó con especies introducidas, de las cuales, la mayoría no pudo adaptarse a las condiciones ambientales de la zona.

La organización en las localidades y la participación de los ejidatarios, avecindados y locatarios de esta zona es considerada por los ejidatarios entrevistados como muy buena, para la realización de proyectos de conservación de suelo y agua en la zona. En la actualidad, los ejidatarios de esta zona ven con apatía la participación en proyectos de gobierno que estén encaminados a la conservación del ambiente en zonas comunales del ejido, pues se prefiere trabajar de manera individual, captando apoyos para la mejora de solo algunas parcelas, en específico de aquellos interesados en cuidar y dar seguimiento a un programa de gobierno específico en beneficio de sus tierras de cultivo y pastoreo.

Por último, en esta zona de recarga no se registra algún tipo de presión por parte de inmobiliarias para la compra de terrenos y la construcción de desarrollos habitacionales para la ciudad de San Miguel de Allende.

ZONA PRIORITARIA NO. 4: Tábula



Esta zona está comprendida por los ejidos de Puerto de Nieto (sección Tábula) y Santas Marías, abarcando un 82% de la zona prioritaria. Las zonas de uso común son para el pastoreo de ganado bobino, caprino y ovino principalmente, siendo alrededor de 900 cabezas en los tres ejidos.

En esta zona el 65% de la producción agrícola es de temporal (maíz, frijol y calabaza) y el 25% de producción de riego (maíz, alfalfa, sorgo principalmente). Los manantiales presentes en esta zona prioritaria son usados como abrevaderos principalmente, otros más se encuentran abandonados, cercanos a las poblaciones de Guadalupe de Tábula y Fajardo de Bocas. Se tiene un registro de siete bordos en las zonas ejidales (entre bordos de tierra y mampostería), de los cuales la mayoría se encuentra sin mantenimiento y otros más sin uso (por encontrarse rotos o completamente azolvados). La profundidad de la extracción del agua es irregular, variando entre los 180 y los 250m aproximadamente, la cual (de acuerdo a los ejidatarios de la zona) este nivel se encuentra en constante descenso.

Por otro lado, de acuerdo a los ejidatarios entrevistados, en esta zona de recarga se han observado algunos cambios en la cobertura vegetal, reflejados como una disminución de la misma, reportándose principalmente una disminución de la zona de encinares y un incremento de las zonas de pastizales dentro de la propiedad comunal de los ejidos, donde también se reporta un alto grado de azolve en el sistema de bordería de los ejidos de la zona, debido al acarreo de suelo desde partes altas y medias de las unidades de escurrimiento de esta zona. La recurrencia de heladas y/o sequías en la zona es reportada como constante.

En esta zona prioritaria para la recarga, los ejidatarios entrevistados reportan una alta incidencia de obras tipo CONSA (Conservación de Suelo y Agua), de las cuales resaltan: el acomodo de piedra, la construcción de presas filtrantes en barrancas de la zona, el terraceo y construcción de tinajas ciegas en parcelas de los

ejidos, así como algunos programas de reforestación con especies nativas como el nopal, cactus y el maguey. De igual forma, se reporta una alta incidencia de asesores técnicos provenientes del municipio de San Miguel de Allende y universidades de Querétaro principalmente.

Actualmente se está realizando la construcción de nuevos bordos en las zonas comunales y en parcelas privadas, con apoyo del municipio de San Miguel de Allende y se ha observado la venta de terrenos para lotificar, cercanos a los accesos de la localidad de Guadalupe de Támbula, mientras que otros lotes son vendidos de las zonas comunales para la construcción de nuevas viviendas dentro de las mismas localidades.

En esta zona prioritaria pocas parcelas han sido abandonadas o están sin trabajar, pues la mayoría de los ejidatarios han retomado el trabajo en las tierras al haber vuelto de Estados Unidos. Los ejidatarios de esta zona observan que se tiene una baja organización al interior de las localidades, sin embargo, la participación en proyectos de conservación de suelo y agua en las zonas ejidales se ha visto de buena manera, teniendo varios ejidatarios que han participado en experiencias exitosas de acomodo de piedra y terraceo en parcelas de la zona.

IV.5. Propuesta de manejo alterno

La descripción de los espacios donde desarrollan sus actividades productivas los actores locales, que se definen como los que mayormente se encuentran involucrados en el uso y manejo del agua en la subcuenca Támbula-Picachos, nos permite conocer desde una perspectiva local cuales son sus relaciones con el uso del agua y la forma en que se han apropiado de este recurso, los cuidados y la forma de manejar el agua desde lo local, lo comunitario, lo ejidatal y el uso dado por la propiedad privada. Así mismo, se describen las relaciones entre los actores locales y los grupos de actores regionales y nacionales que, de manera directa o indirecta, inciden en la política de dotación y manejo del agua en la zona de estudio.

Como propuesta alterna sobre el manejo del agua en la zona se ha generado un nuevo mapa social (Figura 4.14) de actores y relaciones ideales entre estos y la zona de estudio, donde se determinó que las relaciones y vínculos de información debería ser más fuertes e importantes entre aquellos actores que hacen mayor uso del recurso hídrico en la subcuenca y entre los actores que desarrollan sus actividades productivas en las zonas de recarga.

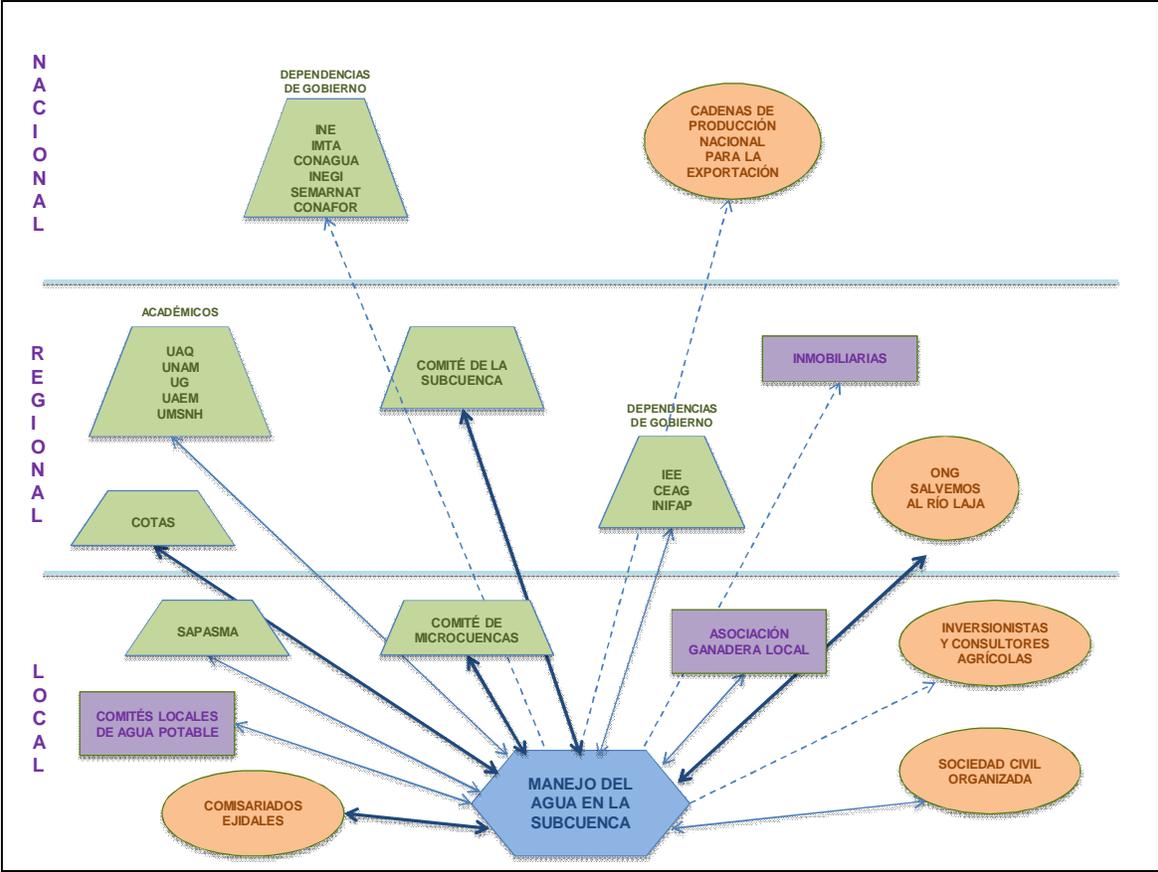


Figura 4.14. Mapa social ideal de actores incidentes en el manejo del agua en la subcuenca Támbula-Picachos

Se propone que las relaciones ideales más fuertes entre los grupos de actores y el uso del agua en la subcuenca se dé entre las organizaciones no gubernamentales (ONG's), los representantes ejidales de las zonas comunes donde se realiza la recarga principalmente para el acuífero San Miguel de Allende, los comités de la subcuenca y microcuencas (haciéndolos más representativos y autogestores de sus propios recursos, para lo cual se sustenta la propuesta más

adelante), así como el comité técnico de aguas subterráneas, pues es ésta fuente de agua la que debe de ser mejor administrada y controlada por una entidad supervisora externa, la cual dictamine sobre la competencia en la concesión de nuevas zonas de extracción y de recarga artificial de agua en la subcuenca.

Los grupos de actores que debieran tener una relación indirecta con el manejo del agua en la subcuenca se propone que sean los inversionistas y consultores agropecuarios, las cadenas de producción nacional para la exportación de productos agrícolas de la zona de estudio y las dependencias de gobierno tanto federales como estatales, fungiendo estas solo como consultores y organismos que resuelvan conflictos de interés entre particulares.

El papel que debieran desempeñar las instituciones académicas de manera ideal sería de igual forma como consultores y grupos de apoyo para emprender nuevos proyectos de desarrollo social, ambiental y económico para las localidades rurales de la subcuenca y de la cabecera municipal de San Miguel de Allende.

En este sentido, para sustentar el manejo de los recursos en una cuenca, se resalta que la metodología del Manejo Integral de Cuencas es un concepto que va más allá de la planeación y administración de los recursos hídricos y del análisis de la cantidad y calidad del agua al interior de un área delimitada por un “parteaguas” natural, tratándose también de un proceso de formulación, implementación y evaluación de planes y programas dirigidos tanto al aprovechamiento de los recursos naturales con fines productivos como al control y prevención de los procesos de degradación ambiental, donde los actores locales deben formar parte activa y participativa de la toma de decisiones e implementación de acciones encaminadas al manejo sustentable de sus propios recursos dentro de su territorio de injerencia.

De acuerdo a Cotler (2004), los avances a nivel político en relación con el uso y manejo de los recursos naturales y la dirección tomada en la política pública federal, reconocen a las cuencas hidrográficas como las unidades geofísicas

objeto de planificación y manejo de sus propios recursos, con fines de producción y desarrollo, atendiendo y promoviendo un proceso de sustentabilidad.

En el manejo de recursos a nivel de cuencas hidrográficas se reconocen diversas unidades de intervención, que atienden a distintas formas de gestión, manejo, acercamiento e incidencia; mientras que las microcuencas son las unidades de intervención precisas para el trabajo comunitario, las unidades de escurrimiento lo son para llevar a cabo estudios de fenómenos hidrológicos como la precipitación, el escurrimiento, la infiltración, evaporación, etc. Por otro lado, las subunidades de gestión y manejo intermunicipales o interestatales como lo son las subcuencas, generalmente requieren de una mayor intervención de actores políticos, dependencias de gobierno, inversionistas privados, organizaciones civiles, sociedad en general, investigadores, entre otros.

Por tanto, la planeación por subcuencas, es en sí una tarea de actores de multidisciplina, que se da de manera natural al existir intereses sobre el manejo de los recursos dentro de una gran extensión de territorio. Pineda (2002), señala que al adecuar el modelo de intervención comunitaria (participativa e incluyente) en pro del desarrollo sustentable (en que se basa la gestión y manejo por cuencas hidrográficas), junto con la planificación por subcuencas (o regiones políticas interconectadas), es necesario hacer observar que, tanto los actores como las intervenciones, son a escalas y niveles totalmente distintos.

Retomando la idea de Dourojeanni (2002) sobre la gestión a nivel de cuencas, éste reconoce que las políticas para utilizar el territorio de una cuenca como base para la gestión del agua han tenido diferentes enfoques y una desigual evolución en los países de América Latina y el Caribe, por lo que el concepto de cuenca hidrográfica en México ha evolucionado a la par de la atención que se le presta al cuidado y manejo de los recursos dentro de esta, pasando desde un enfoque meramente hidrológico, a uno con carácter integral y sistémico, donde el agua se considera como el eje rector de procesos y funciones entre el carácter ambiental y el antrópico; donde interactúan otros elementos y aspectos

económicos, sociales, culturales donde el hombre se ha vuelto parte integral de la gestión. En este sentido, el planteamiento de un proceso de planificación y coordinación a nivel subcuenca es importante a fin de que los recursos existentes puedan ser utilizados de manera óptima, que los conflictos sean minimizados y la base de los recursos naturales pueda ser conservada.

Por tal razón, las cuencas son la unidad de planificación donde los habitantes deben ser los actores protagónicos, y las organizaciones comunitarias la base del desarrollo local. Sin embargo, deben existir otros actores no locales como soporte en la planificación y acción, teniendo también presencia para así lograr una gestión integrada y eficiente con un enfoque multidisciplinario e interinstitucional.

IV.6. Conclusiones

Como conclusiones finales, se tienen distintos puntos que generan discusión sobre el manejo hídrico conjunto en la subcuenca Támbula-Picachos, donde se describe brevemente la visión institucional sobre la gestión y el manejo sustentable de los recursos en las cuencas (desde la visión de las dependencias de gobierno a distintos niveles), se habla de los problemas relacionados con la producción agropecuaria intensiva y la presión de este tipo de uso del suelo y agua sobre el ambiente y las connotaciones sociales y económicas que esto implica para los distintos actores de la zona de estudio.

Adicionalmente, se desarrollaron soluciones sobre las zonas de referencia para la recarga, denominadas como zonas prioritarias para la recarga de los acuíferos de la subcuenca (principalmente el acuífero San Miguel de Allende) y por último, se concluye sobre una visión general del contexto del manejo conjunto del agua en la subcuenca y sus implicaciones a nivel regional principalmente, como un modelo de gestión y manejo que se basa en distintos actores y estudios para lograr el objetivo de mantener la base de recursos para su explotación sustentable actual y futura, así como reforzar los lazos de identidad y pertenencia en los distintos usos dados al agua en la zona de estudio.

Por tanto, a manera de conclusiones particulares, se describen cuatro aspectos relacionados con el manejo del agua y la relación que guardan con la intervención de distintos actores en la zona de estudio.

a. *Sobre la perspectiva institucional*

Desde el ámbito institucional se tiene una perspectiva del manejo sustentable del agua con una estructura participativa incluyente, donde los actores que inciden en la explotación de los acuíferos en el Estado de Guanajuato se apoyan en las organizaciones de usuarios del agua o COTAS, en donde se desarrollan e incentivan acciones que fomentan la participación social en el manejo del agua, creando fideicomisos para la participación social en el manejo del agua como figuras de gestión y participación incidente entre lo local y lo institucional.

La concertación de actores institucionales y políticos que definen acciones y ejes a seguir en el manejo sustentable (Figura 4.15) de una cuenca es frecuentemente visto a nivel local y regional, contando con la participación de académicos de distintas universidades del país y dependencias de gobierno a nivel federal, estatal y municipal. Estos actores fungen como puente entre los campesinos y productores ante las instituciones y dependencias de gobierno, principalmente para gestionar recursos para el desarrollo de distintas actividades ambientalistas y de concientización social.

En el municipio de San Miguel de Allende y el Estado de Guanajuato se ha desarrollado un importante acopio de información geográfica referente al manejo del agua, mediante el aporte de documentos, publicaciones, informes técnicos, etc., con el objeto de poder incrementar la eficiencia en el uso del agua en zonas urbanas, rurales y productivas. Desde el ámbito municipal se ha apostado por la consolidación del organismo operador del agua, del cual se espera que su operación sea rentable, considerando sistemas comerciales y estudios tarifarios que incrementen sus ingresos.



Figura 4.15. Toma de acuerdos desde lo institucional y el manejo del agua desde lo local en la zona de estudio

En el municipio de San Miguel de Allende, como en el estado, se ha implantado una campaña permanente de cultura del cuidado del agua, transmitiendo por distintos medios de comunicación el cuidado que se debe dar al manejo del agua, se generan convenios de colaboración entre el municipio, las organizaciones no gubernamentales y los comités técnicos de agua subterránea (COTAS), todo con el propósito de concientización y promoción de valores afines al buen uso del agua partiendo desde lo local.

b. Sobre el manejo agropecuario intensivo en la subcuenca

Existe poca tecnificación en los sistemas de riego, siendo la actividad agrícola la principal fuente de consumo de agua en la zona de estudio. Se carece de autosuficiencia forrajera para la producción ganadera intensiva, pues se compran pacas de forraje de regiones cercanas para compensar la producción local.

En la zona agrícola intensiva del norte de la subcuenca se tiene una producción de ensilado de maíz que es utilizado a manera de autoconsumo para la producción ganadera, mientras que el restante se compensa con grano, lo que

incrementa el costo de la producción ganadera. Los ganaderos del Municipio de San Miguel de Allende están unidos a un movimiento el cual les permite no realizar el pago de la luz que se consume en la producción ganadera, lo que genera falsas utilidades y una idea equivocada de la rentabilidad de la producción, además de un derroche en el consumo de luz.

La producción extensiva padece graves problemas sociales, puesto que la mayoría de los propietarios de ganado de traspatio no le dan importancia a sus animales ya que no ven ganancias en ellos, tanto para el autoconsumo o su venta. Si bien parte del déficit forrajero pudiese ser compensado con la compra del forraje de producción de temporal de los ejidos cercanos, ensilándolo y alargando el tiempo en que puede ser usado, el trato y la venta del forraje sobrante suele quedarse dentro de las mismas parcelas de producción, pues la mayoría no cuenta con un sistema de comercialización.

Se reporta una disminución de la actividad ganadera tecnificada y no tecnificada en el Municipio y una fuerte presión por parte de las inmobiliarias para el cambio en el uso de suelo, no solo en regiones ganaderas, pues se especula con el mercado inmobiliario, generando que los precios de venta de propiedades esté por debajo de la realidad y encareciendo la mano de obra en la construcción.

Debido a la baja tecnificación en los sistemas de riego, al contar con riego rodado principalmente, la eficiencia en el riego de este tipo varía entre el 30 y el 40%, derrochando el restante 60% del agua extraída del subsuelo y de paso contaminándola en su retorno al subsuelo, pues esta agua recorre las zonas de cultivo y entra en contacto con agroquímicos y contaminantes fecales producto del ganado en la zona. Por tanto, no solo se contamina y desperdicia un gran porcentaje del agua extraída de los acuíferos, sino que el costo de extracción se ve subsidiado por el municipio o a nivel estatal o federal, con la denominación de ser una producción agrícola y ganadera que coadyuva al desarrollo económico regional.

Es importante que se tenga un seguimiento de las condiciones de los niveles estáticos del agua en los acuíferos de la zona, pues esto nos permite discutir sobre la disponibilidad actual y el manejo y cuidado que deberá dársele al agua subterránea para asegurar su explotación actual y futuro, tanto en cantidad como en calidad, por lo que actualmente el Gobierno del Estado a través de la CONAGUA ha implementado una serie de estudios para la planeación del uso y explotación sustentable del acuífero de la cuenca alta del Río Laja, además se monitorean pozos en acuíferos cercanos al de San Miguel de Allende para conocer la evolución de los niveles estáticos de la red piezométrica estatal.

c. Sobre el cuidado de las zonas prioritarias para la recarga de acuíferos

Las zonas demarcadas como prioritarias para la recarga corresponden a zonas de lomeríos y faldas de los cerros La Márgara, Tábula y Los Picachos, cada una de ellas distribuidas de manera asimétrica en la subcuenca Tábula-Picachos. Adicionalmente, se considera que también las zonas de manantiales y cauces de los arroyos propician la recarga, sin embargo, es necesario trabajar en estas zonas para aumentar la retención de suelo y agua, mediante la introducción de obras de tipo CONSA (Conservación de Suelo y Agua) como las presas filtrantes en los cauces de arroyos, la piedra acomodada y terrazas en parcelas.

Si bien no se tiene iniciativa local para la implementación de obras como la reforestación y construcción de tinas ciegas en zonas comunes de los ejidos, a nivel parcelario se cuenta con una gran aprobación en cuanto a la eficacia del terraceo y las presas filtrantes en el cuidado de las zonas de cultivo. Se cuenta con experiencias positivas en la adopción de técnicas de conservación del suelo y el agua, las cuales deben ser retomadas por los actores institucionales y potencializarlas hacia distintas obras de conservación y manejo sustentable de los recursos de la subcuenca, para que desde el ámbito local puedan incidir sensibilizar los cambios en la explotación hídrica conjunta del agua en la zona.

Por otro lado, las zonas donde se presenta todo el sistema de bordería en cada una de las microcuencas deberá procurarse su cuidado y mantenimiento,

pues es en ellas donde también se realiza una recarga importante hacia los acuíferos. Se cuenta con un aproximado de 187 cuerpos de agua a manera de sistema de bordería, los cuales funcionan como cuerpos receptores y de almacenamiento de agua de lluvia, la cual es utilizada principalmente para dar de beber al ganado, con una duración del agua en ellos de 8 meses aproximadamente, lo que representa un aporte importante para los acuíferos.

La mayoría de los bordos construidos en zonas comunes de los ejidos suelen no ser cuidados o rehabilitados de manera permanente, pues no existe organización para su mantenimiento, sino que solo llega el apoyo institucional para su construcción y se olvidan del mantenimiento del mismo. En la zona se tiene una degradación del suelo de fuerte a moderada, lo que agrava el período de vida útil para este tipo de construcciones de tierra o de mampostería, pues al haber mayor cantidad de arrastre de material proveniente de las partes altas de la subcuenca, los bordos suelen azolvarse en un plazo de 3 a 5 años aproximadamente, reduciendo la capacidad de almacenamiento de los mismos.

Por otro lado, se ha optado por la construcción de bordos dentro de parcelas privadas, con el inconveniente de la reducción de la zona cultivable y la individualización del uso del agua captada, sin embargo, es la visión que se tiene para la construcción de nuevos bordos en la zona, siempre y cuando sea dentro de la parcela de algún productor o ejidatario, pues se reclama que son ellos quienes ponen más atención al mantenimiento de los mismos.

d. Sobre el contexto regional del manejo sustentable de los recursos

El Estado de Guanajuato y en particular el municipio de San Miguel de Allende enfrentan un problema de desequilibrio entre la demanda de agua y su disponibilidad, aún cuando se ha estrechado el rezago en la cobertura de agua potable en las zonas rurales, el saneamiento de estas aguas utilizadas y los desechos sanitarios no tratados representan focos de infección y contaminación del recurso hídrico superficial. Es por esto que surge la necesidad de ordenar los

usos dados al agua en la subcuenca en pro del desarrollo económico local y regional, mediante acciones encaminadas a la reducción de la extracción de agua superficial y subterránea mediante un uso y administración eficientes, tanto en los sistemas públicos como productivos.

El manejo hídrico desde el contexto institucional pretende reflejar una gestión participativa y corresponsable del agua, respetando la base de los recursos naturales y apostándole a la recuperación del equilibrio entre la disponibilidad y la demanda del agua y la mitigación de fenómenos extremos mediante la planificación regional del manejo conjunto del agua.

Las necesidades humanas y del ganado de agua son relativamente reducidas, sin embargo, producir los alimentos diarios para una persona puede necesitar alrededor de 5 000 litros de agua. Es por esto que la producción de alimentos y fibras vegetales requiere de una mayor proporción de agua para, cerca del 70% del agua que es extraída de pozos. Por tal motivo, deben señalársele a los tomadores de decisiones tres temas decisivos en la gestión y el manejo del agua en la agricultura para los próximos años:

- *La Modernización.* Donde la irrigación presente una ventaja competitiva, las instituciones pertinentes adopten una orientación de servicio y mejoren el desempeño económico y ambiental, mediante la adopción de nuevas tecnologías, la modernización de la infraestructura y promoción de la participación de los usuarios locales
- *La Participación.* Estas iniciativas sólo pueden dar buen resultado si existe un sólido compromiso con la participación del usuario en la planificación y en las decisiones de inversión, así como con la distribución plena y abierta de la información económica y ambiental
- *La Inversión.* Los incentivos para que inviertan las personas y los grupos de usuarios en gestión del agua requieren presentar una clara ventaja competitiva, de servicio tanto a los mercados locales como a los de exportación, reglamentado a los agricultores y la financiación de la infraestructura pública a gran escala

IV.7. Literatura citada

- Alberich T. 2007. Investigación-Acción Participativa y Mapas Sociales. Área de trabajo social y servicios sociales. Departamento de Psicología. Universidad de Jaén. Universidad Complutense de Madrid. Madrid, España. 14p.*
- Córdova M., Velázquez A., Mas J. R. 2010. Priorización de áreas para recuperar la función hidrológica de la subcuenca Támara- Picachos, Guanajuato. Tesis de Maestría. Universidad Autónoma de Querétaro. Maestría en Gestión Integrada de Cuencas. Santiago de Querétaro, Qro., México. 156p.*
- Cotler, H. 2004. "La cuenca Lerma-Chapala: Algunas ideas para un antiguo problema", Gaceta Ecológica, INE, México, DF.*
- Dourojeanni, A. et al. 2002. "Gestión del agua a nivel de cuencas, recursos naturales e infraestructura", CEPAL, ONU. 83pp.*
- Harary J., Norman T. 1953. Saberes organizativos para la democracia. Apropiación y usos del agua, nuevas líneas de investigación. Centro de Estudios Estratégicos Nacionales, AC. Canadá.*
- F. Esteban Kuehne Keyder. Secretario de la Asociación de Ganaderos Unidos de Allende, Gto. Libramiento Manuel Zavala Zavala s/n. Colonia Centro. Tel A. Ganadera: (415) 150 72 50.*
- Idalberto C. 2007. Tipos de Organizaciones. Introducción a la Teoría General de la Administración, Séptima Edición. McGraw-Hill Interamericana., Págs. 2 y 160 al 172.*
- Manco, J. F. 2005. Programa estratégico: Innovación, aprendizaje y comunicación para la cogestión adaptativa de cuencas. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. CATIE. Costa Rica. 18 pp.*
- M.V.Z. Ignacio Agustín Soto Gutiérrez. Presidente de la Asociación de Ganaderos Unidos de Allende, Gto. Tel Particular: (415) 155 80 48.*
- Ojeda D., Cely J. y R. Marín. 1991. Estrategia conceptual y metodología para la conservación de cuencas. <http://www.agua.org.mx/content/view/609/110/> (consultada en agosto de 2009).*

- Paredes, J.; Solera, A.; Andreu, J. 2007. Modelo GESCAL para la simulación de la calidad del agua en sistemas de recursos hídricos. Manual de usuario. Versión 1.0. Ed. Universidad Politécnica de Valencia. Valencia, España.*
- Pineda-López, R., Domínguez, M., Hernández, L., y Ventura E. 2004. "Microcuencas y Desarrollo sustentable: tres casos en Querétaro", UAQ-DRT-SEMARNAT, México. 205 pp.*
- Pineda-López, R. Domínguez Cortazar, M. A., Quintanar, E., Gilio Medina, M., Roitman, P., Fonseca Tapia, A., García Franco, M., Briceño, M., Vázquez Sánchez, G. y J. Rickards Guevara. 2007. "Hacia una gestión integrada de cuencas en Querétaro", INE-SEMARNAT, México.*
- Pineda, R. 2002. "Gestión de cuencas hidrográficas en México", Plan Nacional de Microcuencas, UAQ. Querétaro, Qro. México. 21pp.*
- PMI-STP. 2009. Formación de una línea de base científica para el manejo integrado de la subcuenca específica Támbula-Picachos en San Miguel de Allende, Guanajuato. Abreviado como Plan para el manejo integral de la subcuenca Támbula-Picachos. 582p. Guanajuato, México.*
- SRL. 2010. Organización No Gubernamental: Salvemos al Río Laja A. C. Segundo Taller de Gobernanza en la Cuenca Alta del Río Laja, Gto. San Miguel de Allende, Guanajuato.*
- Solís, C. 2004. Las Redes de Conocimiento en la Internacionalización de la investigación en administración. Depto. de Economía UAM. Sep. 2004, pags. 9-23.*

CONCLUSIONES GENERALES

Como conclusiones generales del proyecto de tesis resaltan tres apartados importantes: sobre las tendencias de crecimiento de las demandas hídricas en la subcuenca, sobre la incertidumbre en la precisión de los datos y los resultados obtenidos en las distintas modelaciones y por último, sobre los actores locales y su incidencia presente y futura en la toma de decisiones sobre el manejo de sus recursos, tanto a nivel microcuenca como a nivel regional o subcuenca. Por tanto, a continuación se desarrollan los tres apartados de conclusiones generales para la presente propuesta de tesis.

a. Sobre la tendencia de crecimiento en las demandas hídricas

En cuanto a las tendencias de crecimiento del uso del agua resaltan dos aspectos importantes: el suministro tanto para la producción agropecuaria local como para el abastecimiento urbano (de la Ciudad de San Miguel de Allende y las demás localidades presentes en la subcuenca).

Respecto al uso agropecuario del agua, las zonas de producción agrícola cercanas a la Ciudad de San Miguel de Allende viven en una aparente presión de inmobiliarias locales, regionales y nacionales que incentivan a los dueños de estas tierras agrícolas a vender sus propiedades para la construcción de nuevos desarrollos habitacionales, sin embargo, se ha observado que esta presión ha disminuido en los últimos 5 años, debido a distintos factores económicos y sociales que alejan a los compradores extranjeros principalmente que adquirirían viviendas en la zona conurbada de la ciudad.

Por otro lado, se tiene cada vez mayor tecnificación en el uso del agua para riego en las zonas de producción intensiva, resaltando el riego por goteo y con aspersores, lo que disminuye el desperdicio de agua extraída del subsuelo. Sin embargo, en los próximos deberá apoyarse de manera decidida la tecnificación de la totalidad de las tierras de riego intensivo para garantizar la sustentabilidad de esta actividad respecto a otras como la industria inmobiliaria.

En la actualidad, la producción agropecuaria tiene una muy incipiente relación con las dependencias de gobierno encargadas del suministro eléctrico y dotación hídrica, pues con los primeros solo se tienen convenios para aumentar los subsidios de consumo de energía eléctrica para la producción agrícola y con CONAGUA y los COTAS solo se tiene una relación distante y episódica, visitando las zonas de pozos profundos para actualizar registros de profundidad del agua, eficiencia de las bombas y volúmenes de extracción de agua. Sin embargo, no se tiene ningún tipo de adiestramiento o capacitación sobre usos óptimos del agua para riego o sobre algún tipo de alternativa de producción local de mayor rentabilidad económica.

Por tanto, es importante que, a mediano plazo, se realice una apertura de nuevos mercados relacionados con la producción agropecuaria, los cuales sean más competitivos y de mayor atracción y percepción económica, que disminuyan la demanda hídrica en este sector y permitan la paulatina recuperación de los niveles de los acuíferos en la zona de estudio y su uso sustentable y racional en un futuro cercano.

Sobre el abastecimiento urbano, en el Municipio de San Miguel de Allende se tiene un suministro de casi el 100%, por lo que el abastecimiento de agua mediante el entubado del servicio garantiza una dotación permanente del recurso hídrico, para realizar las distintas actividades desarrolladas a nivel local en las comunidades y la cabecera municipal. Sin embargo, resaltan dos aspectos importantes:

1. La calidad del agua que se suministra, pues no se tiene un registro de la calidad del agua extraída de los pozos de la mayoría de las localidades de la subcuenca, si a caso de los pozos usados para abastecer a la Ciudad de San Miguel de Allende
2. La sustentabilidad de la explotación de los acuíferos para la extracción del agua para abastecimiento urbano, principalmente en la Ciudad de San Miguel de Allende, la cual consume más del 80% del agua para consumo urbano en la subcuenca, abasteciéndose principalmente de la

zona de salida del flujo de agua subterránea del acuífero Cuenca Alta del Río Laja (o Independencia)

Es sabido que existen problemas respecto a la calidad del agua en los Municipios de Dolores Hidalgo, San Miguel de Allende, San José Iturbide, San Luis de la Paz, Doctor Mora y San Diego de la Unión, donde se han encontrado valores de arsénico, fluoruros y carbonatos que sobrepasan los valores de referencia en la Norma Oficial Mexicana de partes por millón disueltos en el agua estudiada en la zona, lo que ha acarreado distintos problemas médicos como la caída de piezas dentales en niños y problemas asociados a distintos tipos de cáncer en personas adultas que residen en la zona.

Es importante resaltar que, debido a que el crecimiento de la demanda industrial no ha sufrido cambios significativos en un lapso aproximado de 10-15 años, se considera que seguirá manteniendo la misma tendencia estable de demanda. También, cabe resaltar que la mayor parte de esta industria auto-abastecida corresponde a pequeñas industrias de bajo consumo hídrico, como son: ladrilleras, queserías, granjas, etc.

Por otro lado, existe una demanda hídrica para la Presa de Allende que no es considerada dentro del estudio presente, la de un nivel mínimo para la producción piscícola, la cual es desarrollada por pescadores de las microcuencas de San Marcos de Begoña, San Miguel de Allende y Santa Teresita de Don Diego, teniendo un marcado contraste en el desarrollo de esta actividad, pues mientras que algunos realizan pesca deportiva, otros la realizan como medio de subsistencia y medio de percepción económica local.

Por último, si bien el cálculo de las proyecciones de crecimiento se realizó de manera simplificada para poder tener un valor de referencia en el cálculo de las proyecciones de demanda futuras a ser modelados posteriormente en el programa Aqutool DMA, no se tiene el objetivo (en esta tesis) de conocer los valores precisos de crecimiento tendencial de las demandas hídricas locales y regionales ó referenciar su cálculo bajo la perspectiva de tendencias de crecimiento con la

influencia de cambio climático regional. Sin embargo, se sabe que el cambio climático producirá un impacto importante en los recursos hídricos y en la forma en que deberán ser gestionados, partiendo del hecho de que el abastecimiento urbano deberá prevalecer sobre las demás demandas, garantizando el uso antrópico básico.

Los modelos de predicción del clima deberán ser ajustados a los cambios generales del ciclo hidrológico regional, aumentando la incertidumbre de los resultados, pasando a la gestión de riesgos, vulnerabilidad e incertidumbres ante la eventual presencia de eventos extremos que limiten el abastecimiento hídrico para el desarrollo actual y futuro de las actividades antrópicas regionales y locales.

b. Sobre la incertidumbre y precisión de los modelos usados

El problema de la calidad y precisión de los datos da pauta a una estimación del margen de incertidumbre que tienen los resultados, derivado de la incertidumbre en los datos originales. Sin embargo, la gestión de riesgos sobre la continuidad de la forma de explotación hídrica actual, la cual aborde el impacto del cambio climático a nivel regional se encuentra fuera de los objetivos de esta tesis.

Por un lado se tiene que la escasez de los datos pluviométricos en la zona de estudio es un factor importante que contribuye a la incertidumbre de los resultados presentados en los modelos usados para el cálculo de las componentes del balance hídrico (escurrimiento, evapotranspiración e infiltración principalmente). Por otro lado, se tiene muy poco detalle en los datos de bombeo y una ausencia de datos de aforos en los pozos de referencia usados para la elaboración del modelo hidrológico subterráneo del acuífero San Miguel de Allende usando el programa de autovalores y autovectores (Aquivall).

De igual forma, el cálculo de la capacidad de almacenamiento de los bordos y represas de la zona de estudio fue realizado de manera simplificada y validando su cálculo con datos de campo recabados de manera subjetiva con la opinión de actores locales que desarrollan sus actividades productivas en la zona de estudio.

Se propone que para poder mejorar el diagnóstico del déficit de la demanda superficial y subterránea presente en la subcuenca, se cuente con mejores sistemas de medición de las variables climáticas, lo cual aporte menor incertidumbre y mayor precisión y fiabilidad en los resultados obtenidos de la modelación hídrica superficial y subterránea hecha en el programa SimGes de Aquatool DMA, lo cual permitiría a mediano y largo plazo una verdadera herramienta de ayuda a la toma de decisiones sobre el manejo y la gestión de los recursos hídricos a nivel regional y local.

En este sentido, la mejora de la medición de niveles estáticos, de volúmenes de extracción de agua subterránea, la presencia de un mayor número de pluviómetros, aforadores en las principales corrientes intermitentes que abastecen a los principales cuerpos de agua de la zona, así como infiltrómetros repartidos en distintas zonas de la subcuenca, permitirá tener valores de referencia y contraste respecto a los cálculos realizados por las distintas metodologías usadas para el cálculo de las componentes del balance hídrico.

Por último, el contexto de una mayor precisión en el resultado de los datos de modelación de los escurrimientos en la zona de estudio se hacen latentes y necesarios en la microcuenca de San Miguel Allende (microcuenca de carácter urbano), que es un punto con alto grado de riesgo hidrometeorológico, pues es la zona de salida de los escurrimientos generados en una gran porción de la subcuenca (abarcando el escurrimiento de al menos otras 6 microcuencas).

La localización de la Ciudad de San Miguel de Allende en esta zona representa un incremento en la vulnerabilidad y susceptibilidad de la incidencia de eventos extraordinarios y procesos de riesgo, que si bien son incipientes o poco conocidos, deben ser tomados en cuenta y así poder ser prevenidos. La prevención de riesgos, siendo tomada en cuenta, mediante una estrategia de prevención que permita reducir la vulnerabilidad de la incidencia de eventos extremos como inundaciones en las partes bajas de la subcuenca, teniendo reglas de operación en el manejo del agua superficial y subterránea que mitiguen los efectos adversos de períodos extremos de sequía y

precipitación extrema en la zona, procurando incrementar la calidad de vida de los habitantes en la zona urbana y rural de la subcuenca.

c. Sobre la futura incidencia de actores en la subcuenca

Se describió un mapa de actores donde (de manera ideal) se dibujaron las conexiones o relaciones que estos deberían tener con el manejo del agua en la subcuenca, su relación a nivel local, regional y nacional deberán darse de tal forma que propicien el trabajo conjunto hacia un bien común: la detención de la degradación ambiental y la conservación de los recursos existentes para que la explotación y producción actual y futura sean sustentables, socio-económica y medioambientalmente.

Habría que tener mayor presencia de “agentes de cambio” que incidan de manera local en el desarrollo y capacitación de técnicas tipo CONSA que propicien el cuidado del suelo y el agua principalmente, pues en base a la riqueza del primero se tendrá mejor producción en la agricultura de temporal, la cual es practicada en un 75% de la subcuenca y se relaciona directamente con la mayoría de las zonas agrícolas de ejidatarios y pequeños propietarios y que también coinciden con las zonas denominadas aptas para la recarga de acuíferos en la subcuenca.

Se pudiese pensar que se desarrollarán futuros conflictos por la competencia en el uso del agua, principalmente entre los usos agropecuario y urbano, sin embargo, habrá que desarrollar los mecanismos necesarios para eficientar la recaudación por concepto de abastecimiento de agua (la cual deberá ser de calidad) y de igual forma, el sistema de recolección y tratamiento de aguas residuales deberá tener una mayor cobertura en las zonas rurales, donde el tratamiento deberá realizarse de forma rudimentaria principalmente, mediante ecotecnias que de manera sencilla posibiliten el cuidado ambiental sin que repercutan en una inversión económicamente inviable.

Además, el observar propuestas alternas de competencia sobre el uso y manejo del agua a nivel local y regional propician el aumento en la participación de distintos actores que de manera directa o indirecta se encuentren relacionados con los distintos usos del agua en la zona (tanto en cantidad como en calidad). Es por esto que mientras mayor sea el número de organizaciones civiles, gubernamentales y privadas y públicas que conozcan de la situación de los recursos naturales en la zona de estudio, mayor será su interés y participación en el cuidado y uso racional de los mismos.

Otro aspecto importante en el desarrollo social del proyecto de tesis se refiere al establecimiento de puentes de comunicación entre los distintos productores locales, las organizaciones no gubernamentales pro-ambientalistas y los sectores gubernamentales comprometidos con el desarrollo y tecnificación del campo, con el cuidado ambiental y el arraigo socio-cultural de tradiciones y costumbres específicas de la zona de estudio.

ANEXOS

1. Entrevista semi-estructurada para informantes clave en las zonas ejidales de recarga a los acuíferos

Lugar: _____ Fecha: _____

Nombre del informante: _____

Cargo o labor que desempeña: _____

a. Nombre del ejido/propiedad:

b. ¿Cuentan con bordos en el ejido?

c. ¿Quién les da mantenimiento?

d. ¿Desde cuándo están funcionando?

e. ¿Cuántos pozos de agua ubica?

f. ¿Para qué es usada el agua de los pozos?

g. ¿Conoce la profundidad a la que extraen el agua?

h. ¿Usan agua para el ganado? ¿en qué meses?

Opinión respecto al manejo actual del agua en la zona:

a. ¿Quién usa más agua en su región? ¿en qué?

b. ¿Con qué zonas de la subcuenca los relaciona?

c. ¿Reconoce alguno de los siguientes cultivos como cosechados en la zona? ¿Cuánta agua es usada para regarlos?

Alfalfa	
Maíz	
Alcachofa	
Brócoli	
Espárrago	

d. ¿Considera que el agua está distribuida equitativamente?

e. ¿Quién considera que debe normar la cantidad de agua que se utiliza por el uso más demandante señalado?

2. Entrevista semi-estructurada para informantes clave en las zonas de demanda hídrica para la producción agropecuaria

Lugar: _____ Fecha: _____

Nombre del informante: _____

Cargo o labor que desempeña: _____

Opinión general sobre:

- Las áreas prioritarias de recarga y de mayor demanda

- Sobre el manejo del agua a nivel comunitario/municipal/estatal/regional
 - Relación campo/ciudad respecto al uso y cuidado del agua. ¿Quién considera que debe tener mayor responsabilidad?

 - Uso actual del agua VS el abastecimiento de generaciones futuras

- Sobre la construcción de un nuevo sistema de bordería o rehabilitación
 - Proyectos CONSA en la zona

- Cuidado y mantenimiento de bordos

- Sobre la explotación intensiva y la tecnificación del riego
 - Los sistemas productivos o actividades que requieren grandes volúmenes de agua

 - Aplicación de la regulación y vigilancia sobre los volúmenes utilizados para riego
 - *por una entidad política*_____
 - *por una entidad comunitaria*_____
 - Zonas y decretos de veda de extracción de agua subterránea

- Sobre los conflictos y potencialidades detectados respecto a la explotación del agua subterránea y superficial, encaminada hacia un manejo sustentable del recurso_____
 - Estudios futuros respecto al abastecimiento del agua y tendencias de explotación sustentable

 - Rentabilidad y sustentabilidad de las actividades desarrolladas actualmente

 - Percepción sobre el desarrollo económico de SMA en los últimos 20-10 años / transiciones entre sistemas productivos

 - Actividades alternas con mayor percepción económica en la zona

 - Viabilidad del crecimiento de la ciudad ante escenarios de escases de agua en la zona

 - Venta de parcelas para lotificación
