



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

PROGRAMA DE MAESTRÍA Y DOCTORADO EN INGENIERÍA

FACULTAD DE INGENIERÍA

***CONSTRUCCIÓN DE ESCENARIOS:
ESCENARIOS AL 2020 PARA EL ACUÍFERO DEL VALLE
DE TOLUCA***

TESIS

COMO REQUISITO PARA OBTENER EL GRADO DE:

MAESTRA EN INGENIERÍA

INGENIERÍA DE SISTEMAS-PLANEACIÓN

PRESENTA:

ING. RITA VICTORIA DE LEÓN ARDÓN

TUTOR:

DR. GABRIEL DE LAS NIEVES SÁNCHEZ GUERRERO

CIUDAD UNIVERSTARIA, MÉXICO, D.F., 2010





Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

Jurado Asignado

Presidente: Dr. Javier Suárez Rocha
Secretario: Dr. Juan Manuel Estrada Medina
Vocal: Dr. Gabriel Sánchez Guerrero
1er. Suplente: Dr. Benito Sánchez Lara
2ndo Suplente: Dr. Tomás Bautista Godínez

Lugar donde se realizó la Tesis:
Universidad Nacional Autónoma de México
Circuito Exterior, Ciudad Universitaria
Edificio Bernardo Quintana Arriola
México, D.F

Tutor de Tesis:

Dr. Gabriel de las Nieves Sánchez Guerrero

Agradecimientos

A mi familia, por su apoyo incondicional, por enseñarme que con dedicación, esfuerzo y deseos de superación las metas se alcanzan y se vence la adversidad.

A mi tutor, Dr. Gabriel de las Nieves Sánchez Guerrero: por sus enseñanzas, conocimientos, y su guía para concretar este trabajo.

Al Dr. Javier Suárez Rocha: por su motivación constante y por sus enseñanzas.

A mis sinodales, Dr. Benito Sánchez Lara, Dr. Tomás Bautista y Dr. Juan Manuel Estrada por las perspectivas académicas brindadas.

A los expertos participantes, por sus opiniones y compromiso mostrado durante el desarrollo de este trabajo.

A CONACYT, por el soporte económico otorgado para los estudios de Maestría, que permitieron finalizar otra etapa de mi formación académica.

A mis amigos, por estar a mi lado durante la maestría, y recordarme que la amistad es un valor universal que siempre va más allá de fronteras y de enfoques culturales.

Contenido

RESUMEN	9
ABSTRACT	9
INTRODUCCIÓN	10
1. PROBLEMÁTICA	12
1.1 EL AGUA EN MÉXICO.....	12
1.2 PROBLEMÁTICA DEL ACUÍFERO DEL VALLE DE TOLUCA.....	15
1.3 CONTEXTUALIZACIÓN	16
1.4 PROBLEMA CONCRETO POR RESOLVER.....	16
1.5 JUSTIFICACIÓN	16
2. CONCEPTOS TEÓRICOS PARA LA CONSTRUCCIÓN DE ESCENARIOS	20
2.1 CONCEPTO DE ESCENARIOS.....	20
2.2 CARACTERÍSTICAS DE LOS ESCENARIOS.....	21
2.3 TIPOLOGÍA DE LOS ESCENARIOS.....	22
2.4 PRINCIPALES METODOLOGÍAS PARA EL DESARROLLO DE ESCENARIOS.....	24
2.5 METODOLOGÍA A EMPLEAR	29
3. CONSTRUCCIÓN DE ESCENARIOS.....	41
3.1 UBICACIÓN DEL SISTEMA Y CONOCIMIENTO PRECISO DE LA SITUACIÓN ACTUAL	41
3.1.1 UBICACIÓN DEL SISTEMA	41
3.1.2 CONOCIMIENTO PRECISO DE LA SITUACIÓN ACTUAL.....	47
3.1.3 CONCLUSIONES SOBRE LA SITUACIÓN ACTUAL	69
3.2 SELECCIÓN DE VARIABLES CLAVE.....	70
3.3 PRONÓSTICOS	75
3.4 TÉCNICA DELPHI	89
3.5 IMPACTOS CRUZADOS	97
3.6 ESCENARIOS	99
3.6.1 ESCENARIO BASADO EN PRONÓSTICOS	104
3.6.2 ESCENARIO BASADO EN OPINIÓN DE EXPERTOS	106
3.6.3 ESCENARIO MIXTO	111

CONCLUSIONES	122
RECOMENDACIONES.....	125
BIBLIOGRAFÍA.....	126
ANEXO A. PRONÓSTICOS	130
ANEXO B: TÉCNICA DELPHI RONDA 1	137
ANEXO C: TÉCNICA DELPHI RONDA 2.....	146
ANEXO D: TÉCNICA DELPHI RONDA 3	148
ANEXO E: TÉCNICA DELPHI: RONDA 4	155

Índice de Ilustraciones

Ilustración 1. Presión sobre el recurso hídrico	14
Ilustración 2. Tipología de escenarios	24
Ilustración 3. Metodologías para generar escenarios	27
Ilustración 4. Estructuración inductiva-deductiva e incremental	28
Ilustración 5. Metodología a emplear	29
Ilustración 6. Ubicación del Acuífero	30
Ilustración 7. Rubros del Programa Nacional Hídrico	31
Ilustración 8. Generación de tendencias y pronósticos	34
Ilustración 9. Técnica Delphi	36
Ilustración 10. Ejercicio Delphi	37
Ilustración 11. Procedimiento para generar impactos cruzados	38
Ilustración 12. Aplicación de Impactos Cruzados	39
Ilustración 13. Tipos de acuífero	42
Ilustración 14. Acuíferos del Estado de México	42
Ilustración 15. Macrolocalización-Microlocalización	43
Ilustración 16. AVT	44
Ilustración 17. El Acuífero como sistema	45
Ilustración 18. Esquema conceptual de la problemática	46
Ilustración 19. Crecimiento de la población	47
Ilustración 20. Tarifas y criterios	55
Ilustración 21. Zonas de Recarga	61
Ilustración 22. Geología y principales fallas	62
Ilustración 23. Zonas de inundación	63
Ilustración 24. Variables clasificación Van der Heijden	74
Ilustración 25. Clasificación de expertos	90
Ilustración 26. Actores clave	101
Ilustración 27. Línea del tiempo elementos portadores del futuro	103
Ilustración 28. Eventos, probabilidades y relaciones	108
Ilustración 29. Eventos, elementos portadores y relaciones	113
Ilustración 30. AVT al 2020	121

Índice de Gráficas

Gráfica 1. Disponibilidad natural	13
Gráfica 2. Publicación sobre escenarios y agua	18
Gráfica 3. Método de Brown	33
Gráfica 4. Índice de desarrollo humano	49
Gráfica 5. Producto Interno Bruto de I AVT	50
Gráfica 6. PIB por sector Económico	50
Gráfica 7. Usos del agua	53
Gráfica 8. Volumen concesionado	53
Gráfica 9. Inversiones en agua y medio ambiente	54

Gráfica 10. Enfermos con padecimientos de origen hídrico.....	60
Gráfica 11. PIB comparado con el volumen total.....	64
Gráfica 12. PIB-volumen agropecuario.....	64
Gráfica 13. PIB-Volumen industrial.....	65
Gráfica 14. Volumen total tratado-volumen total concesionado-volumen total tratado/volumen total concesionado.....	65
Gráfica 15. Comparación circular.....	66
Gráfica 16. Población 2020 (CONAPO).....	75
Gráfica 17. Población 2020.....	76
Gráfica 18. Tasa de crecimiento poblacional para el AVT.....	76
Gráfica 19. Tasa de crecimiento al 2020.....	77
Gráfica 20. PIB 2020.....	78
Gráfica 21. Cobertura de agua potable 2020.....	78
Gráfica 22. Cobertura de alcantarillado 2020.....	79
Gráfica 23. Disponibilidad de agua 2020.....	80
Gráfica 24. Disponibilidad de agua y población 2020.....	81
Gráfica 25. Volúmenes concesionados 2020.....	82
Gráfica 26. Volúmenes extraídos por el SACM 2020.....	83
Gráfica 27. Hectáreas cultivadas 2020.....	84
Gráfica 28. Volumen generado y tratado 2020.....	85
Gráfica 29. Enfermos con padecimientos de origen hídrico 2020.....	86
Gráfica 30. Niveles piezométricos 2020.....	87
Gráfica 31. Inversiones en agua 2020.....	87
Gráfica 32. Eventos tendenciales seleccionados con respecto a los expertos.....	93
Gráfica 33. Impactos cruzados para la totalidad de eventos.....	98

Índice de Tablas

Tabla 1. Matriz impactos cruzados.....	38
Tabla 2. Población económicamente activa 2005.....	48
Tabla 3. Tarifas para uso doméstico con medidor.....	56
Tabla 4. Tarifas para uso no doméstico con medidor.....	56
Tabla 5. Para uso doméstico sin medidor.....	57
Tabla 6. Para uso no doméstico sin medidor.....	58
Tabla 7. Cálculo WSI.....	68
Tabla 8. Resumen de escenarios.....	71
Tabla 9. Tabla Mixta Gallopín-GIRH.....	73
Tabla 10. Descripción de los expertos.....	89
Tabla 11. Eventos tendenciales.....	92
Tabla 12. Eventos no tendenciales.....	93
Tabla 13. Eventos y probabilidades de ocurrencia.....	94
Tabla 14. Probabilidad de ocurrencia por experto.....	95

Tabla 15. Impactos promedio	95
Tabla 16. Probabilidades iniciales y finales	97

Índice de Ecuaciones

- Ecuación (1). Regresión lineal
- Ecuación (2). Regresión logarítmica
- Ecuación (3). Regresión inversa
- Ecuación (4). Regresión polinomial
- Ecuación (5). Regresión compuesta
- Ecuación (6). Regresión potencia
- Ecuación (7). Regresión logística
- Ecuación (8). Suavizamiento exponencial simple
- Ecuación (9). Suavizamiento exponencial doble
- Ecuación (10). Valor a
- Ecuación (11). Valor B
- Ecuación (12). Lineal
- Ecuación (13). Pronóstico
- Ecuación (14). Error de pronóstico

RESUMEN

La preocupación por la preservación de los recursos hídricos ha crecido en los últimos años, ya que la mayoría de ellos sufren un considerable deterioro ambiental. El acuífero Valle de Toluca, es uno de los depósitos naturales de agua en México que abastece a millones de personas, desde los años setenta ha sido sobreexplotado y en su cuenca se encuentran niveles de contaminación alarmantes. Frecuentemente la planeación de recursos hídricos requiere de métodos y técnicas no convencionales, que permitan abordar las problemáticas desde una perspectiva integral para crear soluciones a largo plazo para la preservación de los mismos.

Los escenarios son herramientas bastante útiles para visualizar los posibles estados futuros de estos recursos. A partir de los escenarios los tomadores de decisiones pueden reflexionar y generar posibles soluciones.

Este trabajo, aplica una metodología de generación de escenarios al Acuífero Valle de Toluca; que utiliza datos tanto cuantitativos (proyecciones) como datos cualitativos (consulta a expertos), asimismo se emplearon las técnicas de Brown, ajustes de curvas, Método Delphi e impactos cruzados. Se generaron tres escenarios: el primero basado únicamente en pronósticos, el segundo toma en cuenta la opinión de expertos y el tercero utiliza tanto los pronósticos como la opinión de expertos, todos los escenarios indican una agudización de la problemática actual sin que existan evidencias de mejora o de rescate para el Acuífero Valle de Toluca, las tendencias son pesimistas y no reflejan puntos de inflexión para cambiar este curso actual.

PALABRAS CLAVE: Escenarios, Impactos Cruzados, Técnica Delphi, Pronósticos, Acuífero Valle de Toluca.

ABSTRACT

The concern for water resources preservation has grown in recent years, because most of them suffer a significant environmental degradation. The Toluca Valley aquifer, is one of the natural water storages in Mexico, it supplies millions of inhabitants. Since the seventies, it has been overexploited, also its watershed has alarming pollution levels. Frequently, the water resource planning requires less conventional methods and techniques, to aboard the “problématique” from a holistic perspective to create long-term solutions to preserve them.

The scenarios are very useful tools to visualize possible future states of these resources. From the scenarios decision makers can reflect and generate possible solutions.

This paper applies a generation scenarios methodology for the Toluca Valley Aquifer. This methodology uses both quantitative data (projections) and qualitative data (expert consultation). Also were used the Brown's technique, curve fitting, Delphi and cross-impact method. Three scenarios were generated: the first one based on forecasts, the second one with expert's judgments, and the third one that used both forecasts and expert's judgments. All the scenarios indicate a worsening of the current “problématique” without any evidence of Toluca Valle Aquifer improvement or recovery, the trends are pessimistic and don't show turning points to change the current course.

Keywords

Scenarios, Cross Impact Method, Delphi, Forecasts, Toluca Valley Aquifer

INTRODUCCIÓN

¿Cómo se crean escenarios? La respuesta a esto es como la respuesta a muchas otras preguntas sobre las formas de arte. Una forma es hacerlo por hacerlo. Otra forma es practicar o recibir el entrenamiento y el uso de reglas y guías para hacerlo. JOSEPH F. COATES

El agua es parte fundamental del ser humano, alrededor de ella gira gran parte de su dinámica de vida que incluye desde sus funciones orgánicas hasta las productivas y sin embargo aún no se le otorga el valor que le corresponde, y tampoco se visualiza la magnitud en que se depende de ella.

Actualmente, alrededor del mundo millones de personas sufren de su escasez. En México se sufre ya de las consecuencias del denominado estrés hídrico que es producto de la sobreexplotación de los recursos hídricos, del aumento desmedido de la población y las condiciones áridas en algunas regiones de su territorio. La preservación de los recursos hídricos es una tarea fundamental, que en los últimos años ha venido tomando un mayor auge a nivel global. Una inquietud constante es saber que puede ocurrir en el futuro con ellos, con el fin de tomar decisiones en el presente que produzcan resultados deseables en el futuro.

Los escenarios son instrumentos que están siendo ampliamente utilizados sobre todo en materia ambiental y por tanto se han aplicado en la temática del agua, ya que son herramientas que permiten abordar las problemáticas desde una perspectiva integral creando soluciones a largo plazo para la preservación de los recursos hídricos, y es a partir de los escenarios que los tomadores de decisiones pueden reflexionar y generar posibles soluciones.

El objetivo general del presente trabajo fue la construcción de escenarios para el Acuífero Valle de Toluca con base en los factores técnicos, sociales, ambientales, y económicos implicados que contribuyan a facilitar la labor de toma de decisiones de las diferentes instituciones involucradas en la conservación del mismo.

Los objetivos específicos fueron determinar las variables de tipo técnico, social, ambiental y económico, la realización proyecciones y predicciones para la determinación de los posibles estados futuros del acuífero, y la aplicación de las técnicas Delphi e Impactos cruzados para la generación de información y para la cuantificación de resultados respectivamente.

El Acuífero Valle de Toluca (AVT) refleja un estrés hídrico elevado¹, este acuífero es uno de los 101 acuíferos sobreexplotados de la República Mexicana, está ubicado en el Estado de México y muy

¹ El estrés hídrico es un fenómeno que implica que la cantidad disponible de agua sea menor a la cantidad demandada por razones de extracción excesiva y/o mala calidad.

cercano al D.F. El inicio del deterioro ambiental del acuífero empezó en los años setenta debido al crecimiento poblacional e industrial acelerado y que continúa actualmente, esto ha provocado estados de sobreexplotación y contaminación alarmantes; y pesar de lo anterior, gracias a este recurso, millones de personas cuentan con la disponibilidad de agua para cubrir sus necesidades básicas. De la situación anterior, es que nace el interés por investigar su futuro al 2020 mediante el desarrollo de escenarios.

La construcción de los escenarios para al AVT que se presentan en este trabajo, se hizo combinando datos cuantitativos (estadísticas) y cualitativos (opiniones de expertos de diferentes disciplinas que laboran tanto en el ámbito de gobierno² como académico). Los puntos desarrollados a continuación incluyen: la problemática, los principales conceptos teóricos sobre escenarios, la ubicación y conocimiento preciso de la situación actual, la generación de los escenarios y presentación de los mismos.

La sección de problemática describe brevemente la situación crítica del agua a nivel mundial, en México y, por último, en el Acuífero Valle de Toluca, presentando estadísticas básicas. Los principales conceptos teóricos sobre escenarios que se presentan incluyen las diversas etapas en relación a la metodología empleada, desde la ubicación del sistema a la generación de escenarios, todo abordado desde una perspectiva puramente teórica.

En lo que corresponde a la sección titulada la ubicación y conocimiento preciso de la situación actual del acuífero Valle de Toluca, en él se procede a conocer los siguientes aspectos: macrolocalización, microlocalización, el acuífero como sistema, contexto geográfico y socioeconómico, la situación de los recursos hídricos, la clasificación de los usos del agua, Infraestructura hidráulica, los instrumentos de gestión del agua, aspectos políticos e institucionales, salud y medio ambiente, fenómenos extremos y un análisis gráfico que busca interrelacionar dos o más variables de los diversos aspectos.

En lo relativo a los pronósticos, éstos se muestran clasificados en cuatro rubros importantes: contexto demográfico y económico, contexto tecnológico, contexto ambiental y el contexto inversiones. También se desarrolla de manera aplicada las técnicas heurísticas Delphi e impactos cruzados. Para los pronósticos se utilizan las curvas de regresión y la técnica de Brown.

El software KSIM, fue empleado para el desarrollo de los impactos cruzados, el mismo fue desarrollado por Niccolas [1]. Finalmente, en la última sección se presentan los escenarios de una forma narrativa. El alcance de este trabajo se limita únicamente a la construcción de escenarios de carácter exploratorio para el Acuífero del Valle de Toluca. No pretende otorgar lineamientos o sugerir acciones para la solución de la problemática existente.

² Los expertos de gobierno consideradas son personas con un alto conocimiento generalmente de carácter técnico que laboran en este ámbito.

1. PROBLEMÁTICA

En este capítulo se describe la situación del agua en México, posteriormente se aborda la problemática del Acuífero Valle de Toluca, el problema concreto por resolver y su respectiva justificación.

1.1 El Agua en México

El agua es un recurso esencial para la vida humana, con base en ella se realizan procesos biológicos, industriales, sociales, entre otros; desde las antiguas civilizaciones, el manejo y uso del agua ha sido una temática importante que influye de una forma directa en el desarrollo de las sociedades.

En las últimas décadas, la mayoría de los recursos hídricos alrededor del mundo han sufrido de una sobreexplotación y contaminación, cuya principal causa se debe al crecimiento poblacional así como a la falta de una cultura para la conservación y administración efectiva del agua.

El inadecuado suministro conjuntamente con la demanda creciente derivada del crecimiento de la población, son las principales razones por las que ha empeorado la situación del agua actualmente. La escasez del agua, el agotamiento de los pozos petroleros y el calentamiento global serán las principales crisis que afectarán a la humanidad en el siglo 21 y más allá. Se calcula que para el año 2050 entre 2 a 7 billones de personas sufrirán de escasez de agua. [2, pp. 353-354]

América Latina es un continente rico en agua, posee el 33% de los recursos hídricos renovables del mundo, es el continente con la disponibilidad más alta del mundo, existe una disponibilidad per cápita por año de 3100 m³, la gran mayoría de los países de la región cuentan con disponibilidades catalogadas entre altas y muy altas en razón de su superficie y población. [3] Esto no implica, que todos los habitantes de esta región tengan un acceso al agua, por el contrario, en la mayoría de los países a pesar de esta alta disponibilidad, las poblaciones no disponen de este recurso, principalmente por la falta de infraestructura para su distribución, otro problema relacionado es que no existe infraestructura de saneamiento, lo cual implica que ya exista una fuerte contaminación en algunos de los numerosos cuerpos de agua de la región.

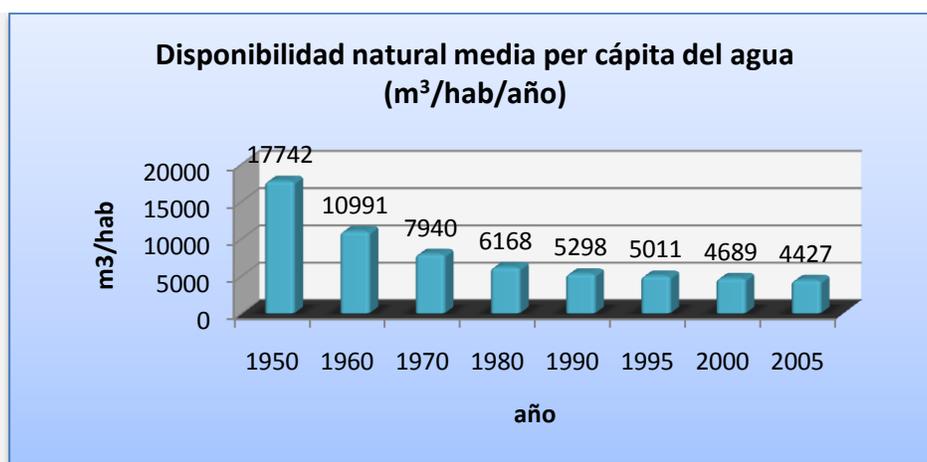
Algunos países de la región latinoamericana ya empiezan a padecer de una seria escasez de agua, hay tres países que ya experimentan el denominado estrés hídrico en la región son: Perú, El Salvador y México.

México padece de estrés hídrico debido a dos razones fundamentales: su crecimiento poblacional y sus características ambientales (las dos terceras partes de su territorio son zonas áridas y semiáridas) ha venido enfrentando un deterioro acelerado en sus recursos hídricos en los últimos años.

Asimismo, constituye un caso particular debido a que las zonas de mayor crecimiento poblacional y económico son las que poseen una menor disponibilidad de agua: *en el centro y norte del país, donde se tiene el 31% de la disponibilidad nacional se concentra el 77% de la población, situación que contrasta con la zona sureste, donde existe el 69% de la disponibilidad y únicamente se ubica el 23% de la población.* [4, pp. 11-12].

La gráfica 1. presenta la evolución de la variación de la disponibilidad natural media per cápita del agua de 1950 a 2005 ($m^3/hab/año$). Como se observa, la disponibilidad de agua ha disminuido considerablemente en las dos últimas décadas, la disponibilidad de agua en 2005 representa un 24% del agua disponible en 1950.

Gráfica 1. Disponibilidad natural



Fuente: CONAGUA

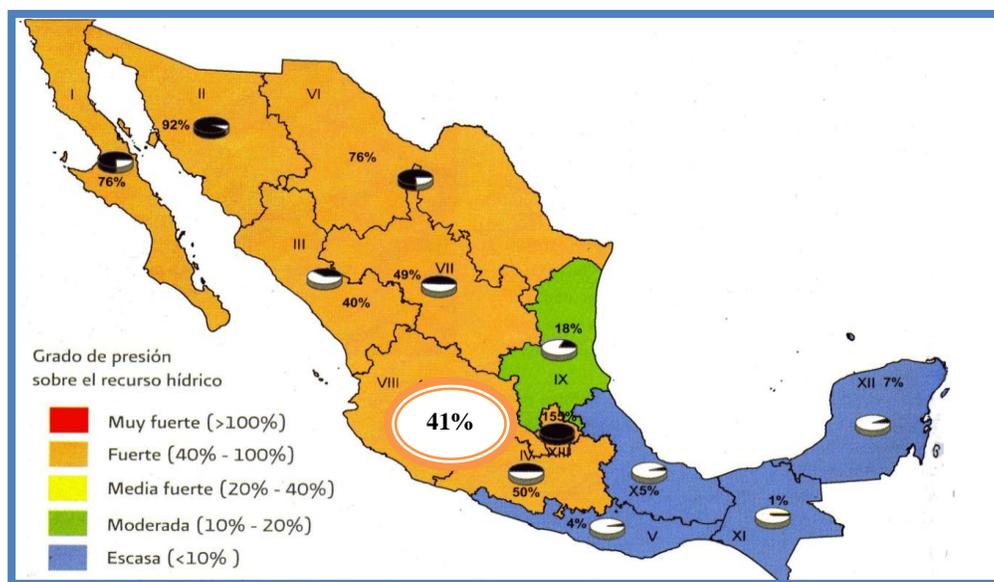
El mayor consumo del agua se presenta en primer lugar en la agricultura ($60.6 km^3$) seguido del uso público ($11.1 km^3$), las termoeléctricas ($4.1 km^3$) y la industria ($3.1 km^3$). [5, p. 54]

Básicamente se ejercen dos tipos de presión¹ sobre el agua: una de tipo cuantitativo (extracciones) y la segunda es de carácter cualitativo (contaminación), estos elementos se relacionan e interactúan con diversos aspectos técnicos, sociales, económicos, lo que indudablemente da lugar a problemáticas en torno a los recursos hídricos de alto grado de complejidad.

¹ De acuerdo a la terminología manejada por la CONAGUA, el grado de presión representa el porcentaje de agua utilizada para usos consuntivos respecto al agua renovable. Si el porcentaje es mayor al 40% se ejerce una fuerte presión sobre el recurso. Sin embargo, también existe una presión por contaminación que se puede definir como el porcentaje de agua utilizada para usos consuntivos respecto al agua tratada o bien respecto al agua residual.

Como muestra la ilustración 1, en el territorio mexicano presenta tres tipos de presión: fuerte, moderada y escasa. La región norte del país es la que presenta la mayor presión y en la región sur la presión es escasa, es necesario aclarar que el grado de presión de la figura únicamente se refiere a la disponibilidad de agua, es decir, no toma en cuenta la contaminación. Con respecto a la región del Acuífero(VIII), hay un grado de presión fuerte (41%) respecto a la extracción.

Ilustración 1. Presión sobre el recurso hídrico



Fuente: CONAGUA

Entre los retos que se presentan actualmente en torno al agua en México se encuentran:

1. *Demanda creciente derivada del crecimiento poblacional y el desarrollo económico.*
2. *Desigual distribución de agua a lo largo del territorio.*
3. *Alta contaminación de los recursos hídricos.*
4. *Ineficiente utilización del agua desde su extracción, distribución, uso y tratamiento [6, p. 9]*
5. Condiciones territoriales áridas
6. Comercio clandestino de agua.

Las anteriores razones han desembocado en problemas de sobreexplotación sobre todo de cuencas y acuíferos en el territorio Mexicano.

1.2 Problemática del Acuífero del Valle de Toluca

A partir de los años setenta del siglo XX, se ha sobreexplotado este acuífero; actualmente en la república Mexicana existen 101 acuíferos en condición de sobreexplotación [7]. La cuenca del acuífero del Valle de Toluca se encuentra en la parte centro – occidente del Estado de México, limita al Norte con el Valle de Ixtlahuaca y el Cerro de Jocotitlán, al Oriente con la Sierra de las Cruces y Monte Alto y al Sur por el cerro de Tenango y al Poniente por el Volcán Nevado de Toluca y el Cerro La Guadalupana, cubriendo un área total aproximada de 2,738 km². [8]

En él, actualmente se observa un descenso drástico de los niveles piezométricos por la extracción excesiva de volúmenes de agua, y aunado a esto, la presencia de una fuerte contaminación que se derivada de las diversas actividades agrícolas, industriales y domésticas.

El crecimiento poblacional ha sido una de las principales causas de este deterioro, (incluso se han llegado a detectar tasas de crecimiento de hasta el 51%), este crecimiento no ha sido homogéneo, y se ha concentrado en áreas muy delimitadas, destacando los municipios de Toluca, Metepec, Lerma, Almoloya de Juárez y Zinacantepec; lugares que además de ser centros de concentración poblacional se han convertido en grandes núcleos industriales. El AVT, adicionalmente a la cobertura de la demanda de las poblaciones que se encuentran en la región (316.115 millones de m³) [9] debe abastecer al Distrito Federal (172.18 millones de m³) [10].

Lo anterior ha llevado a un déficit de hasta -152.510919 millones de metros cúbicos anuales. [11]. Los niveles piezométricos en promedio para el año 2006 se encontraban a una profundidad promedio de alrededor de 33.51 metros [10], para el año 2009 en algunos lugares se han llegado a estimar abatimientos en los niveles de hasta de 100 m. Los volúmenes concesionados² son aproximadamente 300 Mm³, de los cuales el uso agropecuario utiliza aproximadamente el 44%, el público urbano 42% y el uso industrial utiliza casi el 15% [9].

La cuenca del acuífero ha sufrido un deterioro tanto del agua subterránea como superficial por contaminación. Con respecto al agua subterránea existe una concentración de sulfatos lo cual puede indicar que existen procesos externos que pueden afectar las propiedades químicas normales de las aguas del acuífero. La contaminación de los cuerpos de agua superficiales se debe principalmente a las descargas sin tratamiento de aguas residuales municipales, industriales y retornos agrícolas, entre los principales contaminantes se pueden mencionar: grasas, aceites, metales pesados, organoclorados, la materia orgánica, sólidos suspendidos y microorganismos patógenos. Se estima que el volumen de descarga hacia las aguas superficiales y subterráneas para el 2008 fue de alrededor de 111.7 Mm³[9].

² Los volúmenes concesionados, son los volúmenes asignados a los usuarios de aguas nacionales por el Registro Público de Derechos del Agua (REPDPA).

1.3 Contextualización

Este trabajo está circunscrito dentro del contexto del proyecto emblemático “Plan de Manejo de la Cuenca del Acuífero del Valle de Toluca” que tiene como objetivo la elaboración del Plan de Manejo de la Cuenca del Acuífero del Valle de Toluca a través de un Programa Detallado de Acciones, el cual permitirá la recuperación paulatina del mismo. Este proyecto emblemático surgió en el año 2002, cuando la CONAGUA conjuntamente con la Cooperación Técnica Alemana (GTZ, por sus siglas en alemán) inició una serie de trabajos encaminados a procurar la sustentabilidad del Valle de Toluca.

Los proyectos emblemáticos se derivan del Programa Nacional Hídrico 2007-2012, de acuerdo con este plan se considera como un proyecto emblemático aquel que se desarrolla en un ámbito geográfico relativamente pequeño con un alto grado de participación social y son de carácter integral que incluyen temáticas como saneamiento, reforestación, modernización del riego, tratamiento, reutilización entre otros, asimismo se pueden concluir en un plazo de cinco años o bien son de mediano plazo.

Asimismo, este proyecto tenía como fin contribuir a la consecución de las metas establecidas dentro del Programa Hidráulico del Estado de México y del Programa Hídrico por Organismo de Cuenca de la Región Lerma Santiago Pacífico, visión 2030.

1.4 Problema concreto por resolver

A pesar de la existencia de una gran cantidad de información tanto de tipo cuantitativo como cualitativo, no se ha realizado ningún tipo de estudio que con base en proyecciones y predicciones de manera conjunta, proporcione conocimiento acerca de los posibles estados futuros de este Acuífero.

1.5 Justificación

En el ámbito de la planeación, es necesario conocer los estados futuros, ya que permiten la reflexión y concientización de las consecuencias de los procesos actuales de cualquier objeto de estudio.

Los escenarios son herramientas ideales para conocer estados futuros de un objeto o situación en particular, constituyen un soporte estratégico para los tomadores de decisiones y son sumamente eficaces para lidiar con la incertidumbre. [12]

El valor del uso de escenarios, en el caso específico del Acuífero, radica en que permite tener una idea de las posibles trayectorias futuras y de la influencia de ciertos factores en su estado futuro; conocer dichas trayectorias, es importante, para cualquier tomador de decisiones porque permite tomar con anticipación las acciones que se deben ejecutar o evitar para lograr alcanzar determinados estados.

En un contexto de decisiones políticas, los escenarios permiten a los responsables de ejecutar dichas políticas reflexionar, anticipar y explorar los futuros posibles y evaluar las posibles consecuencias de las diferentes estrategias políticas. *Los escenarios deben ser preferentemente desarrollados conjuntamente por expertos científicos y los responsables políticos, asimismo constituyen un mecanismo prometedor para vincular el conocimiento científico y los procesos de toma de decisiones [13].*

En el caso particular del agua, es necesario dejar atrás el enfoque tradicional de la planeación, es necesaria la aplicación de un enfoque *integral, transversal, holístico y que incorpore criterios ecológicos, económicos, de ingeniería, de recursos y sociales; entre otros [14].* Los escenarios se caracterizan por su versatilidad, lo que los hace ideales para este tipo de enfoque, ya que se obtienen perspectivas tanto de tipo cualitativo (participación de expertos) como cuantitativo (datos estadísticos). Por otra parte, las Naciones Unidas [15] mediante el programa de evaluación hídrica, hace mención de la importancia de utilizar el enfoque de escenarios para entender el futuro de los recursos hídricos, ya que el mismo considera:

- La necesidad de una visión a largo plazo
- La existencia de gran incertidumbre acerca del desarrollo de los sistemas hídricos
- El requerimiento de incluir aspectos no cuantificables ya que los sistemas hídricos están influenciados por elementos difíciles de cuantificar y modelar.
- Que son materia prima para facilitar la toma de decisiones
- Permiten la creación de un campo para la interacción de los diferentes stakeholders.

Como anteriormente se mencionó, los estudios que se han realizado acerca del futuro del Acuífero del Valle de Toluca, se limitan a proyectar variables cuantitativas de carácter general, es decir no se toman en cuenta otras variables y sobretodo se deja por un lado el carácter sistémico y la interrelación de las mismas.

Para ejemplificar esta situación, el desarrollo de los escenarios de acuerdo con programa nacional hídrico 2007-2012, se centra básicamente en las siguientes variables: volumen de agua utilizada, descarga de agua residual, porcentaje de agua residual tratada, cobertura de agua potable urbana, cobertura de agua potable rural, cobertura de alcantarillado urbana, cobertura de alcantarillado rural, pérdidas en uso público urbano, pérdidas en riego (agua superficial) y las hectáreas regadas.

Por otro lado, el Programa Hídrico por Organismo de Cuenca, Visión 2030, de la Región Hidrológico-Administrativa VIII, Lerma-Santiago-Pacífico se manejan dos posibles escenarios: el tendencial y el sustentable y se limita básicamente a las siguientes variables:

- Demanda de agua considerando los rubros de distritos de riego, unidades de riego, doméstica e industrial.
- Inversiones totales y desglosadas por control de inundaciones, urderales (unidades de riego organizadas), distritos de riego, saneamiento, alcantarillado y agua potable.

A manera de conclusión, para ambos casos se observa que los escenarios únicamente se basan en proyecciones de datos históricos de carácter cuantitativo y únicamente se consideran variables de carácter técnico relacionadas con el manejo del agua y no se toman en cuenta aquellas de tipo económico o ambiental entre otras.

Es por ello, que se pretende lograr la construcción de escenarios con base en proyecciones (datos cuantitativos) y predicciones (aspectos cualitativos y probabilidades basados en consulta a expertos) que proporcionen conocimiento acerca de los posibles estados futuros de este acuífero, tomando una perspectiva sistémica y considerando aquellas variables de carácter particular que definen el estado del mismo.

Por otra parte, se hizo una breve revisión de la literatura relacionada con la temática de escenarios, a continuación se presenta la gráfica 2, en donde se puede observar que la tendencia para la aplicación de escenarios va en aumento a nivel mundial sobre todo en la última década.

Gráfica 2. Publicación sobre escenarios y agua



En el ámbito concerniente a este trabajo, destaca la siguiente literatura:

- European Water Scenarios from the Mediterranean Sea to Central Asia. Documento de la Unión Europea 2003.
- Water Scenarios for Europe and Neighbouring States. Proyecto Scenes Unión Europea, 2007.
- Global Water Outlook to 2025. Averting an Impending Crisis. Publicación del International Food Policy Research Institute y el International Water Management Institute.
- Examples of Scenarios for Improved Water Management in the Río Grande/Río Bravo Basin that could be Evaluated Using a Basin-Wide Hidrologic Planning Model. National Heritage Institute 2006.
- Escenarios del agua 2015 y 2030 en el Acuífero Interestatal Ojocaliente-Aguascalientes-Encarnación: acciones para un desarrollo de sostenibilidad ambiental.
- Escenarios para el 2030 de la Región Hidrológico-Administrativa VIII, Lerma-Santiago-Pacífico.

En relación a los trabajos anteriormente mencionados, los que pertenecen al contexto europeo, tienen un enfoque cualitativo-cuantitativo, son de carácter transdisciplinario, y el horizonte de planeación es corto plazo o largo plazo para el tercero. Por otra parte los que provienen del contexto mexicano, son de carácter cualitativo principalmente, no son multidisciplinarios ni transdisciplinarios, donde el horizonte es también de corto y largo plazo.

2. CONCEPTOS TEÓRICOS PARA LA CONSTRUCCIÓN DE ESCENARIOS

2.1 Concepto de escenarios

Como primer paso es necesario familiarizarse con todos los conceptos teóricos involucrados en el desarrollo de escenarios. El primer paso, sin duda alguna, es establecer claramente que se entiende como escenario. Existe una diversidad de definiciones acerca de ellos, pero en general los autores, coinciden en el hecho, de que los escenarios son conceptualizados como descripciones de los estados futuros posibles que toman en cuenta perspectivas del pasado y presente; por una parte los enfoques normativos indican que los escenarios son proyecciones de un futuro deseado y otras afirman que son los estados futuros posibles de un estado actual y que no necesariamente son indicativos del futuro deseado.

Un escenario puede estar definido literalmente como el guión de una obra, en administración es una herramienta para ordenar las alternativas futuras a partir de las cuales las decisiones pueden ser tomadas [16, p. 47] o bien como una descripción acerca de cómo podría resultar el futuro, básicamente están entre el mundo de los hechos y el mundo de las percepciones. Los escenarios son un camino para visualizar el futuro usando y combinando varias imágenes [12 p. 165]. Para Miklos, el objetivo básico de los escenarios es integrar el análisis individual de tendencias, posibles eventos y situaciones deseables dentro de una visión general del futuro [17].

Los estudios modernos acerca del futuro principalmente se desarrollaron después de la segunda guerra mundial tanto en Europa como en los Estados Unidos. El enfoque de los estudios europeos era hacia el desarrollo de elementos democráticos y se centraban en los cambios radicales de la sociedad. En los Estados Unidos la temática era distinta, se dirigía hacia los pronósticos de tipo tecnológico y de interés militar.

En Estados Unidos después de la Segunda Guerra Mundial, el Departamento de Defensa se enfrentaba a la tarea de decidir cuales proyectos debían financiarse para el desarrollo de nuevos sistemas de armas, los tomadores de decisiones se enfrentaban a lo siguiente: *a) la obtención de los productos de los proyectos requería fuertes inversiones y tomaban largo tiempo, asimismo los resultados podrían ser totalmente infructuosos; b) la incertidumbre política acerca de donde se desplegarían los sistemas desarrollados; c) la efectividad de los sistemas de armas [18, pp. 797-798];* lo anterior da origen a la técnica de escenarios, el método Delphi y otras herramientas de simulación de ambientes futuros.

Las técnicas fueron desarrolladas en los años cincuenta por la RAND CORPORATION (un acrónimo de Research and Development) *un grupo de investigación que surgió de un proyecto conjunto entre la Fuerza Aérea EE.UU. y la Douglas Aircraft Company y que hasta la década de 1960, se dedicaba casi exclusivamente a estudios para la Defensa [18, p.798].*

Herman Kahn fue miembro de esta corporación, que debido a sus publicaciones acerca de la metodología de escenarios en los campos sociales y política pública es considerado en los Estados Unidos como el padre de la planeación de escenarios moderna.

La vertiente estadounidense da origen a las metodologías de tendencias y de impactos Cruzados: Shell y General Motors fueron las empresas estadounidenses pioneras en aplicar este tipo de metodología en los años sesenta.

Por otro lado, en Europa, los franceses son considerados como los primeros que estudiaron de *manera sistemática los “fundamentos científicos y políticos del futuro” a través de escenarios. [18 pp. 801-802].* Los primeros trabajos de escenarios estaban enfocados a la planeación de la política pública.

Al mismo tiempo que Khan, en los Estados Unidos estaba trabajando con escenarios de tipo militar, en Francia, Gaston Berger funda el Centre d’Etudes Prospectives. Este centro se enfocó en la investigación y desarrollo de escenarios para la planeación a largo plazo considerando aspectos políticos-sociales con fundamentos filosóficos, que posteriormente fue denominado Pensamiento Prospectivo o La Prospective. Otros exponentes importantes en materia de escenarios son Pierre Masse (quien introdujo los escenarios prospectivos) y Bertrand de Jouvenel (quien usó escenarios para construir imágenes positivas del futuro y especificar los caminos para alcanzarlas). Michel Godet, es otra importante figura en el desarrollo de esta disciplina en Francia en los años 70, quien con base en la metodología de la perspectiva de Berger empezó a crear aplicaciones matemáticas y probabilísticas por computadora para la generación de escenarios.

2.2 Características de los escenarios

Para Therond los escenarios deben cumplir con las siguientes características:

- a) *ser hipotéticos y describen las posibles situaciones futuras;*
- b) *que los procesos sean descritos a través de secuencias de eventos en un período determinado de tiempo;*
- c) *consistir en estados, eventos, acciones y consecuencias que están causalmente vinculados;*
- d) *surgir de un estado inicial (usualmente el presente) y desplegarse a un estado futuro en un horizonte de tiempo fijado [13, p. 621].*

Para Miklos los escenarios deben cumplir con las siguientes características: *hipotéticos, integrales, relevantes, creíbles, útiles y comprensibles [17, p. 119].*

Por su parte para Chermack, menciona estas características:

- a) *internamente consistentes;*
- b) *vincular los eventos históricos y presentes con eventos hipotéticos en el futuro;*
- c) *que las llamadas “storylines” (argumentos) puedan ser expresadas en simples diagramas;*
- d) *reflejar elementos predeterminados es decir aquellos eventos que ya ocurrieron con anterioridad pero cuyas consecuencias no se han desarrollado;*
- e) *identificar signposts o indicadores que nos señalen que la historia está ocurriendo [19, p. 61].*

Por otra parte, Van Der Heijden [20], menciona que los escenarios deben cumplir con las siguientes características:

- a) *cada escenario debe ser plausible, es decir, desarrollarse de manera lógica a partir del pasado y del presente;*
Deben ser consistentes a nivel interno, es decir que los eventos deben estar vinculados dentro del argumento del escenario;
- b) *considerar los puntos más importantes, a partir de los cuales se puede considerar planes, estrategias y que permitan otorgar una dirección futura;*
- c) *producir una perspectiva nueva y original.*

Con base en lo anterior, se puede afirmar que los escenarios son descripciones en que la principal característica es la consistencia interna, es decir, que los hechos descritos no sean de tipo auto-contradictorio, asimismo los eventos y sus trayectorias se deben componer de forma coherente.

2.3 Tipología de los escenarios

A continuación se describen tres de las principales tipologías sobre escenarios: La de Borjesona, Sánchez y Van Notten (para mayor referencia ver figura No. 3). De acuerdo a la tipología de Börjesona et al, los objetivos que persiguen los escenarios se pueden clasificar en predictivos, explorativos y normativos [21].

Escenarios predictivos: se centran en los futuros probables, como su nombre lo indica estos escenarios se basan en predicciones de lo que va a suceder, se asocia a los conceptos de probabilidad y riesgo.

Escenarios exploratorios o explorativos: su enfoque es hacia los futuros posibles, como su nombre lo indica “exploran” las situaciones que se consideran posibles y con frecuencia cubren un amplio

abanico de posibilidades de desarrollo, generalmente son usados en condiciones de gran incertidumbre.

Escenarios normativos: se dirigen hacia en los futuros deseados son escenarios de retrospectiva se originan de un futuro deseado y exploran diferentes caminos para alcanzar los objetivos planteados.

Sánchez [22], por su parte clasifica a los escenarios tomando como base a la tipología de Julien y La Monde en escenarios exploratorios y de anticipación, este autor define a los escenarios exploratorios como aquellos que consiste en describir las tendencias y condiciones lógicas de un futuro posible a partir de la situación actual. Los exploratorios se dividen en tendenciales y de enmarque. Los tendenciales buscan identificar un futuro posible partiendo de la predominancia de las tendencias más fuertes examinando básicamente la continuidad y la ruptura de las tendencias. Por otra parte los de enmarque pretenden delimitar los espacios futuros, se basa en ciertas tendencias pero varían extremosamente los supuestos que dan origen a las mismas.

Los de Anticipación contruidos sobre imágenes diversas del futuro pueden ser deseables (normativos) o por el contrario temidos (contraste).

Por otra parte, Van Notten [23] realiza una clasificación de escenarios:

- exploratorio: como su nombre lo indica básicamente es un acto de exploración, incluye la sensibilización, la estimulación del pensamiento creativo, y hacerse una idea de la forma en que los procesos podrían llevarse a cabo;
- soporte para toma decisiones: examinan los diferentes caminos para llegar a lo deseado
- intuitivo: se basa en conocimiento cualitativo;
- formal: se formula a partir de conocimiento cuantitativo, ejercicios analíticos y racionales;
- complejo: implican un amplio número de actores, factores, y sectores y está compuesto por una red de causalidad entrelazada y por arreglos elaborados de variables y dinámicas;
- simple: se enfocan en una sola variable o dinámica.

La ilustración No. 2, resume las tres principales tipologías de escenarios descritas anteriormente:

Ilustración 2. Tipología de escenarios



2.4 Principales metodologías para el desarrollo de escenarios

La metodología clásica para el desarrollo de escenarios básicamente se dividen en dos tipos: cualitativo y cuantitativo. En estudios recientes se han desarrollado diferentes metodologías que combinan ambos enfoques, a manera de ejemplo se puede mencionar la metodología SEAMLESS desarrollada por Therond, o bien la aplicación de la técnica de impacto cruzado desarrollada mediante consulta de expertos.

Una variedad de métodos para desarrollar y analizar escenario han sido definidos y desarrollados, su empleo depende del objetivo del escenario y de las características del sistema bajo estudio y del grado de involucramiento de los actores. Asimismo una gran mayoría de autores hacen referencia a los métodos de modelado y los métodos narrativos.

Los métodos de modelado corresponden al uso de modelos matemáticos como herramienta central para cuantificar las consecuencias de cada escenarios o bien para chequear la consistencia de los escenarios de tipo cualitativo. Los métodos de modelado crean escenarios cuantitativos y los llamados métodos narrativos proveen descripciones de tipo cualitativo de las diferentes trayectorias del futuro a través del conocimiento de expertos [13, p. 620]. Estos tipos de modelos usualmente son empleados cuando los datos o modelos no existen. Los métodos narrativos permiten incorporar los diferentes puntos de vista expertos y describen el sistema complejo en argumentos entendibles para los actores.

Mientras que en el pasado los desarrolladores de escenarios seleccionaban la utilización de métodos de modelado o de narrativa, actualmente la tendencia es combinar ambos. Estos requieren metodologías más complejas que permitan integrar información de tipo cualitativo y cuantitativo.

Para Jouvenol [24] hay 5 etapas en el procedimiento de la prospectiva:

- definición del problema y selección del horizonte de planeación;
- construcción del sistema e identificación de las variables clave;
- recolección de datos y elaboración de la hipótesis;
- explorar futuros posibles a través de estructuras de árbol;
- definir líneas estratégicas.

La figura No. 4 define las etapas anteriores, las primeras cuatro corresponden a la fase de diseño de escenarios. La definición del problema corresponde a la identificación y delimitación del problema, estableciendo un horizonte de planeación adecuado.

Este horizonte de planeación puede ser seleccionado de acuerdo a las siguientes características: a) la inercia del sistema y la necesidad de eliminar los efectos periódicos de turbulencia que podría impedir un entendimiento correcto del sistema b) la programación de decisiones que deben ser hechas, el poder de decisión y de los recursos 3) el grado de rigidez y de motivación de los actores [24].

Por otra parte, Godet [25] plantea las siguientes fases para la generación de escenarios:

- a) formulación y análisis del problema asimismo se examina el sistema: se refiere a conocer el funcionamiento, su ubicación espacial y temporal, su ambiente, las interacciones internas y su relación con otros sistemas;
- b) diagnóstico: es análogo a un examen de rayos x, es la determinación de los valores o situación actual de dichas variables y su comparación con un referente;
- c) identificación de variables claves: se desarrolla de manera paralela con la fase de diagnóstico, consiste en determinar aquellas variables que define el estado de un sistema;
- d) dinámica de la firma: consiste comprender la dinámica a través del análisis retrospectivo, es decir encontrar fortalezas, debilidades, monitorear el desempeño de los actores en el pasado, y definir cuestiones claves para el futuro. La última fase consiste en aplicar metodologías y proponer las acciones futuras, es decir la generación de escenarios propiamente.

O'Brien [26] establece la siguiente secuencia para el diseño de los escenarios:

El paso 1) involucra el entendimiento de la organización (objeto) para la cual los escenarios serán desarrollados, se establece un horizonte de planeación y definiendo el cuándo y porque de los cambios que han ocurrido en dicha organización (objeto).

El paso 2) consiste en generar una lista de factores que los participantes consideren que estén más allá del control de la organización pero que sean de gran importancia para la misma. Implica el análisis PEST (político, económico, social y tecnológico), generalmente por cada rubro hace consulta a expertos, en total se deben determinar de 15 a 20 factores.

El paso 3) involucra la reducción de los factores, históricamente esta reducción implica únicamente manejar 12 factores en total, así también implica que con base en el horizonte de planeación la determinación del rango de variabilidad de los mismos.

El paso 4) selección de temas y desarrollo de los detalles de los escenarios: se establece el número de escenarios que serán desarrollados, este autor recomienda el desarrollo de dos a cuatro escenarios, así mismo seleccionan los temas que serán tratados por cada escenario.

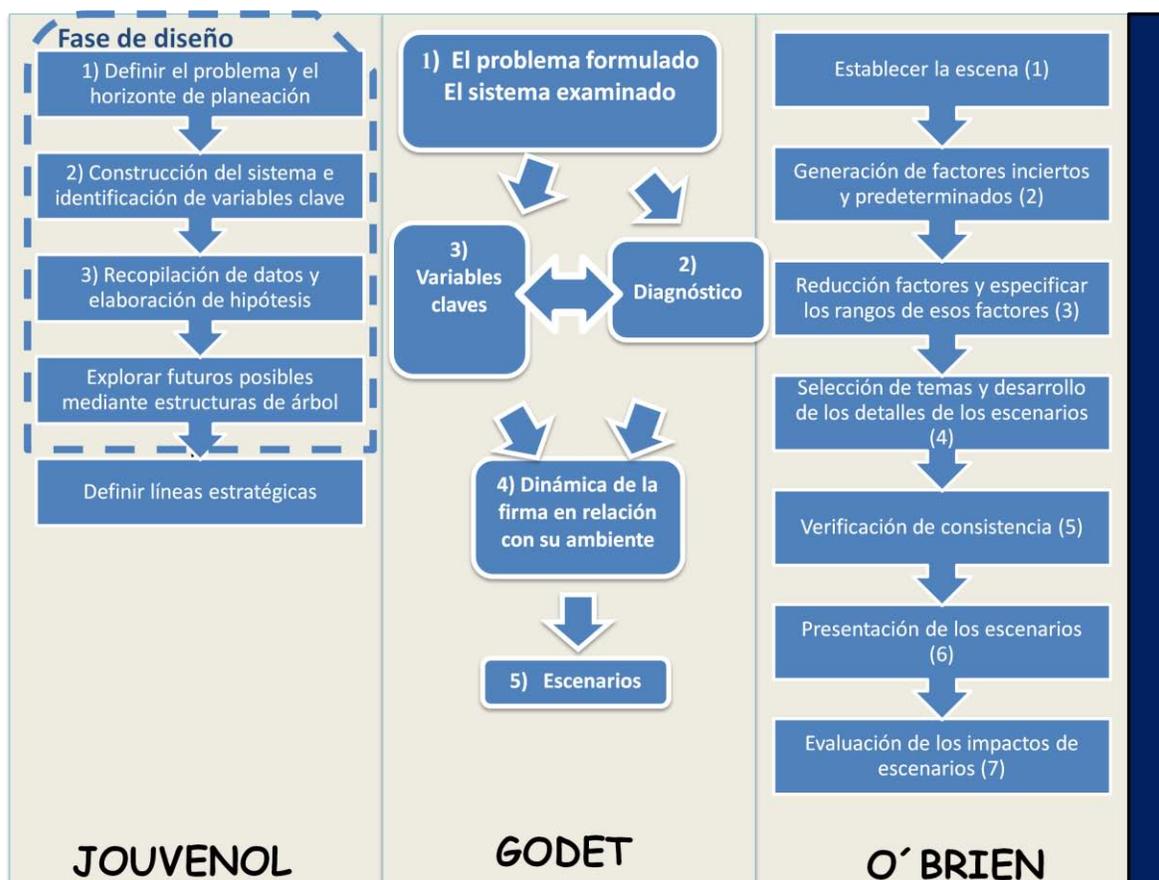
El paso 5) Verificación de la consistencia consiste en un análisis de impactos cruzados, que implica la estimación de la naturaleza (correlación positiva o negativa) y la fuerza de relación (fuerte, mediana y débil) entre dos factores.

El paso 6) se refiere a la presentación de escenarios, es decir hace énfasis en que los escenarios no simplemente deben presentarse como un resumen tabular, deben ser elaborados con el propósito de capturar la imaginación del lector y ayudarlo a que visualice el mundo de diferente forma. Este paso fue diseñado también para tomar en cuenta todas aquellas consideraciones involucradas en la presentación efectiva de los escenarios.

El último paso 7) consiste básicamente en aplicar una matriz FODA para la generación de alternativas estratégicas con base en las opiniones de los expertos.

La ilustración No. 3, presenta cada uno de los procedimientos descritos anteriormente.

Ilustración 3. Metodologías para generar escenarios



Otra forma de desarrollar escenarios, es la presentada por Van der Heijden [20] que contiene las siguientes etapas.

- recolección de datos básicos que servirán de insumos para la construcción de escenarios;
- agrupación y jerarquización mediante una búsqueda de tendencias y relaciones;
- estructuración de líneas de historias de manera inductiva, deductiva e incremental.

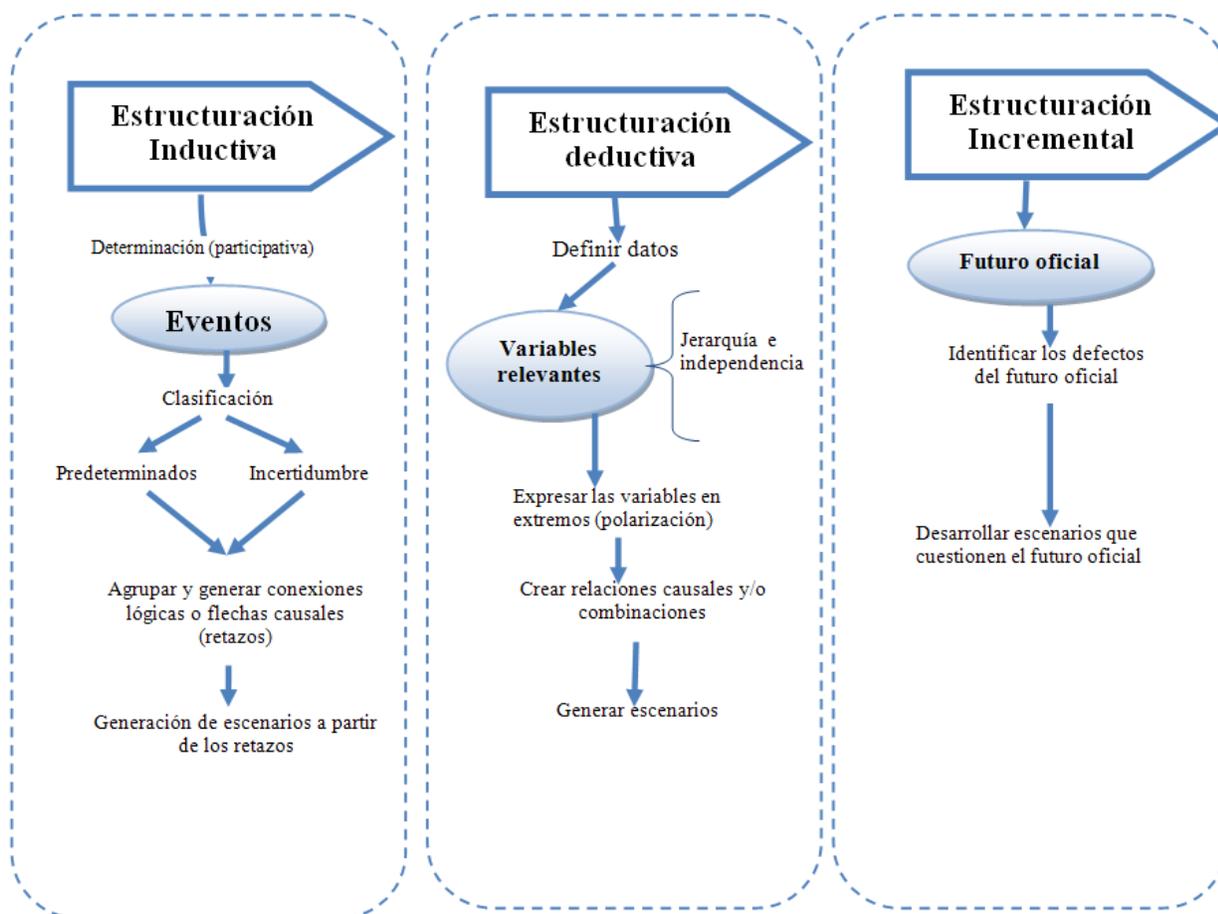
Estructuración inductiva: a través de la participación de diferentes actores se procede a la determinación de diversos eventos para la generación de escenarios, cada evento se clasifica según se considere si es predeterminado (seguramente ocurrirá) o bien si podría ocurrir (condición de incertidumbre), se proceden a agrupar eventos relacionados (generalmente se hace mediante un orden cronológico y relaciones causales), la agrupación de estos eventos se denominan "retazos", posteriormente se hacen combinaciones de retazos o bien se rediseñan los mismos y se proceden a generar los escenarios.

Estructuración deductiva: se emplean datos como marco para generar los escenarios. De estos datos se procede a determinar aquellas variables relevantes, mediante una estructuración jerárquica, verificando la predictibilidad e impacto. Posteriormente las variables se expresan en valores extremos y opuestos, se procede nuevamente a crear relaciones causales o bien combinaciones de variables y por último se empieza a generar el escenario.

Estructuración incremental: Se basa en la existencia de un futuro oficial que es aceptado ampliamente por la organización o sectores involucrados, en este caso, se crearán escenarios que cuestionen dicho futuro oficial mediante la identificación de defectos, carencias o incoherencias en el mismo.

A continuación la ilustración 4, presenta los esquemas gráficos de las diferentes clases de estructuración.

Ilustración 4. Estructuración inductiva-deductiva e incremental



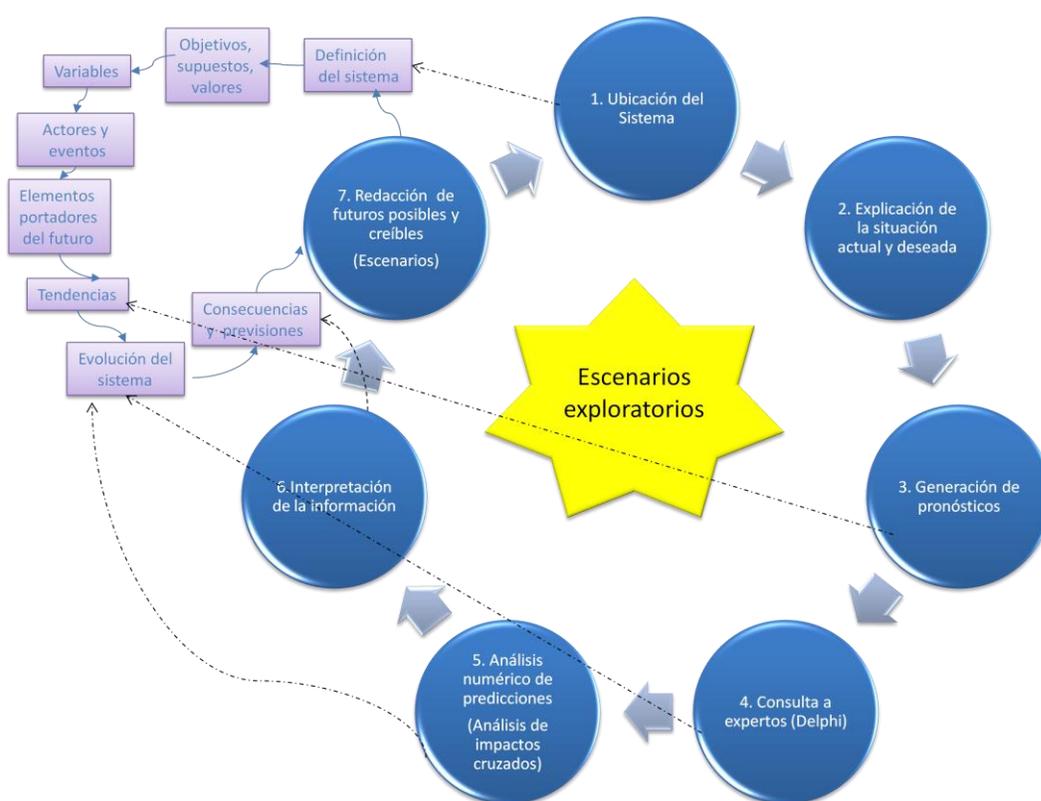
Con base en la anterior revisión de los conceptos teóricos a continuación, se procederá a la selección de la metodología a emplear para la construcción de escenarios.

2.5 Metodología a emplear

El tipo de escenarios a desarrollar en este trabajo es de carácter exploratorio. Este tipo de escenarios, mediante la sensibilización y la estimulación del pensamiento creativo y del conocimiento de cómo los procesos interactúan construye los posibles estados futuros de un objeto en particular, y la principal característica es que el proceso de construcción del escenario es tan importante como el escenario como resultado [23].

Para el caso específico de este trabajo, la metodología a utilizar para el desarrollo de escenarios de tipo exploratorio (ver ilustración No. 5), es la propuesta por Sánchez [22]. Se seleccionó esta metodología, debido a dos razones básicamente: a) hace uso de datos tanto cuantitativos como cualitativos y b) ha sido diseñada en el contexto mexicano, asimismo hace uso de la estructuración, inductiva, deductiva e incremental. Las líneas punteadas son indicativas de cómo las fases principales de construcción del escenario se vinculan a las diferentes etapas de la redacción.

Ilustración 5. Metodología a emplear



Fuente: Sánchez, de León [27], 2010

Ubicación del sistema

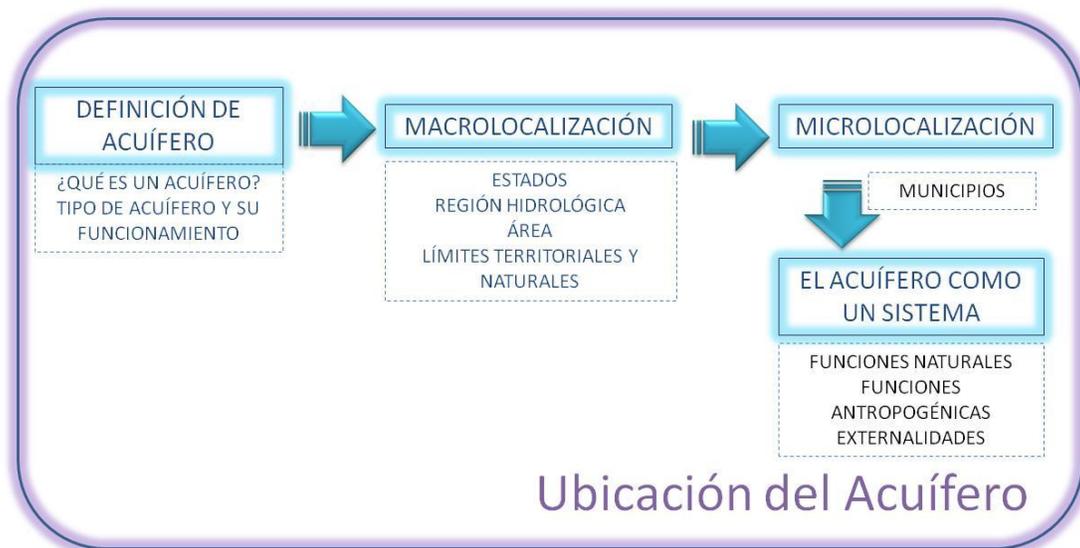
Este paso consiste en: la definición del objeto, la determinación física del mismo, la construcción conceptual del objeto que para este caso es el AVT, asimismo se establece el mismo como sistema y se realiza la definición de variables clave y sus relaciones. Las variables clave definen el estado actual y sus principales funciones, asimismo se definen las diversas relaciones entre variables.

El primer paso para obtener conocimiento del objeto de estudio, es limitar sus fronteras, el mayor problema en relación a ellas, es que no existen de forma predeterminada para todo tipo de sistemas.

Las fronteras de los sistemas se definen por el observador y su propósito en particular, en el caso específico de los objetos de carácter hídrico, generalmente se define en relación a sus fronteras naturales o espaciales [28, p. 5]

En la ilustración 6., se presentan las diversas etapas comprendidas dentro de la ubicación del Acuífero, en primer lugar se define el objeto de estudio que este caso es el acuífero, posteriormente es necesario incluir su funcionamiento y sus características particulares. En la macrolocalización se hace una descripción del objeto en relación a sus entornos superiores: estados, región hidrológica, el área que comprende, los límites territoriales y naturales.

Ilustración 6. Ubicación del Acuífero



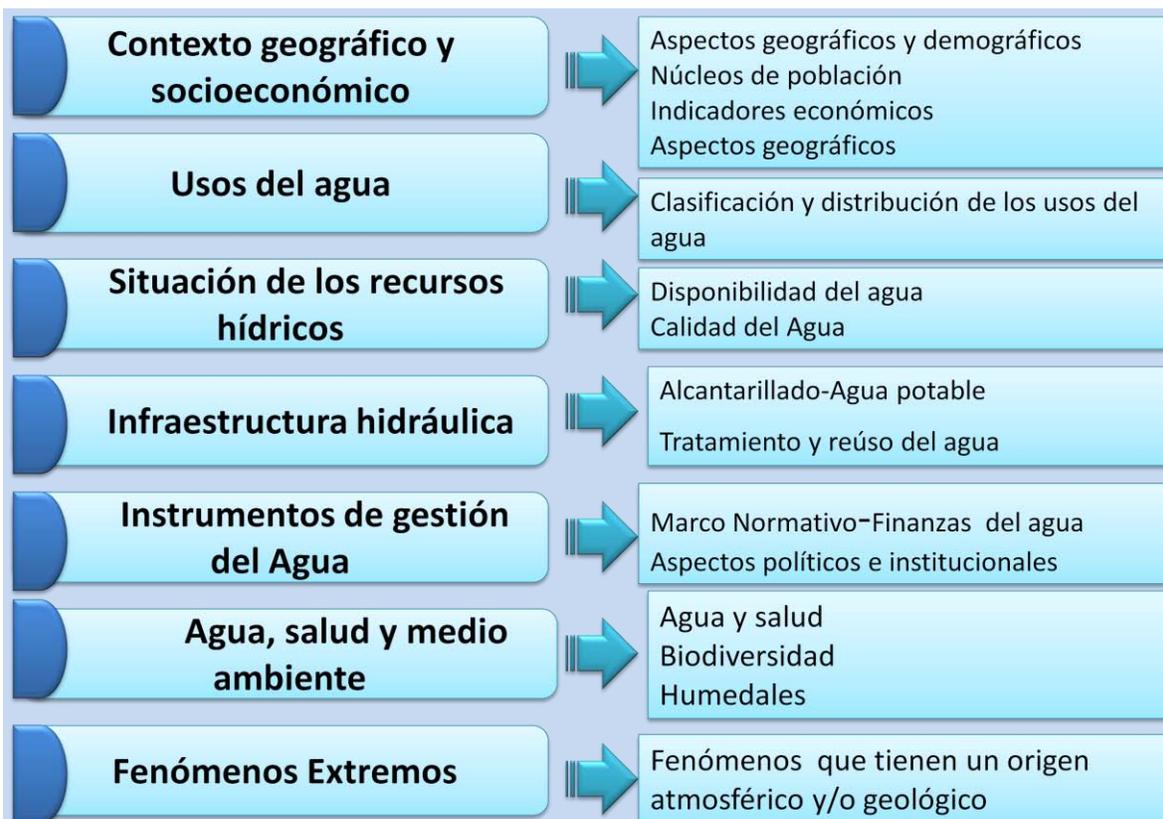
Explicación de la situación actual y pasada

Se procede a definir el estado actual del Acuífero considerando los lineamientos del Programa Nacional Hídrico. El objetivo de esta fase es determinar cuál es el estado actual del mismo, desde una perspectiva global y considerando información de diversas fuentes. Se realiza una descripción de los aspectos más relevantes y un análisis combinado de algunos datos que permitan obtener nuevas perspectivas y conclusiones.

Es decir, este apartado constituye una recopilación cuyo objetivo es determinar el estado actual del Acuífero del Valle de Toluca así como identificar los distintos problemas que lo afectan.

En el Programa Nacional Hídrico se consideran actualmente seis rubros importantes: a) El contexto geográfico y socioeconómico; b) la situación de los recursos hídricos; c) los usos del agua; d) la infraestructura hidráulica; e) los instrumentos de gestión del agua y por último f) el agua, salud y medio ambiente [4] y g) fenómenos extremos. La ilustración No. 7 resume las subdivisiones de cada rubro:

Ilustración 7. Rubros del Programa Nacional Hídrico



Con base en los grupos y subgrupos que muestra la ilustración anterior, se procede a realizar el conocimiento de la situación actual del Acuífero.

Generación de tendencias y pronósticos

Una vez definidas las variables relevantes se procede a generar datos para el horizonte de planeación, que en este caso se considera a 10 años plazo, debido a las condiciones sumamente cambiantes a las que está sometido el Acuífero. En esta sección se utilizarán la extrapolación de tendencias y la técnica de Brown para pronósticos.

La extrapolación de tendencias está basada en el concepto de continuidad y de “ingenuidad”, es decir, se asume que lo que pasa en el pasado seguirá pasando en el futuro. Las extrapolaciones de tendencias son bastante fáciles de aplicar, los datos recolectados se ajustan a modelos que pueden ser lineales, exponenciales, logarítmicos y polinomiales, a esto se le conoce comúnmente como ajuste a curvas o suavizamiento. El ajuste a curvas, es un proceso estadístico que describe el comportamiento de respuesta de cierta variable sin que exista un modelo previo específico para esta situación. A continuación se presentan los modelos descritos matemáticamente más comúnmente empleados:

$$\text{Lineal: } y = \beta_0 + \beta_1 x \quad (1)$$

$$\text{Logarítmico: } y = \beta_0 + \beta_1 \ln(x) \quad (2)$$

$$\text{Inverso: } y = \beta_0 + \beta_1/x \quad (3)$$

$$\text{Polinomial } y = \beta_0 + \beta_1 x + \beta_2 x^2 + \beta_3 x^3 \dots \beta_m x^m \quad (4)$$

$$\text{Compuesta } y = \beta_0 \beta_1^x \quad (5)$$

$$\text{Potencia } y = \beta_0 x^{\beta_1} \quad (6)$$

$$\text{Exponencial } y = \beta_0 e^{\beta_1 x} \quad (7)$$

Donde y es la variable respuesta,

x es la variable independiente

β_i donde $i = 0, 1, 2, \dots, m$, son los coeficientes para la i ésima potencia de x

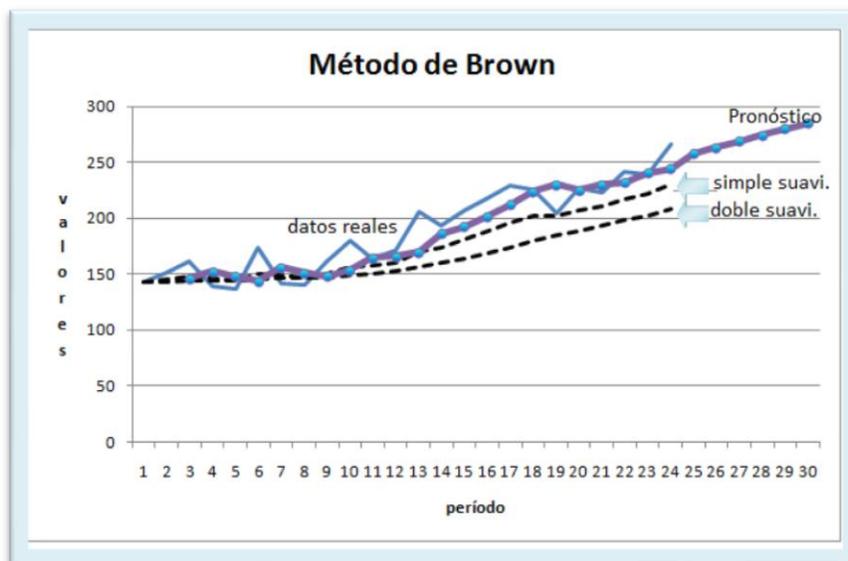
$$\text{Logística } y = \frac{\beta_2}{1 + \left[\frac{\beta_2 - \beta_0}{\beta_0} \right] e^{\beta_1 x}} \quad (8)$$

Donde β_0 es el valor esperado de t cuando $(t)=0$ (valor inicial), donde β_1 es la tasa de crecimiento y β_2 es el valor limitante de y .

El análisis de impactos de tendencias fue desarrollado en 1970, evolucionó a partir del hecho en que los métodos tradicionales de pronósticos se basaban en la extrapolación de datos históricos sin considerar los efectos de eventos futuros sin precedentes. El concepto de TIA implica cuatro pasos: a) recolección de datos históricos, b) ajuste a una curva de regresión o pronóstico y generación de las tendencias, c) desarrollo de todos aquellos eventos futuros inesperados que pueden alterar las tendencias futuras [18].

La técnica de Brown utiliza simple y doble suavizamiento exponencial, la diferencia entre los valores suavizados (tanto del suavizamiento simple como doble) es añadido en un solo suavizamiento y ajustados a una tendencia. La gráfica 3 describe lo anterior.

Gráfica 3. Método de Brown



Fuente: Makridakis [28]

La técnica de Brown se describe en forma matemática de la siguiente manera:

Suavizamiento exponencial simple:

$$S_t = \alpha X_t + (1 - \alpha)S_{t-1} \quad (9)$$

Donde S_t es el dato suavizado, X_t el dato real, α la constante de suavizamiento.

Suavizamiento exponencial doble:

$$S'_t = \alpha X_t + (1 - \alpha)S'_{t-1} \quad (10)$$

$$a_t = 2S'_t - S''_t \quad (11)$$

$$b_t = \frac{\alpha}{1-\alpha} (S'_t - S''_t) \quad (12)$$

$$F_{t+m} = \alpha_t + b_t m \quad (13)$$

Donde S'_t es el dato suavizado, X_t el dato real, α la constante de suavizamiento, y donde m es el número de futuros a predecir.

La medición de error de pronóstico, tanto para la técnica de Brown como los ajustes a curvas de regresión a emplear, viene dado por la expresión matemática:

$$SSE = \sum_{i=1}^n e^2 \quad (14)$$

Donde e , es la diferencia entre el valor real y el valor pronosticado.

La ilustración No. 8, muestra el procedimiento a utilizar para la generación de pronósticos, como primer paso, es la selección de aspectos clave, estos aspectos clave incluyen aspectos demográficos, tecnológicos, inversiones en materia de agua, sociales, de gobierno, entre otros. Una vez definidos estos aspectos se procede al empleo de técnicas cuantitativas, que para este caso en específico, y como anteriormente fue mencionado, se utilizan la técnica de Brown y regresión. La última etapa se refiere a analizar y comparar cada una de las proyecciones con otras existentes para el Acuífero o bien con el contexto del Agua en México.

Ilustración 8. Generación de tendencias y pronósticos



Consulta a expertos (Método Delphi)

Esta etapa buscará definir los eventos que se llevarán a cabo en el AVT, tanto tendenciales como no tendenciales, los expertos considerados pertenecen a la CONAGUA CENTRAL, a la Dirección Local de la CONAGUA en el EDOMEX, y a la UNAM y UAEM para ello se utilizará la técnica Delphi.

Un problema existente en los pronósticos es que muchas sólo se limitan a unos datos, desconociendo que tan veraces o precisos son los mismos, esto hace que el tamaño del error no se limite únicamente a cuestiones puramente matemáticas. Más que la técnica lo importante es la escogencia de la información y muchas veces la estimación mediante modelos matemáticos puede ser un obstáculo para visualizar comportamientos atípicos [29, pp. 303-304].

Autores como Makridaki, afirman que los pronósticos por sí solos, especialmente aquellos que se refieren a tópicos sociales o multidisciplinarios pueden carecer de veracidad y precisión, es por ello que se sugiere apoyarse de métodos de carácter sistemático como es el Delphi [29, p. 147].

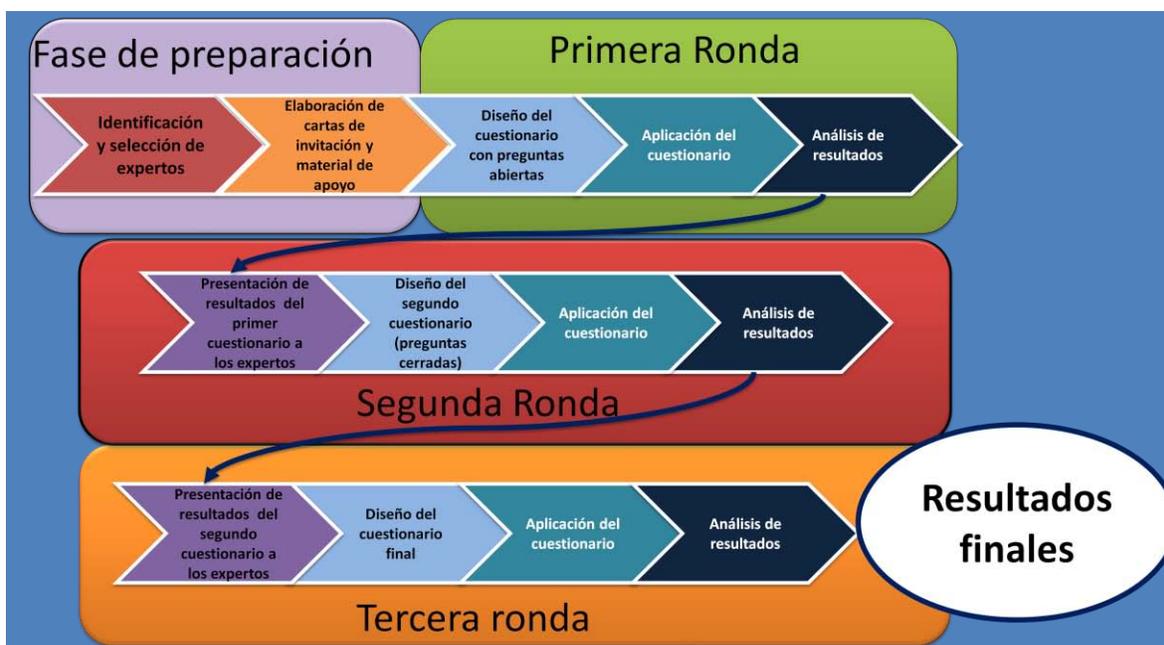
Es una técnica de ayuda para la toma de decisiones basada en las opiniones de expertos, fue desarrollada a finales de los cuarenta también en la RAND Corporation, permite una comunicación estructurada e iterativa entre un grupo de personas para obtener conocimientos valorados para resolver un problema complejo [30, p. 468]. El Delphi es una técnica que permite estructurar el proceso de comunicación en un grupo para tratar un problema complejo [31]. Este proceso se caracteriza por tres aspectos: a) el anonimato de los participantes, b) se basa en iteraciones con retroalimentación para cada participante y c) produce resultados estadísticos o cualitativos.

Es sin duda alguna, una de las principales técnicas de pronósticos de carácter cualitativo existentes y ampliamente desarrollada, el objetivo principal es obtener un consenso de opinión de un grupo determinado de expertos con el propósito de ser usado como pronóstico, minimizando en lo posible problemas derivados de la interacción de un grupo. A manera de conclusión el Delphi se puede definir simplemente como la interrogación a expertos mediante cuestionarios, cada aplicación de cuestionarios se denomina ronda, de los resultados de cada ronda, se elabora un nuevo cuestionario.

Generalmente se realizan tres rondas, todo ello se realiza para llegar a obtener respuestas consensuadas y obtener conocimiento de puntos de vista contrarios para cada situación. Los expertos que participan en una técnica Delphi deben cumplir con ciertos requisitos: deben poseer un amplio conocimiento de la temática a tratar, asimismo deben pertenecer a diversos campos disciplinarios e instituciones, deben responder a preguntas específicas sobre determinados procesos y el tiempo en que ocurrirán, el debate queda excluido de esta técnica, por tanto los expertos se encuentra físicamente separados y la influencia social (presión de grupo) se da por descartada.

La ilustración No. 9 esquematiza brevemente el procedimiento de aplicación del Delphi:

Ilustración 9. Técnica Delphi

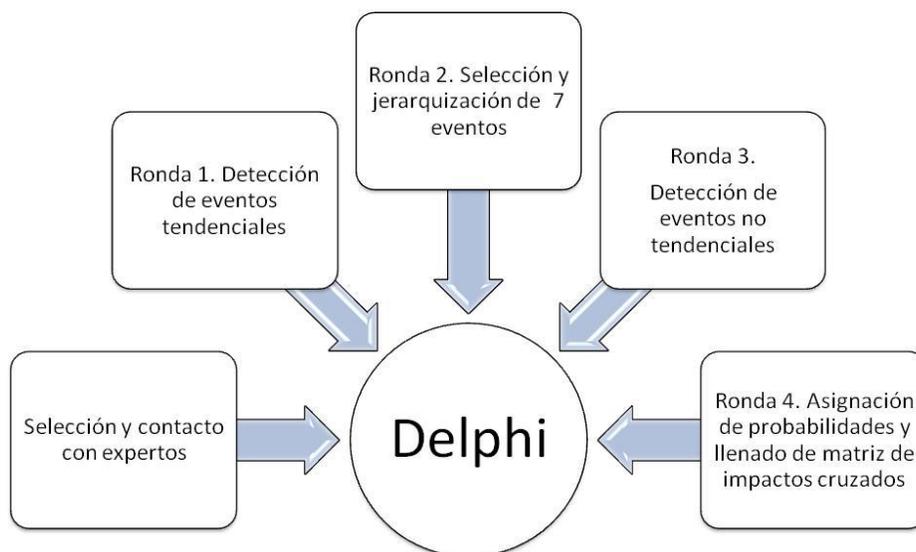


En relación con el contexto de este trabajo, la ilustración No. 10 presenta el proceso Delphi empleado.

En la fase inicial se seleccionan los expertos participantes y se inicia contacto con ellos, una vez establecidos los participantes comprometidos con el ejercicio, se procede a generar rondas en que se establecen:

- eventos tendenciales (son aquellos eventos que pueden suceder con una alta probabilidad de ocurrencia);
- la selección y jerarquización de los eventos tendenciales más importantes
- establecimiento de los eventos no tendenciales (aquellos eventos que de ocurrir pueden cambiar drásticamente las tendencias);
- la asignación de probabilidades de ocurrencia para los eventos tendenciales como no tendenciales por parte de los expertos.

Ilustración 10. Ejercicio Delphi



Análisis Numérico de Predicciones (Análisis de impactos cruzados)

En este caso se utilizará la técnica de impactos cruzados desarrollada por Gordon y Helmer en 1966 en la Corporación RAND, como un juego de pronóstico para Kaiser Aluminium, desde entonces se han desarrollado diversas variantes a este método (INTERAX, SMIC, IFS) [18].

Es una técnica de pronóstico basado en las interacciones de eventos futuros, se basa en la premisa en que los estados futuros de un descriptor, que ocurren o no ocurren pueden afectar la probabilidad de que sucedan o no los estados futuros de los demás descriptores se desarrolla a partir de opiniones de expertos [32]. Lo que se conoce como impacto cruzado es precisamente el cambio en la probabilidad de ocurrencia futura de un evento individual cuando ocurre otro de los eventos con él relacionado.

Permite simular y visualizar las tendencias de los eventos relevantes que probablemente pueden ocurrir en un sistema, requiere que un conjunto de expertos, mediante un arreglo matricial, valore los diversos impactos (las relaciones entre los eventos identificados) que pueden ocurrir en un horizonte de tiempo.

El experto califica una determinada relación de dos eventos de tres formas: (+) significa que la relación impulsará la dinámica del sistema, (-) significa que la relación frenará la dinámica del sistema y (0) significa que no impacta de manera significativa la dinámica del sistema. Para (+,-) el experto podrá asignar valores en un rango de [1-4], siendo 1 el mínimo impacto y 4 el máximo.

La tabla 1. Es una matriz de impacto cruzado que tiene por objetivo examinar las interacciones entre eventos.

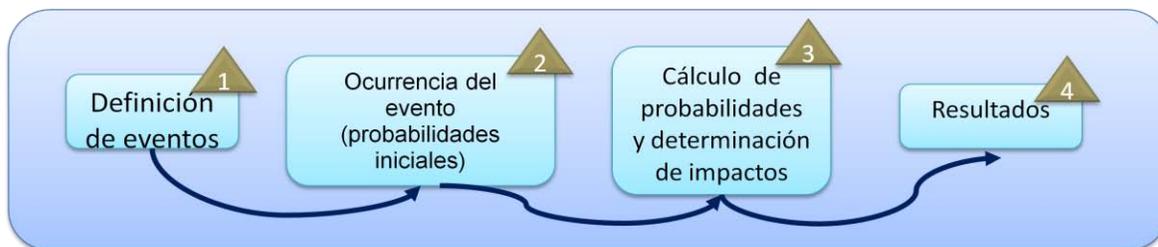
Tabla 1. Matriz impactos cruzados

Evento	Probabilidad	E1	E2	E _n
E ₁	P1	-	$\pm a_{ij}$	$\pm a_{ij}$
E ₂	P2	$\pm a_{ij}$	-	$\pm a_{ij}$
E _n	P3	$\pm a_{ij}$	$\pm a_{ij}$	-

Donde E representan los eventos, P las probabilidades iniciales y a_{ij} la calificación de la relación de los eventos que en promedio otorgaron los expertos.

El procedimiento para la aplicación de impactos cruzados es el siguiente:

Ilustración 11. Procedimiento para generar impactos cruzados



El método de simulación de impactos cruzados (KSIM)

El modelo KSIM fue desarrollado por Julios Kane en 1972, es un algoritmo computacional que posibilita el arreglo de un conjunto de elementos en un orden secuencial o con una jerarquía que se basa con las interrelaciones dadas entre ellos. Las variables del sistema son delimitadas entre 0 y 1 y no pueden crecer indefinidamente.

Una variable aumenta o decrece dependiendo si el impacto neto de las otras variables sobre ésta es positivo o negativo. La respuesta de una variable a un impacto dado decrece a 0 a medida que la variable se acerque a su límite inferior o superior. De acuerdo con su autor el KSIM posee las siguientes propiedades [31]:

- al variar una variable manteniendo constante el resto de ellas, el impacto será más grande cuando mayor sea la variación de ésta;
- las interacciones complejas son descritas por una red de interacciones binarias;

Para el cálculo de probabilidad final el algoritmo KSIM, utiliza la siguiente ecuación:

$$x_i(t + \Delta t) = x_i(t)^{p_i(t)}$$

Donde: x_i es la variable bajo estudio, $x_i(t + \Delta t)$ es el valor de la variable al final del tiempo del período, $x_i(t)$ es el valor de la variable al principio del tiempo del período, y $p_i(t)$ se define como:

$$p_i(t) = \frac{1 + \Delta t \text{ suma de los impactos negativos sobre } X_i(t)}{1 + \Delta t \text{ suma de los impactos positivos sobre } X_i(t)}$$

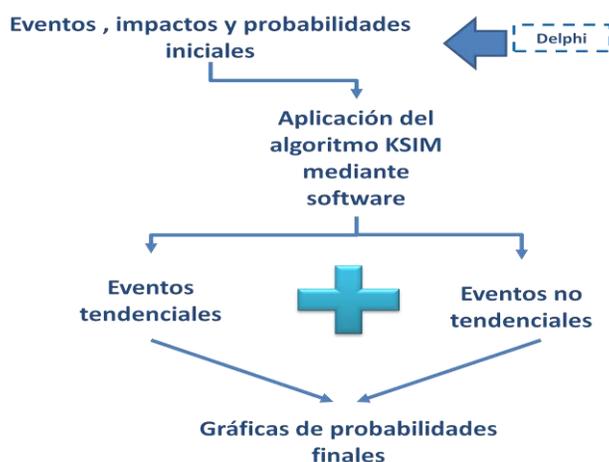
Matemáticamente esta función se puede expresar de la siguiente manera:

$$p_i(t) = \frac{1 + \frac{\Delta t}{2} \sum_{j=1}^n (|a_{ij}| - a_{ij}) x_j}{1 + \frac{\Delta t}{2} \sum_{j=1}^n (|a_{ij}| + a_{ij}) x_j}$$

Donde a_{ij} son los elementos de la matriz dado el impacto de x_j sobre x_i y Δt es el período de tiempo de la iteración, cuando los impactos negativos son mayores a los positivos $p_i(t) > 1$ y x decrece, si los impactos negativos son menores que los positivos $p_i(t) < 1$ y x crece. Finalmente cuando los impactos negativos y positivos son iguales $p_i(t) = 1$, x permanece constante.

Como muestra la ilustración No. 12, la información de las distintas etapas del Delphi permitió definir los eventos futuros sobre el AVT sus impactos y probabilidades iniciales, estos datos se procesarán mediante la aplicación del software KSIM. Se harán dos corridas tomando en cuenta únicamente eventos tendenciales y otra que incluye eventos tendenciales como no tendenciales, lo que se obtendrá como producto son gráficas que muestran las probabilidades finales de cada evento mediante la consideración de los impactos e interrelaciones de los mismos.

Ilustración 12. Aplicación de Impactos Cruzados



Interpretación de la información

Consiste en contrastar los resultados obtenidos en el análisis de tendencias con los provenientes de impactos cruzados, y crear diferentes combinaciones de eventos. De acuerdo a Mercer [33], esta fase consiste en vincular las variables clave y a partir de ellas crear un marco de referencia para elaborar los escenarios; y que lo más importante de esta etapa es que se debe tener la suficiente habilidad de identificar los patrones complejos en los datos suaves.

Redacción de futuros posibles y creíbles.

Este punto consiste en la elaboración de las storylines o argumentos, se combinan los eventos creados en e) y se procede al diseño de argumentos, que darán origen a diversos escenarios. Los escenarios pueden ser escritos como una serie de ensayos, esto generalmente es utilizado cuando su enfoque es de tipo cualitativo mayoritariamente o bien pueden ser presentados únicamente como tablas en la que se muestren los datos cuantitativos más relevantes, o bien utilizando simplemente diagramas de flujo.

La presentación y construcción de los escenarios va a depender de los siguientes aspectos:

- la naturaleza de los mismos (cuantitativa-cualitativa-mixta);
- su función o modo de empleo;
- los grupos de interés involucrados;
- creatividad.

Es necesario destacar que el fin de todo escenario es dar a conocer los futuros posibles de una determinada situación u objeto de una manera altamente comprensible.

Cuando se redacta el escenario se debe:

- a) definir el sistema pero únicamente de una manera breve, para ubicar al lector en el escenario;
- b) describir objetivos, supuestos, valores y variables;
- c) establecer los actores y eventos;
- d) considerar las tendencias, la evolución del sistemas y opciones;
- e) detectar los elementos portadores del futuro son aquellos que pudiesen suceder y que de hacerlo, pueden alterar las tendencias bien sea modificando su dirección o reforzándola;
- f) determinar las consecuencias y previsiones de las tendencias y de los elementos portadores del futuro.

3. CONSTRUCCIÓN DE ESCENARIOS

3.1 Ubicación del Sistema y conocimiento preciso de la situación actual

Para la definición del sistema es preciso responder a las preguntas: qué es, cuáles son sus funciones básicas, su localización, y por supuesto, el conocimiento de su estado actual. En este apartado se abordarán estos y otros aspectos relacionados.

3.1.1 Ubicación del Sistema

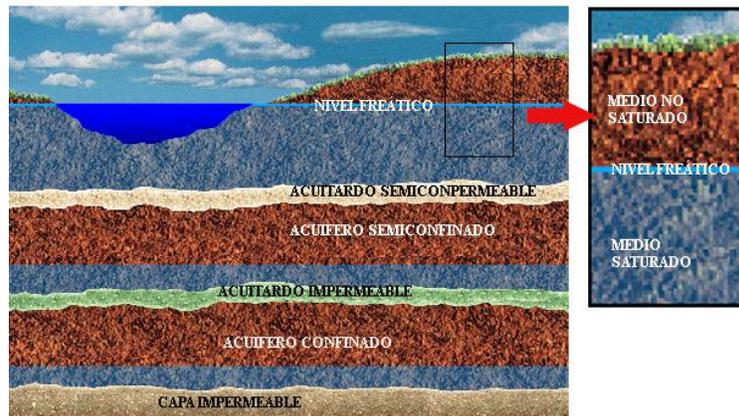
Definición de Acuífero

Un acuífero es una formación geológica subterránea compuesta de grava, arena o piedra porosa, capaz de almacenar y rendir agua. Las condiciones geológicas e hidrológicas determinan su tipo y funcionamiento [34]. Para el caso particular del AVT, el acuífero superior corresponde al medio poroso y el inferior al fracturado. El acuífero superior funciona como libre y descansa sobre unas tobas de baja permeabilidad que actúan como acuitardo, las que a su vez yacen y confinan físicamente al acuífero inferior que debe funcionar hidráulicamente como confinado o semiconfinado.

Los acuíferos libres son aquéllos en que el agua subterránea presenta una superficie libre, sujeta a la presión atmosférica, como límite superior de la zona de saturación (la zona de saturación de un acuífero es aquella en que los poros están completamente rellenos de agua y la presión del agua es superior a la de la atmósfera). Esta superficie libre se conoce como superficie freática y el nivel a que ella se eleva, respecto a otro de referencia, nivel freático).

Los acuíferos confinados o artesianos son formaciones geológicas permeables, completamente saturadas de agua, confinadas entre dos capas o estratos semi-impermeables o prácticamente impermeables (una inferior y otra superior), en estos acuíferos, el agua está sometida, en general, a una presión mayor que la atmosférica [35], en la ilustración No. 13, se pueden observar de manera gráfica cada uno de los acuíferos.

Ilustración 13. Tipos de acuífero



Fuente: Universidad Politécnica de Cataluña

Macrolocalización

El AVT se localiza en el Estado de México, es uno de los ocho en el Estado de México, y uno de los 37 en toda la cuenca hidrológica Lerma-Chapala, ver ilustración No. 14.

Ilustración 14. Acuíferos del Estado de México

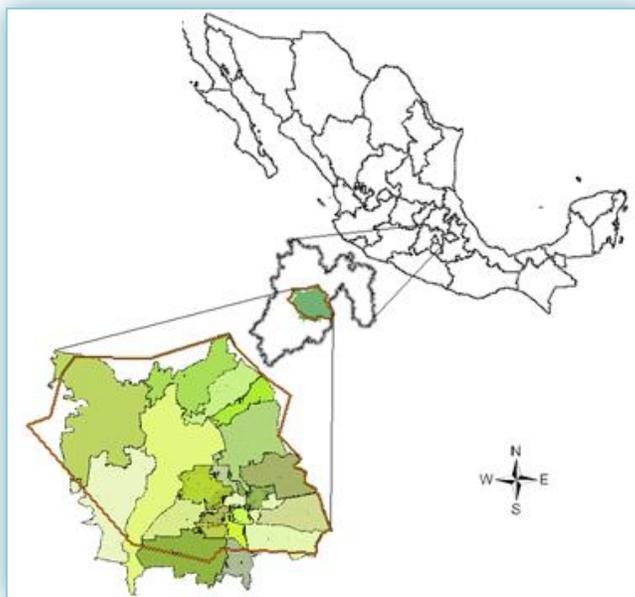


Fuente: CONAGUA, 2008

Esta cuenca abarca parcialmente el territorio de nueve entidades federativas (ver ilustración 15): Estado de México, Michoacán, Querétaro, Guanajuato, Jalisco, Aguascalientes, Zacatecas, Durango y Nayarit, incluyendo las cuencas cerradas de Pátzcuaro, Cuitzeo y Sayula - San Marcos, tiene una extensión superficial de 132,724 km², representa cerca del 7% del territorio nacional y es considerada como una región estratégica para el país. El AVT está situado dentro de la Cuenca Alta del Río Lerma, al sur del Altiplano Mexicano y limitado al Norte por el acuífero de Atacomulco-Ixtlahuaca, al Sur por

el cerro de Tenango, al Sur-Poniente del Volcán Nevado de Toluca y al Oriente por la Sierra de las Cruces y Monte Alto respectivamente, cubre un área total aproximada de 2,738 km². Abarca el 12.17% del territorio del Estado de México.

Ilustración 15. Macrolocalización-Microlocalización



Fuente: Proyecto emblemático

“Plan de Manejo de la Cuenca del Acuífero del Valle de Toluca¹”, 2009

Microlocalización

El Acuífero del Valle de Toluca comprende 23 municipios con una superficie total aproximada de 2738 km², Los municipios comprendidos dentro del Acuífero son los siguientes: Almoloya de Juárez, Almoloya del Río, Atizapán, Calimaya, Capulhuac, Chapultepec, Xalatlaco, Joquicingo, Lerma, Metepec, Mexicalcingo, Ocoyoacac, Otzolotepec, Rayón, San Antonio la Isla, San Mateo Atenco, Temoaya, Tenango del Valle, Texcalyacac, Tianguistenco, Toluca, Xonacatlán y Zinacantepec. Véase la ilustración No. 16.

¹ El proyecto emblemático se abreviara a partir de ahora con las siglas PEAVT.

Ilustración 16. AVT



Fuente: PEAVT, 2009

El Acuífero como un sistema

Para conceptualizar al acuífero como un sistema es necesario, conocer las funciones que realiza y las que se realizan sobre él. Para efectos de este estudio y tomando en cuenta los alcances y enfoque del mismo, la conceptualización del sistema acuífero se realiza con base en la temática del agua.

Las principales funciones naturales que realiza el Acuífero son las siguientes:

- almacenamiento de agua;
- captación de agua pluvial y de escurrimientos superficiales.

Las entradas del sistema lo constituyen:

- a) la recarga natural: corresponde básicamente a los volúmenes infiltrados por agua de lluvia.
- b) entradas subterráneas del Nevado de Toluca y la Sierra de las Cruces: corresponde aquellas entradas de agua horizontal proveniente de las zonas de recarga;
- c) La recargada natural inducida: es el volumen de agua que anualmente retorna al acuífero como consecuencia del riego en el área;

Las salidas del sistema son:

- a) evapotranspiración: es la pérdida de humedad de una superficie por evaporación directa junto con la pérdida de agua por transpiración de la vegetación;
- b) volumen concesionado de aguas subterráneas: son los volúmenes anuales de extracción;

- c) descarga natural comprometida: son los volúmenes de agua procedentes de manantiales o de caudal base de los ríos alimentados por el acuífero, asimismo considera las salidas subterráneas que deben de ser sostenidas para no afectar a las unidades hidrogeológicas adyacentes;
- d) tomando como base lo anterior se procede a construir el sistema (ver ilustración 17).

Como se observa también en la ilustración No. 17, el sistema está en desequilibrio presenta un estado de déficit, es decir las entradas son menores a las salidas, por lo que se están agotando con las reservas subterráneas de agua.

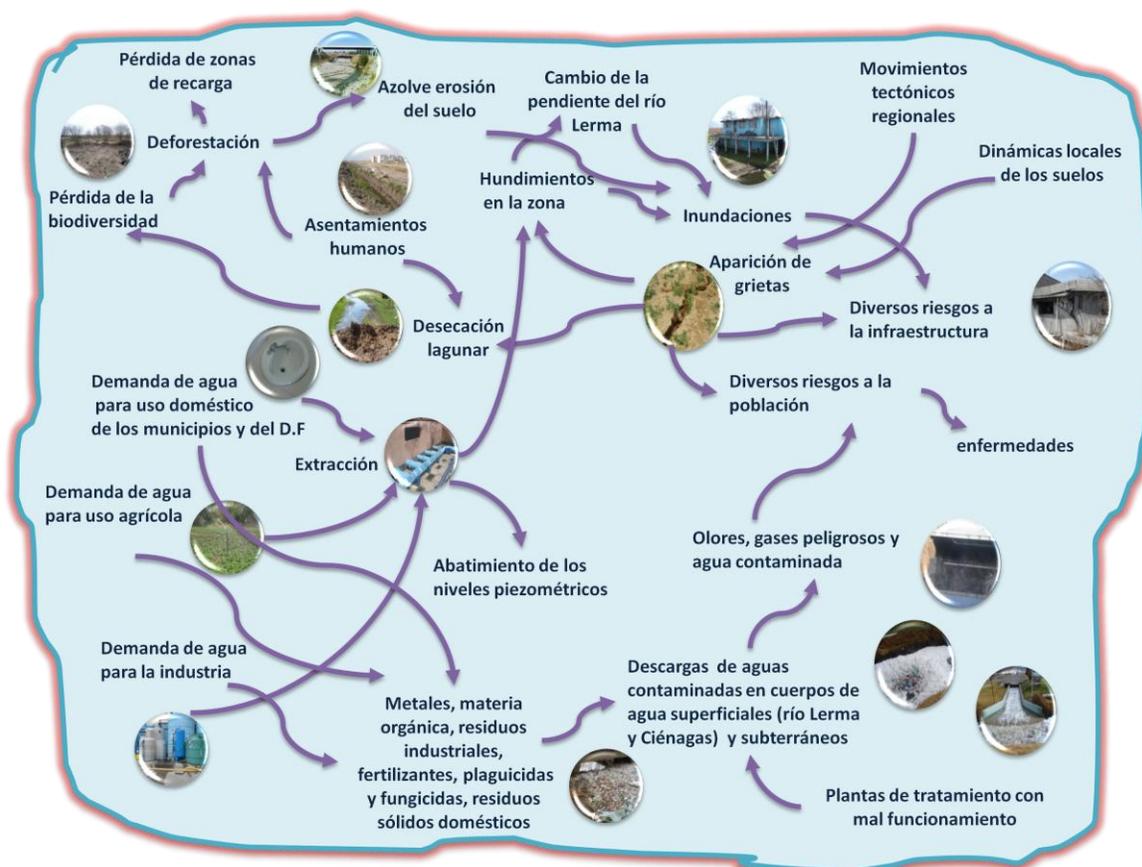
Ilustración 17. El Acuífero como sistema



Para describir su problemática, a continuación se presenta un esquema conceptual (ilustración No. 18), se tomará como punto de partida el crecimiento poblacional, ya que éste es el origen de las funciones antropogénicas. El crecimiento poblacional trae dos consecuencias principales la deforestación, la contaminación y extracción de agua. La extracción de agua reduce los depósitos de agua del Acuífero del Valle de Toluca (función de captación), la deforestación por otra parte causa la erosión de suelos y por tanto la disminución de zonas de recarga. La deficiencia en infraestructura provoca mayores volúmenes de extracción y también mayores niveles de contaminación.

La contaminación es producto directo del crecimiento poblacional, lo cual causa insalubridad. La precipitación es una variable que contribuye al aumento de los depósitos de agua.

Ilustración 18. Esquema conceptual de la problemática



El esquema conceptual de la problemática (ilustración 18) indica que la extracción para cubrir la demanda de agua agrícola, doméstica e industrial genera el abatimiento de los niveles piezométricos, asimismo contribuye al hundimiento de la zona, que a su vez provoca el cambio de pendiente del Río Lerma. Ambos eventos provocan inundaciones, las inundaciones provocan daños a la infraestructura de área. Los daños a la infraestructura también son causa de la aparición de grietas debido al movimiento tectónico regional y a la dinámica propia de los suelos. Por otra parte, los agrietamientos de igual forma contribuyen a los hundimientos y a la desecación lagunar.

La desecación lagunar, se deriva de los agrietamientos y de los asentamientos humanos, éstos últimos provocan la pérdida de la biodiversidad y la deforestación; la deforestación hace que existan menos zonas de recarga y genera el azolve y erosión del suelo. El azolve hace que las escorrentías pluviales de las zonas altas se depositen en las zonas bajas del valle, provocando inundaciones.

La demanda doméstica, agrícola e industrial genera residuos como metales, materia orgánica, residuos industriales, agrícolas y domésticos que son descargados en los cuerpos de agua superficiales o subterráneos (mediante socavones) y que producen olores, gases peligrosos y agua contaminada, que indudablemente son de alto riesgo para la población, situación que se agrava debido a que las plantas de tratamiento no funcionan de manera adecuada. Cabe mencionar, que lo anterior, cobra validez únicamente si las actuales condiciones, acciones y políticas continúan llevándose a cabo de la misma manera y no sufren ningún tipo de modificación que conlleve a la mejora de este sistema.

3.1.2 Conocimiento preciso de la situación actual

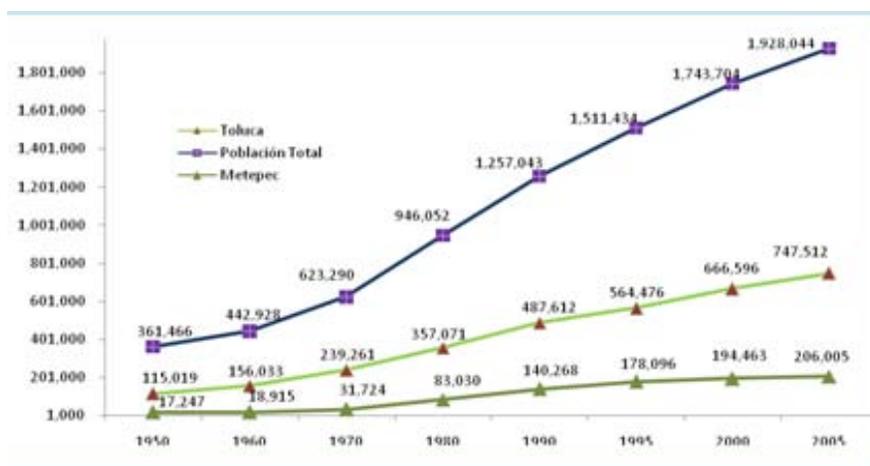
-----Contexto geográfico y socioeconómico-----

Población

La población circunscrita dentro del Acuífero del Valle de Toluca es de 1 928 044 habitantes con una densidad de población de 704 hab/km², representando el 13,77% de la población total del Estado de México (14 007 495 hab). El crecimiento no ha sido homogéneo, se ha concentrado en áreas muy delimitadas destacando los municipios de Toluca, Metepec, Lerma, Almoloya de Juárez y Zinacantepec.

El crecimiento más crítico se registró entre los años 1970 y 1980, es decir, un valor de más de 51% en la tasa de crecimiento. Los municipios de Almoloya de Juárez, Lerma, Tenango del Valle, Toluca y Zinacantepec, cuentan con casi el 61% del territorio, sin embargo, en los municipios de San Mateo Atenco y Metepec se presentan los mayores índices de densidad de la población con 5 305 hab/km² y 2 925 hab/km², respectivamente. A continuación en la ilustración No. 19 se muestra la evolución de la población en el Acuífero y las ciudades de mayor crecimiento poblacional.

Ilustración 19. Crecimiento de la población



Fuente: PEAVT, 2009

Indicadores económicos

Población económicamente activa: según datos del INEGI, los índices más altos de la población económicamente activa se concentraban mayormente en los municipios de Toluca, San Mateo Atenco, Mexicaltzingo, Metepec, Chapultepec, Calpulhuac y Atizapan, con índices mayores a los 50 puntos porcentuales. En los casos de los municipios de Almoloya de Juárez, Joquicingo y Temoaya, se registraban los índices más bajos de la región con 41%, 40,8% y 42,2% en comparación con el total de su población, respectivamente. La tabla 2, presenta la PEA de todos los municipios del Acuífero Valle de Toluca.

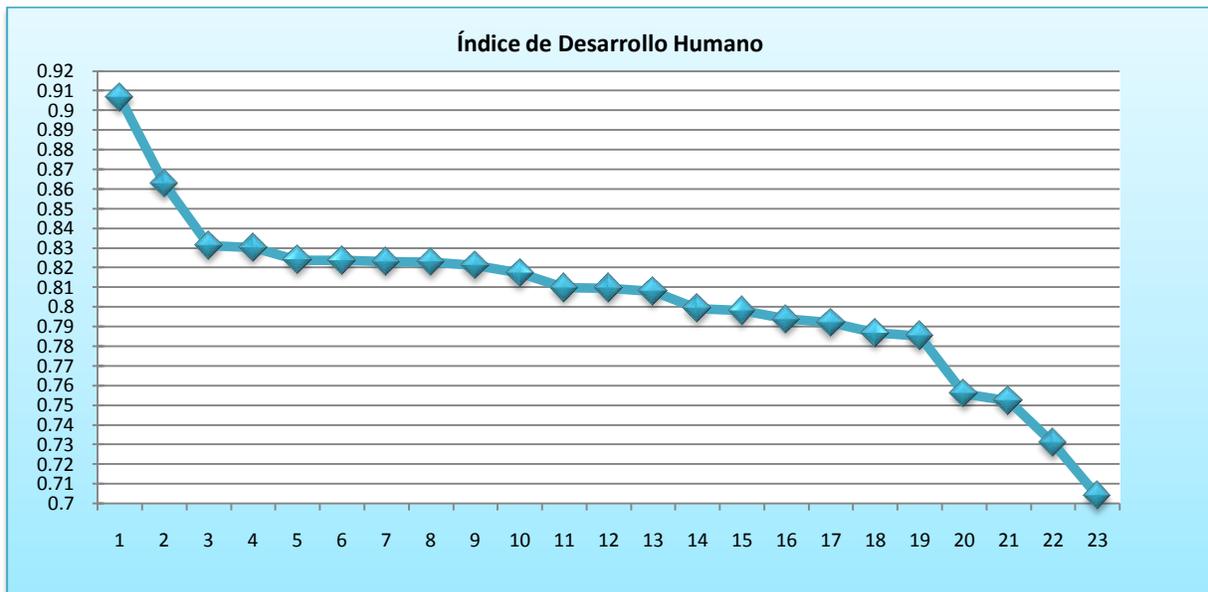
Tabla 2. Población económicamente activa 2005

Municipios	Cantidad habitantes económicamente activos	Municipios	habitantes económicamente activos	Municipios	Cantidad habitantes económicamente activos
Almoloya de Juárez	29392	Ocoyoacac	17340	Metepec	73905
Almoloya del Río	2969	Otzolotepec	17158	Mexicaltzingo	3365
Atizapán	2861	Rayón	3078	Xonacatlán	13693
Calimaya	11079	San Antonio la Isla	3392	Zinacantepec	36241
Capulhuac	10188	San Mateo Atenco	20769	Tianguistenco	19239
Chapultepec	2013	Temoaya	18504	Toluca	237157
Joquicingo	2911	Tenango del Valle	20119	Xalatlaco	5966
Lerma	32449	Texcalyacac	1315		

Fuente: PEA VT, 2009

Índice de desarrollo humano (IDH): se puede observar que 13 de los 23 municipios que comprende el Acuífero del Valle de Toluca, tienen un índice de clasificación alta. Siendo Metepec el más alto del Acuífero y del Estado de México (0.9066) y el municipio Temoaya presenta el índice más bajo (0,7039). El promedio Nacional es 0.82, y el del Estado de México 0.8075; 14 de los 23 municipios están por debajo del promedio nacional. Un IDH bajo expresa la carencia de las capacidades para el desarrollo del municipio (ver gráfica 4).

Gráfica 4. Índice de desarrollo humano



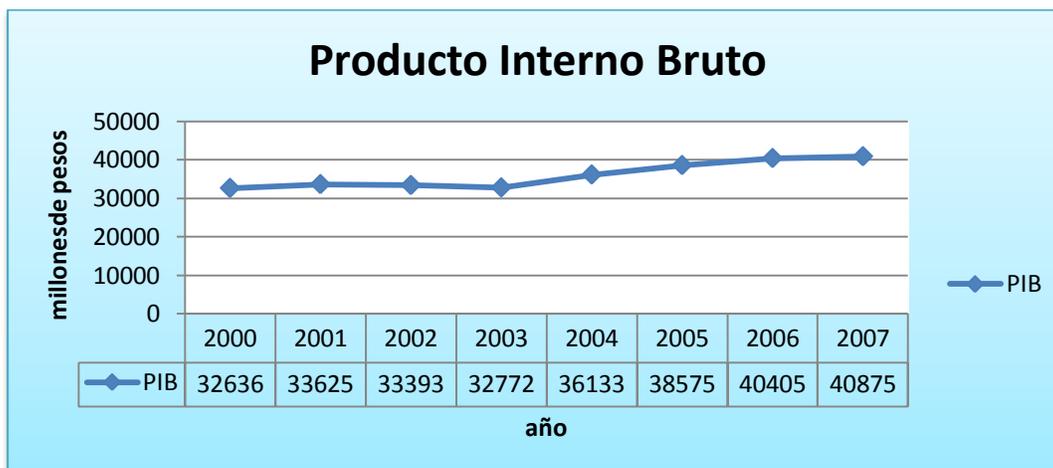
	Municipio	IDH	ID.	Municipio	IDH	ID.	Municipio	IDH
1	Meteppec	0.9066	9	Lerma	0.8211	17	Xonacatlán	0.792
2	Toluca	0.8627	10	Almoloya del Río	0.8171	18	Xalatlaco	0.7867
3	Mexicaltzingo	0.8312	11	Atizapán	0.8097	19	Tenango del Valle	0.7853
4	San Mateo Atenco	0.8303	12	Rayón	0.8096	20	Joquicingo	0.7558
5	Chapultepec	0.8238	13	San Antonio la Isla	0.8079	21	Otzolotepec	0.7522
6	Texcalyacac	0.8236	14	Calimaya	0.7991	22	Almoloya de Juárez	0.7309
7	Ocoyoacac	0.823	15	Zinacantepec	0.798	23	Temoaya	0.7039
8	Capulhuac	0.8228	16	Tianguistenco	0.7939			

Fuente: PEAVT, 2009

Producto Interno Bruto (PIB): el PIB registrado dentro del Valle de Toluca, es considerablemente alto, ya que para el año 2007 del total del PIB generado dentro del Estado de México, el 20% se genera en el Valle (40 874,72 millones de pesos), porcentaje considerablemente alto, si tomamos como referencia que tan sólo son 23 municipios de los 216 municipios que comprende dicho Estado. Se puede observar que dentro los sectores de servicios (20 415,57 millones de pesos) e industrial (16 470,29 millones de pesos), se concentra el 90% del PIB dentro del Acuífero del Valle de Toluca. El 64% del PIB es generado en Toluca agregando los municipios de Lerma y Metepec, se cuenta con el 81% del PIB generado dentro de la región del Acuífero del Valle de Toluca.

En la gráfica 5, se observa la tendencia creciente del PIB generado en este Acuífero, los mayores niveles de crecimiento se observan a partir del año 2004.

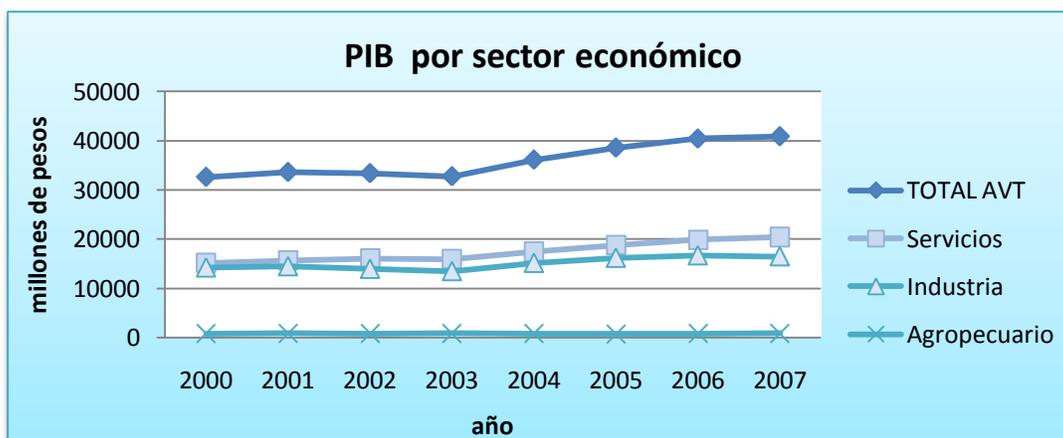
Gráfica 5. Producto Interno Bruto de I AVT



Fuente: PEAVT, 2009

La gráfica No. 6 muestra que las mayores contribuciones al PIB provienen del rubro de servicios e industrial, ambos presentan una tendencia hacia el crecimiento, por otra parte el PIB agropecuario presenta una estabilización y es el rubro con la menor contribución en el PIB total generado en este valle.

Gráfica 6. PIB por sector Económico



Fuente: PEAVT, 2009

Ingreso per cápita: El municipio de Metepec, que se ubica en el lugar 18 a nivel nacional en relación a un mayor ingreso per cápita y sólo después de Huixquilucan con respecto al Estado de México. Los municipios de Metepec y Toluca, concentran más del 16% de ingreso per cápita en el Acuífero del Valle de Toluca.

Índice de marginación: de acuerdo a los datos de INEGI para 2005, el municipio de Temoaya tenía el más alto grado de marginación, seguido por Oztolotepec, Almoloya de Juárez y Joquicingo que presentaban un grado medio de marginación.

-----Situación de los recursos hídricos-----

Disponibilidad de agua

Para el año 2008, según datos publicados en el Diario Oficial de la Federación, se estimó que la recarga media anual para el Acuífero fue de aproximadamente 336.80hm^3 , una descarga natural comprometida de 53.60hm^3 , un volumen concesionado de agua subterránea de 435.66hm^3 , un volumen de extracción consignado en estudios técnicos de 422.40hm^3 y un déficit de -152.51hm^3 .

Los niveles piezométricos en promedio para el año 2006 se encontraban a una profundidad promedio de alrededor de 33.51 metros, aunque para el año 2009 en algunos lugares se han llegado a estimar abatimientos en los niveles de hasta 100 m.

Calidad del Agua

La contaminación de los cuerpos de agua se debe a las descargas de aguas residuales municipales, industriales y retornos agrícolas sin tratamiento. Los contaminantes más frecuentes en el área de estudio son: materia orgánica, microorganismos, desperdicios industriales, metales pesados, plaguicidas, productos químicos domésticos.

Con respecto a la contaminación del agua subterránea existe un alto peligro de infiltración de lixiviados al acuífero por efectos de basureros localizados en zonas altamente permeables en las zonas de Oztolotepec y Tianguistenco.

En general, la región de estudio se clasifica en contaminada a altamente contaminada. La industrialización intensiva, las labores agrícolas y el crecimiento poblacional en las zonas comprendidas dentro de la cuenca han producido estos estados de contaminación alarmantes.

La mayor vulnerabilidad, en lo referente a contaminación, que afecta al acuífero es la que proviene de las descargas residuales provenientes del corredor industrial Lerma-Toluca, de zonas residenciales y agrícolas. El volumen de descarga generado por las aguas superficiales y subterráneas para el 2008 fue de alrededor de 111.7Mm^3 . las descargas hacia aguas subterráneas contabilizadas fueron de alrededor de 68Mm^3 , es decir, el 61%.

Los municipios más contaminantes (productores de contaminación) son: Lerma, Metepec, Toluca y Xonacatlán.

El mayor volumen de descargas en aguas superficiales proviene del uso Público-Urbano (76.3% del total) seguido de la Acuicultura (22.1%) de acuerdo a los datos proporcionados por el REPDA 2008, en lo que se refiere a descargas en aguas subterráneas el 84.6% de las aguas residuales es de uso público urbano y el 7.8% de aguas industriales.

En promedio se han detectado los siguientes valores promedio de los distintos cuerpos de agua fluctúa el pH alrededor del 6.86-7.6, el oxígeno disuelto en los rangos de 0.3-0.6 mg/L, el DQO (Demanda química de Oxígeno) de 280-352 mg/L, los sólidos suspendidos totales del 61-127 mg/L, los sólidos suspendidos variables del 21-47 mg/L, y los sólidos disueltos totales de 263-1405 mg/L; cabe destacar que dichos valores son globales y cambian dependiendo de cada cuerpo de agua en particular.

-----Clasificación de los usos del agua-----

Existen tres clases de usos básicos del agua: agrícola, industrial y público-urbano. Para este caso en particular existe otro caso a tomar en cuenta, la concesión al Distrito Federal. A continuación se describen cada uno de ellos.

Agrícola: El agua empleada para uso agrícola en el Acuífero del Valle de Toluca se estimaba para el año 2005, según datos del REPDA en 123 Mm³, lo que representaba tan sólo el 0,21% del volumen concesionado a nivel nacional (57 721 Mm³) y casi el 3,3% del volumen concesionado para el Edo. de México (3733 Mm³). En los municipios de Almoloya de Juárez, Temoaya y Toluca se concentraba casi el 60% del volumen concesionado. Para el 2008 se explotaban aproximadamente 131Mm³.

Industrial: El agua empleada para uso industrial para el año 2005 (de acuerdo a datos provenientes del REPDA), fue 37 Mm³, lo que representaba el 0,52% y del volumen concesionado a nivel nacional y el 7,94% para el Estado de México.

Dado que en el Acuífero del Valle de Toluca se cuenta con una de las principales zonas industriales del Estado de México y del país, se puede observar que tan sólo un pequeño porcentaje de la superficie que comprende el Acuífero del Valle de Toluca (2738km²) y 12,17% de la superficie total con respecto al estado), pertenece a la zona industrial, el volumen de agua concesionado para la industria dentro del Estado, es considerablemente alto.

En los municipios de Lerma y Toluca se concentra más del 91% de los volúmenes concesionados en esta zona en se ubica el parque Industrial Lerma. Para 2008 se destinaban para este uso 44 Mm³.

Uso público urbano: El agua empleada para uso público urbano se estimaba para el año 2005, según datos del REPDA de 118 Mm³, lo que representa tan sólo el 1,10% del volumen concesionado a nivel nacional (10 703 Mm³) y casi el 3,23% del volumen concesionado para el Estado de México (3 659 Mm³). En 2008 se destinaban aproximadamente 122 Mm³. Ver gráfica No. 7.

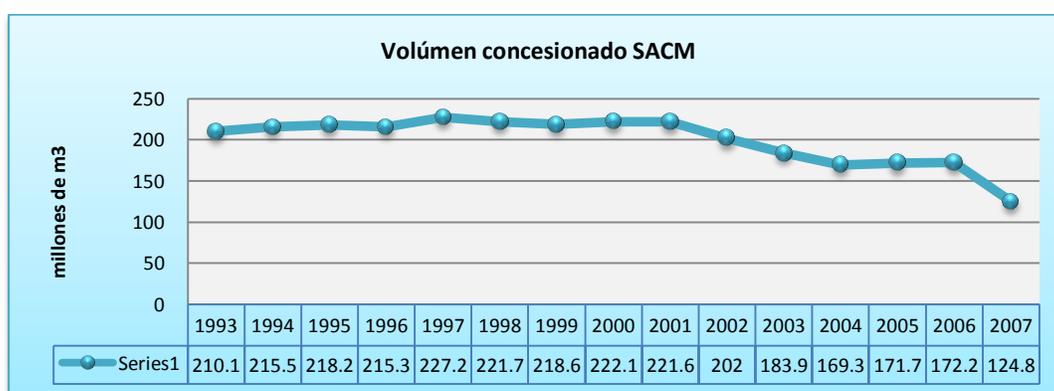
Gráfica 7. Usos del agua



Fuente: PEAVT, 2009

Concesión al Distrito Federal mediante el Sistema de Aguas de la Ciudad de México (SACM): En 2007 se concesionaba un volumen de 125 Mm³ con un gasto de 5,29 m³/seg, de acuerdo con la gráfica No. 8.

Gráfica 8. Volumen concesionado



Fuente: PEAVT, 2009

-----Infraestructura hidráulica-----

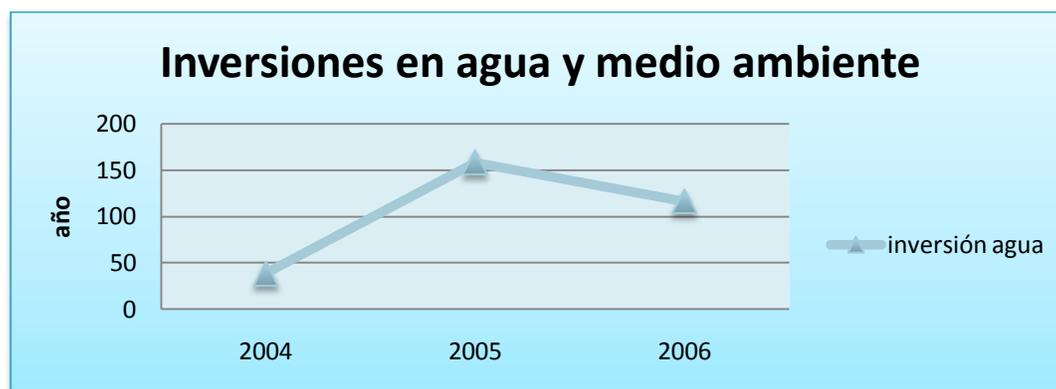
Alcantarillado: En materia de Alcantarillado, para 2005 se contaba con un valor del 89.04% de cobertura, porcentaje inferior al reportado para el Estado de México, 91.2% y superior al nacional, 85.6%.

Agua potable: Para el año de 2005, en el Acuífero del Valle de Toluca tenía casi el 92% de la población con acceso a agua potable, que es un porcentaje ligeramente inferior al del Estado de México, 93.2% y superior al nacional, 89.2%.

Tratamiento y reúso del agua: En lo que respecta a las plantas de tratamiento de aguas residuales, en el año operaban 19 plantas, para el 2008 únicamente estaban operando 16 plantas. La capacidad instalada de las plantas de tratamiento en el año 2007 fue de 2 743,0 lts/seg y el caudal tratado fue 1 950,0 lts/seg. Es decir, se trató el 20% del volumen total concesionado.

Inversiones: Las inversiones que se realizan en materia de agua, en el 2006 se estimaban alrededor de 176.33 millones de pesos, de acuerdo a datos oficiales del Estado de México (gráfica No. 9). En lo que respecta a las inversiones en medio ambiente para el año 2006 se calculaban en 6.14 millones.

Gráfica 9. Inversiones en agua y medio ambiente



Fuente: PEAVT, 2009

-----Instrumentos de gestión del agua-----

Normatividad: Mediante el decreto presidencial de fecha 10 de agosto de 1965 se estableció Veda por tiempo indefinido para el alumbramiento de Aguas del Subsuelo en la zona conocida como Valle de Toluca, del tipo rígida². Su disponibilidad se considera escasa y su condición geohidrológica sobreexplotada.

² Veda rígida: veda en la que no es posible aumentar las extracciones sin peligro de abatir peligrosamente o agotar los mantos acuíferos.

Los principales eventos detectados, en el lugar, en referencia al incumplimiento de la normatividad son: violación de veda, aprovechamientos clandestinos, acciones premeditadas para la desecación lagunar, falta de alineación con la normatividad internacional principalmente a lo correspondiente a la calidad del agua, el incumplimiento del ordenamiento territorial ya que se construye en zonas de inundaciones naturales y existe presencia de asentamientos humanos en zonas lagunares.

Cuotas: Las cuotas establecidas varían de municipio en municipios, asimismo en cada uno de ellos existe una fuerte variación en las tarifas establecidas y en los criterios en que se basan, al momento de la elaboración de este documento únicamente la información disponible corresponde a los tres municipios más importantes del Acuífero del Valle de Toluca: Metepec, Toluca y Zinacantepec. Las cuotas son referidas al número de salarios mínimos.

La ilustración 20, indica los diferentes tipos de cuotas y sus criterios.

Ilustración 20. Tarifas y criterios



A continuación se presentan a través de cuadros resumen (tablas de 3 a la 6) las diferentes tarifas y categorías.

La forma de interpretar las tablas es la siguiente, la primera columna muestra los niveles de consumo, por ejemplo, si el consumo bimestral es de 48 metros cúbicos, entonces la tarifa a pagar es 6.67 veces el salario mínimo autorizado por el Estado, otra situación puede ser que el municipio tiene acuerdos con los usuarios de agua y se tiene una tarifa fija (por ejemplo un consumo de 60m^3), pero si éstos sobre pasan esta tarifa entonces se llega a cobrar un consumo adicional por m^3 .

Tabla 3. Tarifas para uso doméstico con medidor

Consumo bimestral por m ³	Toluca		Metepec	
	cuota mínima para el rango inferior (en número de salarios mínimos)	Consumo adicional por m ³	cuota mínima para el rango inferior (en número de salarios mínimos)	Consumo adicional por m ³
0-15	2.0461	0	1.3282	0
15.01-30	2.0461	0.1483	1.3282	0.089
30.01-45	4.2702	0.1601	2.6632	0.0891
45.01-60	6.6721	17.2	4.001	0.106
60.01-75	9.252	0.1839	5.5897	0.1786
75.01-100	12.0098	0.2076	8.27	0.2096
100.01-125	17.1991	0.2109	13.5096	0.2713
125.01-150	22.4726	0.3669	20.2927	0.3279
150.01-300	31.6448	0.4011	28.489	0.3584
300.01-500	91.8128	0.427	82.2548	0.3815
500.01-700	177.2096	0.4482	158.565	0.4005
700.01-1200	266.8447	0.455	238.6626	0.4066
Más de 1200	494.3558	0.455	441.9847	0.4066

Fuente: Comisión de Agua del Estado de México (CAEM)

En este trabajo no se obtuvieron datos de tarifas para uso doméstico medidor para el municipio de Zinacantepec.

Tabla 4. Tarifas para uso no doméstico con medidor

Consumo bimestral por m ³	Toluca		Metepec		Zinacantepec	
	cuota mínima para el rango inferior	Consumo adicional por m ³	cuota mínima para el rango inferior	Consumo adicional por m ³	clasificación	cuota mínima
0-15	4.2702	0	3.021	0		
15.01-30	4.2702	0.2965	3.021	20.32	seco	4
30.01-45	8.7182	0.3084	6.069	0.21	húmedo A	5
45.01-60	13.3443	0.3203	9.2183	0.2218	húmedo B	20
60.01-75	18.1481	0.3321	12.5458	0.3355	húmedo C	25
75.01-100	23.13	0.3505	17.5784	0.4553	Alto Consumo A	25
100.01-125	31.8915	0.638	28.9598	0.5702	Alto Consumo B	50
125.01-150	47.8423	0.6692	43.2134	0.5981	Alto Consumo C	75
150.01-300	64.5727	0.7058	58.1636	0.6307	Local cerrado	2
300.01-500	170.4494	0.7387	152.7746	0.6601		
500.01-700	318.1822	0.7564	284.787	0.6759		
700.01-1200	469.4578	0.7738	419.9671	0.6914		
1200.01-1800	856.3408	0.8085	765.6841	0.7225		
más de 1800	1341.466	0.8085	1199.1898	0.7478		

Fuente: Comisión de Agua del Estado de México (CAEM)

Se observa que el municipio de Zinacantepec usa criterios diferentes para el establecimiento de las tarifas de agua, y que en este caso depende del giro de la industria, el denominado giro seco incluye negocios como dulcerías, joyerías, oficinas entre otros; por otra parte el húmedo está conformado por restaurantes, clínicas médicas y similares. Los de alto consumo abarcan hoteles, lavanderías, y otros. Para mayor detalle de esta clasificación ver cita [36].

La tabla 5, se interpreta de la siguiente manera, las tarifas se establecen de acuerdo al diámetro de la toma (segunda columna), la calidad urbana del lugar (tercer columna), se puede observar, si el diámetro de la toma es 13, y la zona urbana es popular rural se cobra 4.6343 salarios mínimos por consumo bimestral.

Tabla 5. Para uso doméstico sin medidor

Tarifa	Toluca			Metepéc		Zinacantepec	
	diámetro de toma mm	descripción	salarios mínimos	descripción	salarios mínimos	descripción	salarios mínimos
10	13	operación, mantenimiento y reposición de la red	1.6	*****	*****	*****	***
9	13	popular rural	4.6343				
11	13	popular urbana	5.1432	popular	4.1712	popular tandeadada	2.516
15	13	popular media	5.817	popular media	8.9769	Interés social y popular	4.194
29	13	popular alta	7.8747	residencial media	13.7826	Residencial media	13.923
17	13	residencial baja	10.9574	residencial media alta	27.7427	Residencial Alta	16.923
12	13	residencial media	15.2726	residencial alta	41.7029		
16	13	residencial media alta	28.067	Lote Baldío	1.5384		
13	13	residencial alta	46.6687				
14	19 a 26	residencial especial	97.7087				

Fuente: Fuente: Comisión de Agua del Estado de México (CAEM)

La tabla No.6, uso no doméstico sin medidor, se interpreta de la siguiente manera, por ejemplo si el diámetro de la toma es 26 mm (segunda), entonces se deben cobrar 481.336 salarios mínimos bimestrales (segunda columna) y si el diámetro de la toma es 75 mm (tercer columna) entonces se debe cobrar 2872.2017 salarios mínimos(cuarta columna).

Tabla 6. Para uso no doméstico sin medidor

Tarifa	diámetro de toma mm	salarios mínimos	diámetro de toma mm	salarios mínimos
19	13	10.0308	19	229.3558
21	13	24.7503	26	363.6358
22	19	294.5966	32	597.2721
23	26	481.336	39	747.1176
24	32	719.3185	51	1293.8143
25	39	899.4658	64	1954.6441
26	51	1518.851	75	2872.2017
27	64	2264.4856		
28	75	3326.9811		

Fuente: Fuente: Comisión de Agua del Estado de México (CAEM)

Como se observa en las tablas 3-6, anteriormente no existe una estandarización de tarifas y criterios en los tres diferentes municipios analizados y lo mismo aplica para el resto que conforman este acuífero, lo que favorece la falta de control y contribuya a una subvaloración del agua en algunos de ellos.

-----Aspectos políticos e institucionales-----

Con relación a esta temática se manifestaron los siguientes elementos³:

a) Protagonismo institucional, duplicación de programas y esfuerzos: *entre las diferentes instituciones existentes en el área existe una fuerte competencia cada una de ellas tiene su propio plan para una misma situación problema y no existe una actitud de cooperación [37]*. La duplicación de programas y esfuerzos conlleva a la pérdida de recursos financieros y a la ineficiencia en el desarrollo e implementación de planes.

b) Recelo para proporcionar información: existe competencia existe entre dependencias de diferente o bien entre funcionarios dentro de una misma institución lo que conlleva al ocultamiento de la información.

³ Estos elementos se detectan en el área de estudio, para mayor detalle revisar la referencia [36] de Sandoval Moreno, algunos otros fueron, dados a conocer por diferentes expertos entrevistados.

c) Desvinculada administración del agua: las actividades de cooperación y coordinación interinstitucional son altamente escasas. Existen esfuerzos fragmentados y aislados de las diferentes instituciones, es decir existe incapacidad de coordinación interinstitucional y de liderazgo institucionales para articular iniciativas integrales.

d) Desintegración del COTAS: El Comité Técnico de Aguas Subterráneas A.C. (COTAS) se instaló formalmente en el año 2003 para el manejo sustentable de los recursos hídricos en el acuífero del valle de Toluca, *pero se ha encontrado con limitaciones en asuntos organizacionales internos específicamente en lo que respecta al compromiso y vinculación tanto interna (entre sus funcionarios) como externa (relaciones con otras instituciones) lo que ha repercutido en dificultades para iniciar sus operaciones formalmente [37].*

e) Escasa difusión de programas interinstitucionales del agua: la comunicación entre las diversas instituciones es limitada lo que no permite abordar los problemas de manera coordinada, integral y participativa, ya que no se conoce con precisión las problemáticas, planes y acciones que cada institución realiza para cada problemática lo que no permite concretar y ejecutar soluciones adecuadas para la compleja problemática existente en el lugar.

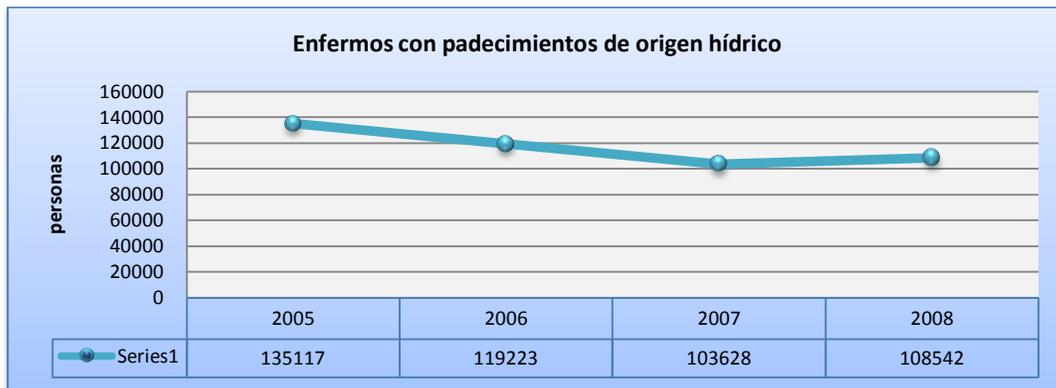
f) Selección y evaluación inadecuada de proyectos de infraestructura: existe una tendencia a seleccionar aquellos proyectos de tipo tradicional, de complejidad elevada y de alto costo, en el momento de selección se descartan opciones de bajo costo y no tradicionales.

g) Investigación dispersa y sin temática definida: las distintas organizaciones académicas trabajan de forma dispersa y sin integración, además se hace una duplicación de esfuerzos para una misma problemática.

-----Agua, salud y medio ambiente-----

Agua y Salud: En el área bajo estudio, no se han realizado investigaciones que permitan enlazar un medio transmisor específico con las posibles enfermedades de origen hídrico. Se han detectado municipios con las llamadas zonas de conflicto, es decir con baja cobertura médica pero alto porcentaje de enfermedades de origen hídrico son: Temoaya, Lerma, Capulhuac, Atizapán, San Mateo Atenco, Almoloya del Río y Texcalyac. Sin embargo se han realizado investigaciones de genotoxicidad en vicia faba (o haba) en las que se encontraron indicios de actividad mutagénica [38]. En la gráfica No. 10, se observan los enfermos con padecimientos de posible origen hídrico en el período 2005-2008 en el AVT.

Gráfica 10. Enfermos con padecimientos de origen hídrico



Fuente: PEAVT, 2009

Biodiversidad: en cuanto a la fauna se cuenta con una gran diversidad de aves, reptiles y anfibios, peces e insectos, se tienen registros de la existencia de 116 especies de aves propias del área, además de peces como charales, pescado blanco y salmiche, ajolotes, ranas y muchos tipos de invertebrados como acociles. se puede encontrar en el área están: Tlacuache, Musaraña, Murciélago, Motocle, Tuza, ratón de campo, conejos, lagartijas, entre otros.

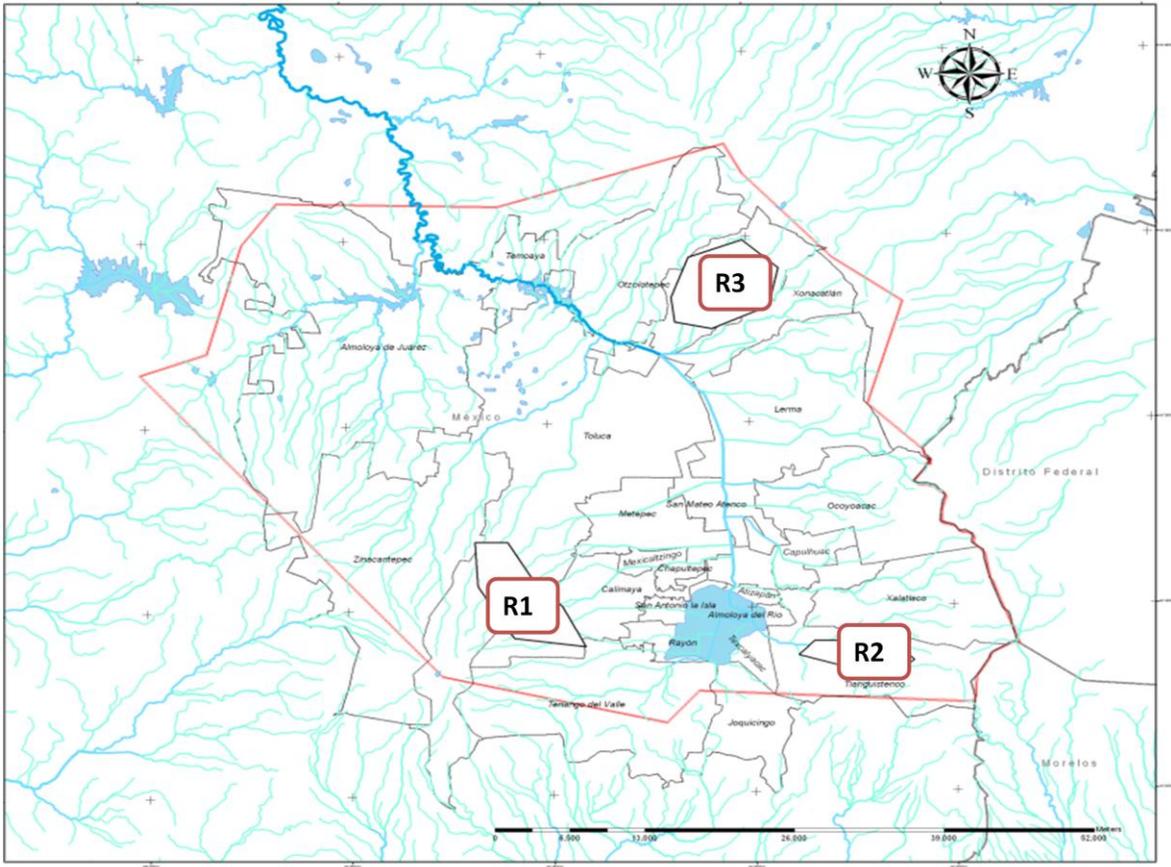
Con respecto a la flora, hay especies de árboles como Sauce llorón (*Salix babilonica*), el ahuejote (*Salix bomplandiana*) y el ahuehete (*Taxodium mucronatum*). También hay plantas acuáticas de la familia Typhaceae (tifas), Cyperaceae (escobilla) y Juncaceae (tules), entre otras.

Humedales: Las ciénagas del Lerma son los humedales remanentes más extensos del Centro de México, especialmente de los Valles de México y Toluca. Cubren más de 30 km², en tres lagunas, Las ciénagas presentan diferentes hábitats, incluyendo zonas de aguas profundas (hasta 5 metros), zonas con vegetación emergida, zonas de vegetación inundada y zonas de vegetación riparia. Mantienen una alta diversidad de fauna y flora acuáticas, incluyendo decenas de especies endémicas y en riesgo de extinción, muchas de las cuales son exclusivas de estas ciénagas. También son importantes para el mantenimiento de las aves acuáticas migratorias, ya que son el hábitat más extenso en la región. Las ciénagas son básicas para el ciclo hidrológico del acuífero y para evitar inundaciones dentro del Valle de Toluca.

Zonas de recarga: Las principales zonas de recarga la constituyen el Nevado de Toluca y la Sierra de las Cruces. De forma más particular y con base en diferentes criterios técnicos, ambientales y sociales. Las principales zonas de recarga del AVT (ver ilustración No. 21) en las que es posible considerar el uso de recarga natural y artificial son:

- Región 1. Nevado de Toluca;
 Región 2. Santiago Tianguistenco;
 Región 3. Santa María Zolotepec;

Ilustración 21. Zonas de Recarga



Fuente: PEAVT, 2009

-----Fenómenos Extremos-----

En la zona bajo estudio, se presentan básicamente dos tipos de fenómenos extremos:

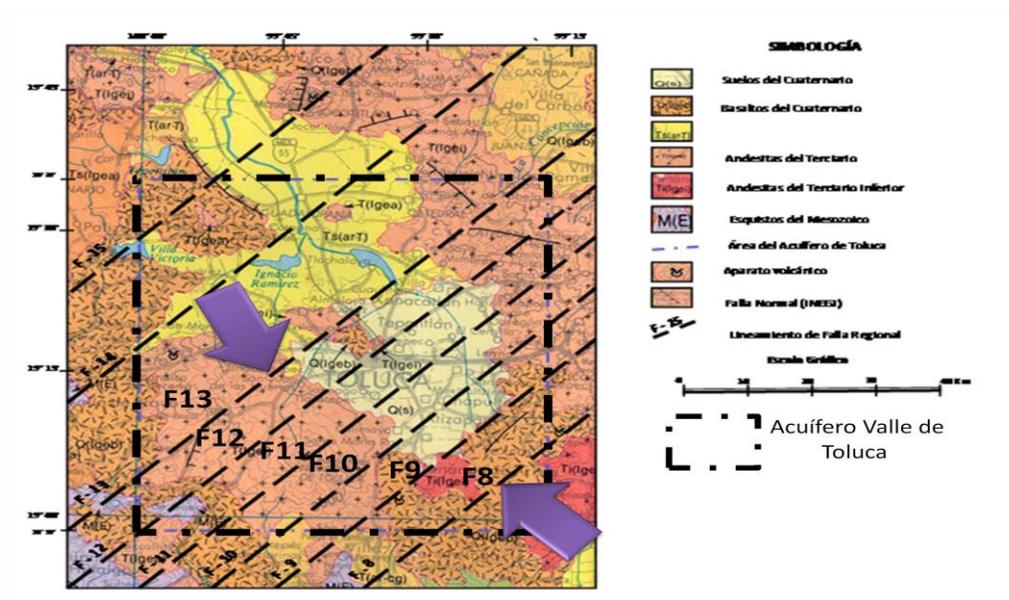
- las inundaciones;
- los agrietamientos.

La existencia de agrietamientos en el suelo es un fenómeno de carácter sistémico, es decir, su aparición obedece a la combinación de diversos procesos de origen natural (dinámica tectónica y propiedades mineralógicas y mecánicas del suelo) y antropogénico por el proceso de urbanización que dispara la extracción de agua subterránea.

Se puede inferir que las estructuras geológicas mayores tienen una orientación NE-SW y NW-SE, que afectan al área del acuífero de Toluca. A estas estructuras se asocian la mayoría de los agrietamientos que han sido identificados en el área, los cuales han sido incrementados y son más notorios al afectar a diversas instalaciones de la infraestructura urbana e industrial.

Las fallas involucradas que más impactan sobre el AVT son de la F-9 a la F-14, siendo la F-12 la que más incide en la zona (fallas NE-SW). La ilustración No. 22, indica la ubicación de las fallas dentro de la región.

Ilustración 22. Geología y principales fallas



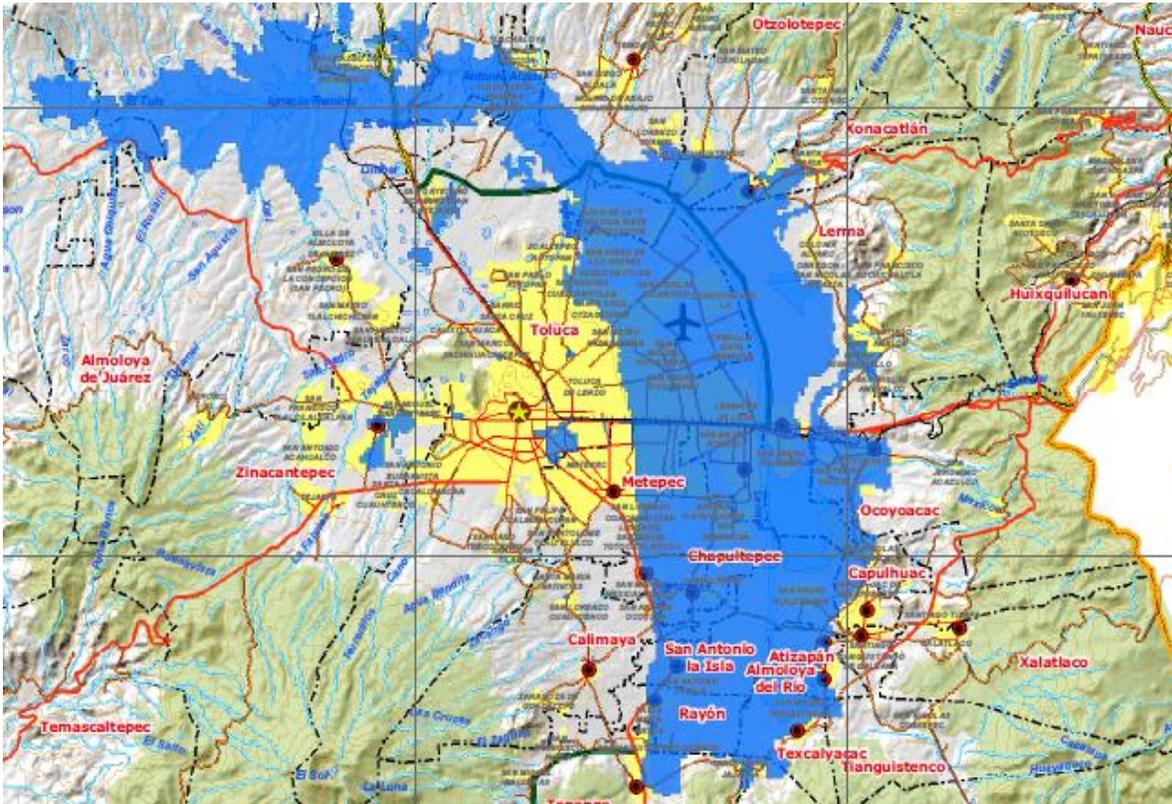
Fuente: PEAVT, 2009

El Valle de Toluca tiene, como principal característica, una incipiente pendiente de terreno que va desde la laguna de Almoloya del Río hasta las presas Ignacio Ramírez y Antonio Alzate, en los municipios de Almoloya de Juárez y Temoaya. Esta característica del terreno dificulta el desplazamiento natural de los caudales. Asimismo en la parte sur-oeste del Acuífero del Valle de Toluca está localizado el Nevado de Toluca, cuyas faldas están constituidas principalmente por terrenos arenosos y deforestados.

Con las precipitaciones y escurrimientos pluviales, estos terrenos acarrear materiales diversos, azolvando cauces de ríos y sistemas de drenaje. Lo anterior, aunado a precipitación que muchas veces rebasa la capacidad de infraestructura hidráulica instalada en las zonas bajas da origen a los fenómenos de inundación en la zona [39].

Los principales municipios afectados son Chapultepec, San Antonio la Isla, Rayón, Almoloya del Río, Atizapan y Toluca, como se observa en la ilustración No.23, incluso dentro de las zonas propensas de inundación se encuentra ubicado el Aeropuerto Internacional de Toluca.

Ilustración 23. Zonas de inundación

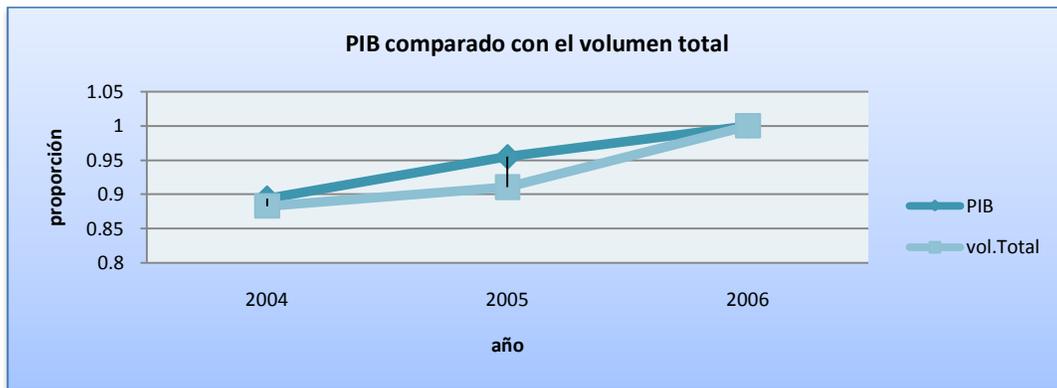


Fuente: PEAVT, 2009

-----Análisis gráfico de interrelación de factores-----

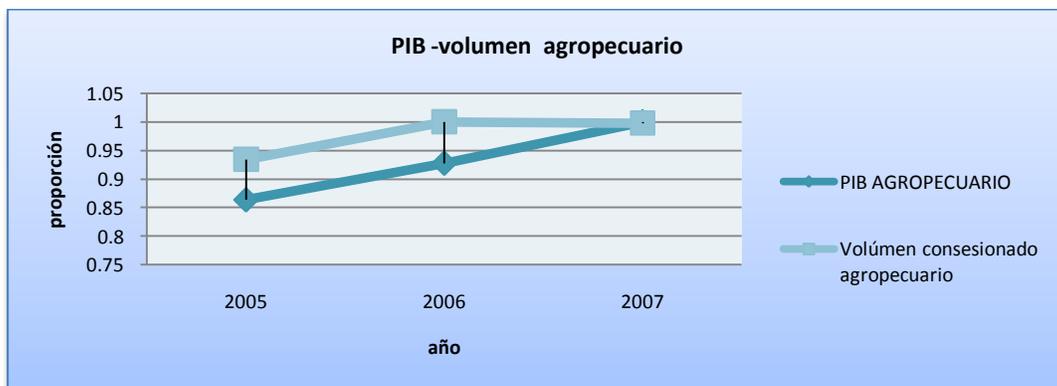
Este análisis gráfico tiene como objetivo realizar comparaciones entre diversos factores, debido a que los datos están en distintas unidades de medida, se realizó una conversión a escala de 0-1, donde 1 es el dato mayor.

Gráfica 11. PIB comparado con el volumen total



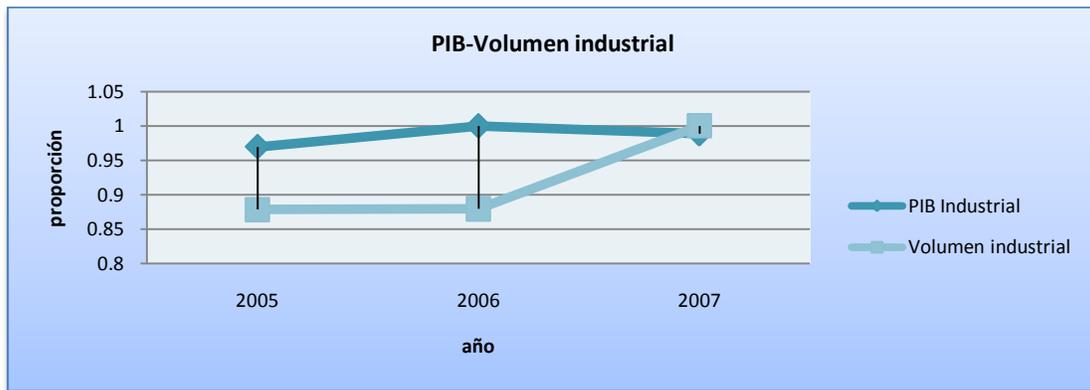
La gráfica No. 11, muestra que en los años con mayor crecimiento de PIB también presentan un incremento en los volúmenes totales.

Gráfica 12. PIB-volumen agropecuario



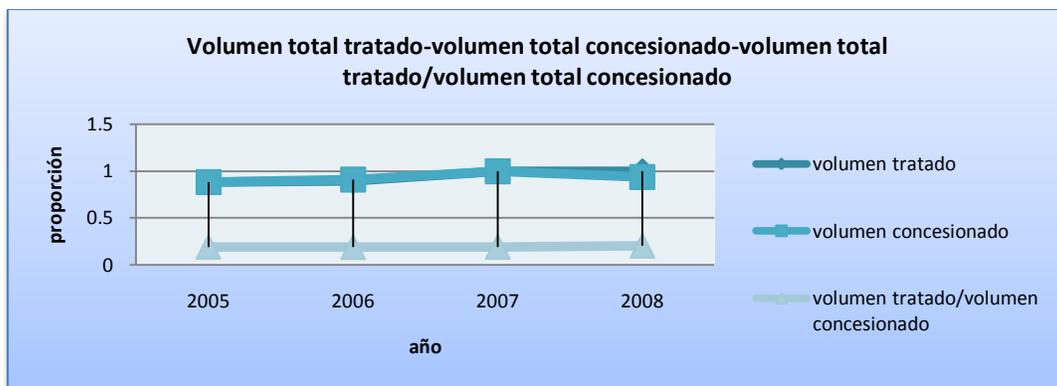
La gráfica No. 12, indica que para los años 2005-2006, se presenta el siguiente comportamiento: al aumentar el PIB agropecuario los volúmenes concesionados también crecen. Para el intervalo 2006-2007, se observa un cambio, el PIB decrece mientras que los volúmenes concesionados presentan una tendencia al aumento.

Gráfica 13. PIB-Volumen industrial



En la gráfica No 13, se observa que los volúmenes industriales concesionados se mantuvieron constantes para los años 2005-2006 a pesar de una existencia en el aumento del PIB Industrial; por otro lado para el año 2007 el PIB disminuyó mientras los volúmenes concesionados aumentaron.

Gráfica 14. Volumen total tratado-volumen total concesionado-volumen total tratado/volumen total concesionado

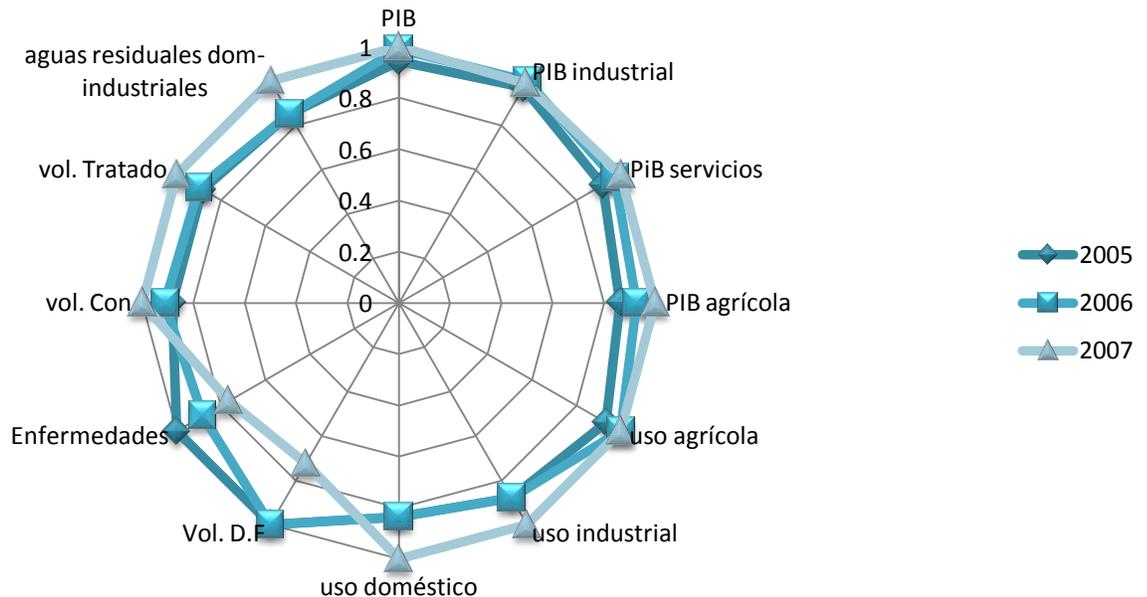


La gráfica No. 14, indica que los volúmenes tratados se comportan de manera similar a los volúmenes concesionados, es decir al aumentar los volúmenes concesionados aumenta los volúmenes tratados, pero únicamente se trata el 2% de todo el volumen concesionado.

A continuación en la gráfica No. 15, se hace una comparación circular de diversos factores, como se observa los mismos se encuentran interrelacionados fuertemente. Se observa que los elementos que presenta una relación directa (es decir crecen o disminuyen conjuntamente) son el PIB y sus divisiones, las aguas residuales domésticas e industriales, los volúmenes concesionados totales, los volúmenes concesionados por rubros y los volúmenes tratados (grupo A). El volumen concesionado al D.F, y las enfermedades de origen hídrico también poseen un comportamiento similar, los cuales

fueron denominados grupo B. Si el grupo A, tiene tendencias crecientes, el grupo B presenta el comportamiento inverso.

Gráfica 15. Comparación circular



-----Watershed Sustainability Index (WSI)-----

La situación actual del acuífero, es al final una evaluación diagnóstica, por lo que es necesario tener claramente definidas variables, escalas de medición y un referente o estándar para que se pueda concluir de una forma relevante y puntual sobre la condición del acuífero. De acuerdo a los aspectos descritos anteriormente se procederá al cálculo de este indicador.

El Watershed Sustainability Index⁴, es usado ampliamente por organizaciones mundiales y universidades para la evaluación de cuencas y otros recursos hídricos [40] toma como punto de partida tres rubros principales: la presión, el estado y la respuesta. Se calcula de la siguiente manera:

$$X_i = (H + E + L + P) / 4$$

Donde:

H: hidrología

E: ambiente

L: Vida

P: política

⁴ Para el cálculo de este índice se utilizan datos de carácter oficial, es bastante probable que el índice resultante sea aún menor, asimismo cuando no se cuentan con datos oficiales se asumen valores de 0.5 para indicar una probabilidad media de ocurrencia.

X_i =Valoración por rubro

$$WSI = (X_{\text{presión}} + X_{\text{estado}} + X_{\text{respuesta}}) / 3$$

La tabla No. 7, incorpora los datos y rangos aceptados, los círculos indican las valoraciones de cada elemento, se tomó como punto de partida para calcular los porcentajes de variación los años 2000-2005. A manera de ejemplo, el eje temático ambiente está compuesto por el porcentaje de cambio de uso de suelo, el porcentaje de cobertura vegetal y por la conservación de áreas, de acuerdo al valor de cada uno de ellos, se analiza de acuerdo al rango y se obtiene una nueva valorización. El porcentaje de variación en el cambio del suelo es del 12%, lo cual indica que se encuentra en el rango de 10-20% que tiene un valor del 0.25, el proceso se continúa para cada rubro y por último se obtienen promedios horizontales y verticales.

Como se observa, el WSI calculado, indica que el estado, tomando como eje principal la temática de sustentabilidad refleja, que es demasiado bajo, sin embargo, generalmente los rangos considerados tolerables van desde un rango de los 0.50 a 1. Los índices parciales más bajos se presentan en la temática hídrica y ambiental.

Tabla 7. Cálculo WSI

H	0.17	Disponibilidad % var disponibilidad per cápita -61%	x < -20 -20 < x < -10 -10 < x < 0 0 < x < 10 10 < x	0 0.25 0.75 1	Disponibilidad disponibilidad per cápita actual -7.9E-05 hm ³ /persona/año	x < 1700 1700 < x < 3400 3400 < x < 5100 5100 < x < 6800 x > 6800 m ³ /persona/año	0 0.25 0.5 0.75 1	Mejora de eficiencia	Muy pobre Pobre Medio Bueno Excelente	0 0.25 0.5 0.75 1
		Calidad % var DBO5 21%	x > 20 10 < x < 20 0 < x < 10 -10 < x < 0 x < -10	0 0.25 0.5 0.75 1	Calidad DBO5 promedio 90mg/L%	10 < x 5 < x < 10 3 < x < 5 1 < x < 3 x < 1	0 0.25 0.5 0.75 1	0.5		
E	0.33	% cambio uso suelo 12%	x > 20 10 < x < 20 5 < x < 10 0 < x < 5 x < 0	0 0.25 0.5 0.75 1	% cobertura vegetal 30.40%	x < 5 5 < x < 10 10 < x < 25 25 < x < 40 x < 40	0 0.25 0.5 0.75 1	Conservación de áreas	x < -10 -10 < x < 0 0 < x < 10 10 < x < 20 x > 20	0 0.25 0.5 0.75 1
		%var PPC 13%	x < -20 -20 < x < -10 -10 < x < 0 0 < x < 10 10 < x	0 0.25 0.5 0.75 1	IDH actual 0.71	x < 0.5 0.5 < x < 0.6 0.6 < x < 0.75 0.75 < x < 0.9 x < 0.9	0 0.25 0.5 0.75 1	Mejora IDH	x < -10 -10 < x < 0 0 < x < 10 10 < x < 20 x > 20	0 0.25 0.5 0.75 1
P	0.5	%var IDH 3.50%	x < -20 -20 < x < -10 -10 < x < 0 0 < x < 10 10 < x	0 0.25 0.5 0.75 1	Capacidad GIRH	Muy pobre Pobre Medio Bueno Excelente	0 0.25 0.5 0.75 1	Evolución de la GIRH	x < -10 -10 < x < 0 0 < x < 10 10 < x < 20 x > 20	0 0.25 0.5 0.75 1
		Presión Valor promedio 0.5	Rangos	Estado Valor promedio 0.5	Rangos	RESPUESTA Valor promedio 0.44				

WSI = (0.17 + 0.33 + 0.75 + 0.5) / 4 = 0.44

WSI Pobre

Muy pobre [0-0.25]
 Pobre [0.25,0.50]
 Medio [0.50,0.75]
 Bueno [0.75,1]
 Excelente [1,00]

3.1.3 Conclusiones sobre la situación actual

Con base en la situación del Acuífero descrita anteriormente se puede inferir lo siguiente:

El desarrollo económico conjuntamente con el crecimiento poblacional ha impactado negativamente en este recurso hídrico, ambos factores son consecuencia por una parte de la cercanía de la región al D.F y también debido a su localización ya que se encuentra situada en el centro del país. Estos dos factores están fuertemente ligados ya que uno conlleva al otro, el desarrollo crea oportunidades laborales y por tanto se crean concentraciones poblacionales en los núcleos productivos.

En el AVT, una ejemplificación de lo anterior, lo constituyen los municipios de Toluca, Lerma y Metepec. Los tres poseen una alta concentración poblacional y son los más cercanos al D.F, asimismo presentan los indicadores PEA-PIB-IDH (Población Económicamente Activa-Producto Interno Bruto-Índice de Desarrollo Humano) más altos en comparación con el resto de municipios.

Existe una relación directa entre el PEA-PIB-IDH, ya que Lerma, Metepec y Toluca producen el 81% del PIB de la región, su población tiene altos niveles de ocupación y se invierte más en cuestiones relacionadas con el desarrollo humano. Por otra parte, estos tres municipios son considerados como “productores” de contaminación. A pesar de la existencia de una cobertura de alcantarillado del 92% en todos los municipios comprendidos dentro del Acuífero, tan sólo es tratado el 20% del volumen total concesionado.

En contraste con lo anterior, cuando los indicadores PEA-PIB-IDH son bajos, los municipios tienden a ser “receptores” de la contaminación, por tanto, hay evidencia de una mayor presencia de enfermedades cuyo origen podría ser de tipo hídrico. Estos municipios dependen en gran medida de la agricultura y gran parte de su población labora en los núcleos urbanos del AVT y del D.F.

Independientemente de las relaciones PIB-PEA-IDH un hecho de carácter general es que la demanda de agua local se incrementa a pasos agigantados como se aprecia en el aumento de los volúmenes concesionados y en el déficit de entradas y salidas en este acuífero. Otra situación en que se reflejan estos incrementos de demanda es la disminución de los volúmenes exportados al D.F.

De acuerdo con este análisis, es fácil llegar a concluir que el desarrollo económico, el crecimiento poblacional y la cercanía de esta región con el D.F son las causas principales del deterioro del AVT, pero el llegar a este tipo de aseveración, es un tanto superficial, ya que cabe preguntarse ¿En cuántos países el desarrollo económico no implica la degradación de los recursos hídricos?, pues hay países que han podido hacer compatible el desarrollo con la sustentabilidad por ejemplo Israel, Australia y España entre otros.

Entonces se torna evidente que los siguientes factores contribuyen también, en gran medida a la problemática en este acuífero: a) la deficiente labor de planeación e implantación de las instituciones de gobierno, académicas y privadas para lograr el rescate y uso sustentable del mismo, b) el bajo perfil y participación de la sociedad, c) la carencia de recursos y su gestión deficiente, d) la desvinculación de las instituciones de los ámbitos federales y estatales. Lo anterior está fuertemente vinculado con luchas de carácter político y partidistas que provocan la falta de continuidad en planes y programas.

La participación ciudadana es generalmente el motor que puede inducir a que se produzcan cambios para la recuperación de este AVT sin embargo los mecanismos utilizados actualmente no han sido eficientes ni incluyente, e incluso en algunos casos son prácticamente inexistentes.

El cálculo del WSI, refleja un estado de sustentabilidad en este acuífero bastante pobre, ya que si se comparan con ejercicios similares realizados en otras regiones de Latinoamérica por ejemplo en las Cuencas de Alhajuela (0.74) y la Cuenca de Gatún [41], ambas ubicada en Panamá (0.68), el índice obtenido es bastante bajo.

3.2 Selección de variables clave

El primer paso para desarrollar, los escenarios es la selección de variables claves, en el caso de las publicaciones de carácter oficial, es decir tanto del Programa Nacional Hídrico (en lo referente a la publicación Estadísticas del agua 2008) tanto como en el Programa Hídrico por Organismo de Cuenca, Visión 2030, de la Región Hidrológico-Administrativa VIII, Lerma-Santiago-Pacífico, las variables utilizadas son de carácter general y no se toma en cuenta, la interrelación entre ellas. Por otra parte, se presenta la perspectiva de Gallopín [42] para el desarrollo de escenarios, siendo este último enfoque, uno de los más completos y reconocidos en el contexto del agua. En la tabla No.8, se describen las variables consideradas en los dos escenarios elaborados en el ámbito público para el AVT y las variables de la perspectiva de Gallopín.

Tabla 8. Resumen de escenarios

Identificación		Variables consideradas
Programa Nacional (Estadísticas del agua 2008)	Hídrico	Proyección de crecimiento de la población urbana y rural en México, 2007 a 2030. Proyecciones de la disponibilidad natural media de agua per cápita en México, años seleccionados de 2007 a 2030 Disponibilidad natural media del agua per cápita por Región Hidrológico-Administrativa, 2007 y 2030
Programa Hídrico por Organismo de Cuenca, Visión 2030, de la Región Hidrológico-Administrativa VIII, Lerma-Santiago-Pacífico		Demanda de agua (clasificada por distritos de riego, unidades de riego, doméstica e industrial) Inversión Estructural (Tendencial-Sustentable)
Tres escenarios mundiales [42]		Demográfica (población, crecimiento, migración y urbanización) Económica (producción, comercio) Tecnológicas (expansión tecnológica, eficiencia de agua, contaminación de agua, uso de nuevos cultivos, agua tratada) Inversiones en materia de agua Social (estilos de vida, pobreza, desigualdad) Gobierno (estructuras de poder, nivel de conflictos en agua, globalización) Ambiental (enfermedades relacionadas con el agua, aguas subterráneas, salud del ecosistema).

Para el caso concreto de este trabajo, se realizó una mezcla de criterios sugeridos por Gallopín [42] y algunos de los rubros considerados en la GIRH⁵ como lo son fenómenos extremos, formación y capacitación de capital intelectual y participación social informada, a continuación se procede a describir el contenido de cada uno.

Demografía: contiene todos los aspectos relacionados con la población, su crecimiento, la migración y urbanización.

⁵ Las siglas GIRH hacen referencia a la Gestión Integral de los Recursos Hídricos.

Economía: busca conocer los aspectos en materia productiva y comercial que influyen directamente sobre el objeto hídrico de estudio.

Tecnología: incluye todo lo referente a los aspectos de ingeniería del agua como lo son, contaminación, eficiencia del agua, nuevos cultivos y agua tratada.

Inversiones en materia de agua: indica los montos, frecuencia, tendencias de crecimiento, captación de recursos y formas de financiamiento.

Social: esta sección busca detallar las formas de vida, la pobreza y las situaciones de desigualdad, entre otros aspectos, que viven las poblaciones que dependen de determinado recurso en materia de agua.

Gobierno: el objetivo de este apartado es conocer el desempeño de las estructuras de poder y funcionalidad institucional sobre los recursos hídricos (o un recurso hídrico en particular), asimismo busca contextualizar los efectos de la globalización sobre ellos y la frecuencia e intensidad de los conflictos del agua que se presentan.

Fenómenos extremos: describe todos aquellos sucesos que causan alteraciones intensas en la población, la economía y el medio ambiente.

Ambiental: se refiere a todos los elementos que mediante los cuales se puede determinar el estado de y vulnerabilidad de un sistema ecológico: salud del ecosistema, aguas subterráneas y enfermedades relacionadas con el agua.

Formación y capacitación de capital: incluye todos los aspectos relacionados con la creación intelectual de conocimiento y generación de personal capacitado para resolver problemáticas en materia hídrica.

Participación social informada: abarca todas aquellas actividades encaminadas a la intervención social para vigilar los actos de las empresas y del gobierno que puedan causar daño a cualquier entorno ambiental.

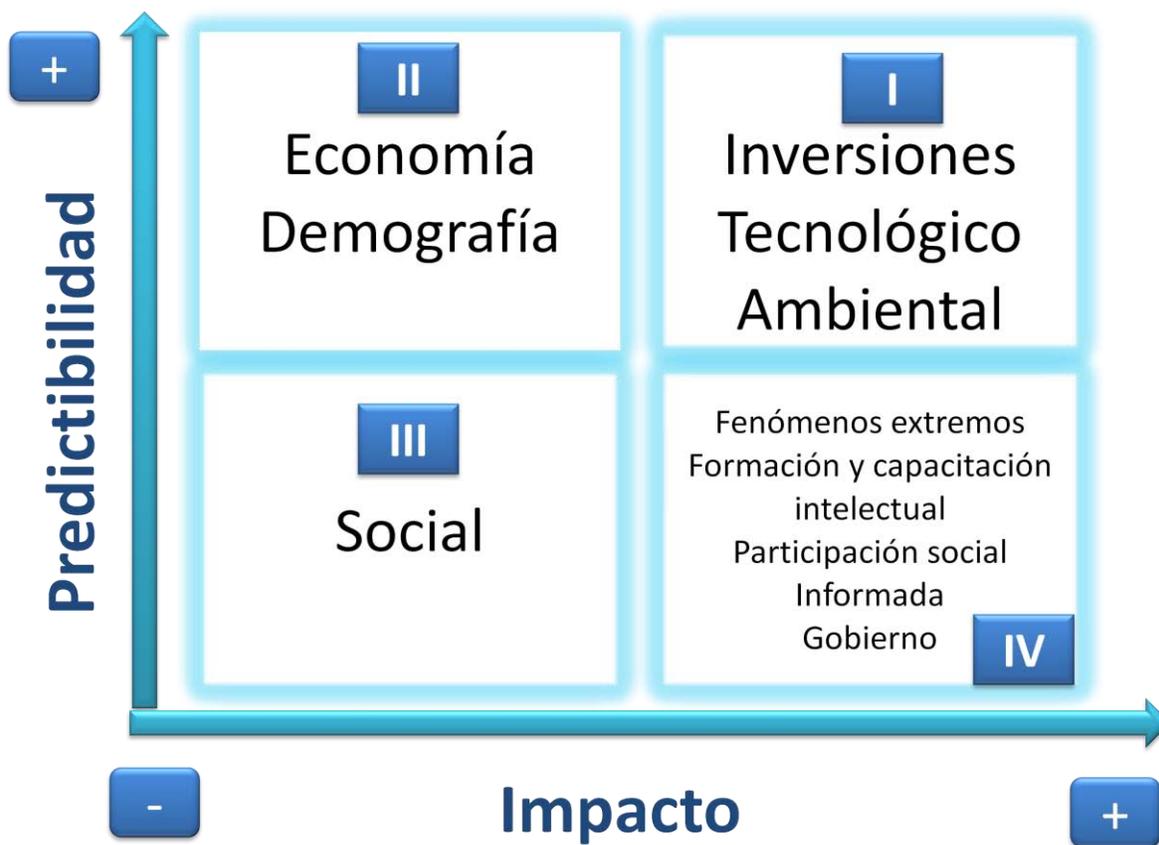
La tabla No. 9 indica la forma de evaluación de los criterios propuestos, asimismo se establecen los indicadores a utilizar en este trabajo para cada criterio, los indicadores (carácter cuantitativo) propuestos fueron tomando como punto de partida, la información disponible. Para algunos criterios no se encuentra información cuantitativa disponible o bien la misma es limitada para la realización de proyecciones, por lo que sus valorizaciones únicamente se tomaran a partir de la consulta a expertos. Asimismo para la mayoría de criterios se utilizó búsqueda bibliográfica para reforzar los datos de proyecciones y consulta a expertos.

Tabla 9. Tabla Mixta Gallopín-GIRH

Criterio	Valorización			Indicadores disponibles para la realización de proyecciones
	Utilización de proyecciones cuantitativas	Utilización de consulta a expertos	Búsqueda bibliográfica	
DEMOGRÁFICAS				
población	X	X	X	Población por año
crecimiento	X	X	X	Tasa de crecimiento poblacional por año
migración		X	X	
urbanización		X	X	
ECONÓMICA				
Producción	X	X	X	PIB
Comercio	X	X	X	PIB
TECNOLÓGICAS				
Expansión Tecnológica				
Eficiencia de agua	X	X	X	Alcantarillado, Agua potable, disponibilidad de agua, Extracciones, disponibilidad de agua y extracción, hectáreas cultivadas
Contaminación de agua		X	x	
Uso de nuevos cultivos	X	X	X	Hectáreas cultivadas
Agua tratada	X	X	X	No. De Plantas de tratamiento, caudal tratado
INVERSIONES EN MATERIA DE AGUA	X	X	x	Fondos y montos de inversión Inversiones en medio ambiente
SOCIAL				
Estilos de vida		X	X	
Pobreza		X	X	
Desigualdad		X	X	
GOBIERNO				
Estructuras de poder y funcionalidad institucional		X	X	
Nivel de conflictos del agua		X	X	
Globalización		X	X	
AMBIENTAL				
Enfermedades relacionadas con el agua	X	X	X	Proyección cantidad de enfermos
Aguas subterráneas	X	X	X	Descenso de niveles piezométrico
Salud del Ecosistema	X	X	X	Volumen de descargas de agua contaminada
FENÓMENOS EXTREMOS				
Inundaciones		X	X	
Grietas		X	X	
FORMACIÓN Y CAPACITACIÓN DE CAPITAL INTELECTUAL				
PARTICIPACIÓN SOCIAL INFORMADA		X	X	

Por otro lado, siguiendo los lineamientos dado por Van der Heijden [20] que indica que para el desarrollo de escenarios se debe hacer énfasis en aquellas variables de baja predictibilidad pero de alto impacto, ya que éstas son las principales causantes de la ruptura de tendencias. Se clasifican los criterios de Gallopín-GIRH y se obtiene como resultado la siguiente ilustración:

Ilustración 24. Variables clasificación Van der Heijden



Fuente: elaboración propia con base en Heijden [22]

Como se observa la mayoría de variables de alto impacto y baja predictibilidad corresponden a aspectos, mayoritariamente de carácter cualitativo, y en que la disponibilidad de información cuantitativa es prácticamente nula. Para llegar a la clasificación presentada en la ilustración No. 24, se hizo el siguiente análisis: el impacto se refiere a si un criterio puede cambiar en gran medida las tendencias actuales; y la predictibilidad es la precisión con que se puede inferir el futuro de estos criterios.

Las tendencias demográficas y económicas son prácticamente estables en la zona, las inversiones, lo tecnológico y ambiental son parámetros que con la información con que se cuenta se pueden inferir para un futuro sin mayor dificultad, pero si se presenta un cambio en ellas entonces las tendencias se

modifican. Por otra parte el criterio social (III cuadrante), es difícilmente predecible y su impacto es menor, en el cuarto cuadrante se encuentran aquellos criterios que no se predicen con un alto grado, pero el impacto que causan en el acuífero es sumamente importante, todo lo anterior es deducido con base a la información proveniente del capítulo 2.

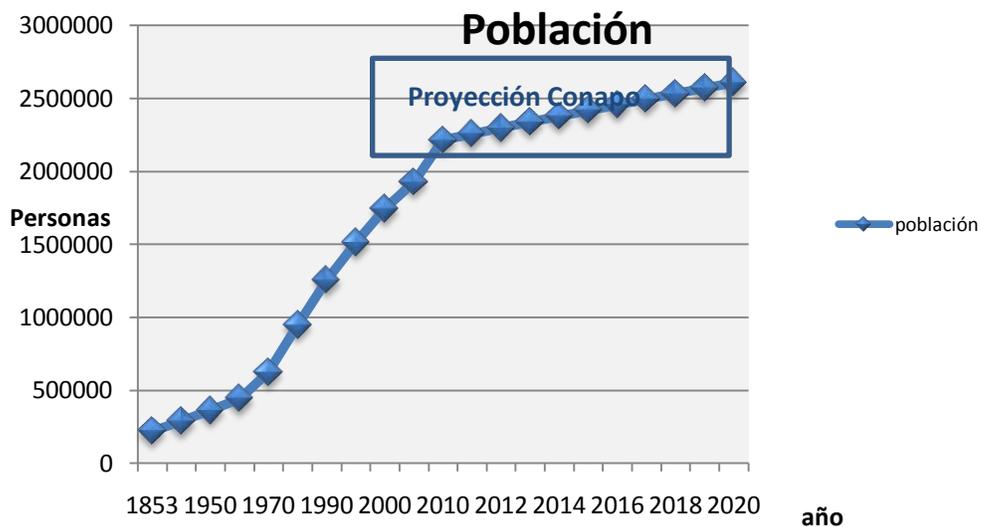
3.3 Pronósticos

En esta sección se desarrollan los diferentes pronósticos a considerar tomando como punto de partida los diferentes aspectos de la matriz de Gallopín. El desarrollo de las tendencias futuras que se presentan a continuación se basa en el comportamiento histórico de los datos. Para todos los pronósticos se realizaron varias corridas utilizando distintos modelos de regresión o distinta variable α para la técnica de Brown, asimismo los resultados que se presentan únicamente corresponden únicamente a las proyecciones con menor error de pronóstico obtenidas. Para mayor detalle acerca de los valores obtenidos y las variables de suavizamiento exponencial refiérase al anexo A.

Contexto demográfico y económico

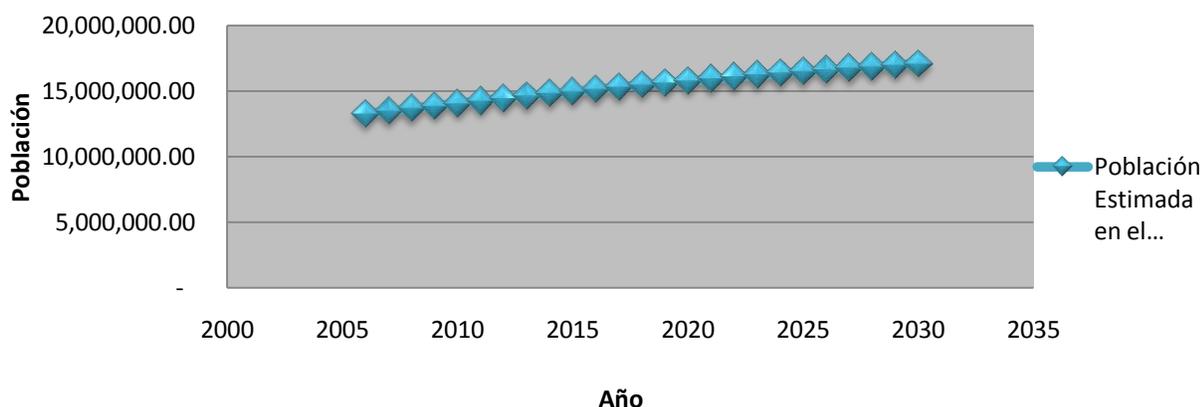
Población

Gráfica 16. Población 2020 (CONAPO)



En la gráfica No. 16 de acuerdo a los datos de CONAPO 2020, la población de los municipios del AVT posiblemente estará entre los 2,500,000 y los 3,000,000 de habitantes.

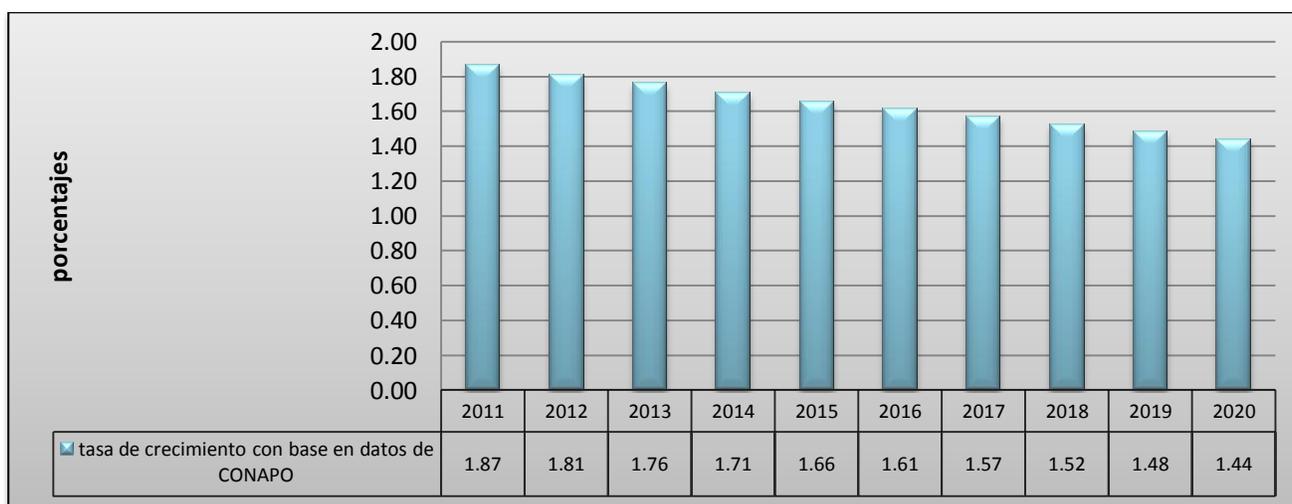
Gráfica 17. Población 2020



Por otra parte, de acuerdo con las proyecciones elaboradas en el estudio de la disponibilidad del agua en el Valle de Toluca [43], se espera que al 2020 existan alrededor de 17000000 habitantes (gráfica No. 17) en los 23 municipios que constituyen el valle, siguiendo el comportamiento que se presenta en la gráfica 17. Si se comparan las dos gráficas anteriores, se observa que los datos oficiales son menores a los considerados en esta última proyección. Para el año 2005 el censo nos indica que en el acuífero habitan 2,500,000 de habitantes mientras que para ese mismo año este estudio indica aproximadamente 13,000,000 de habitantes.

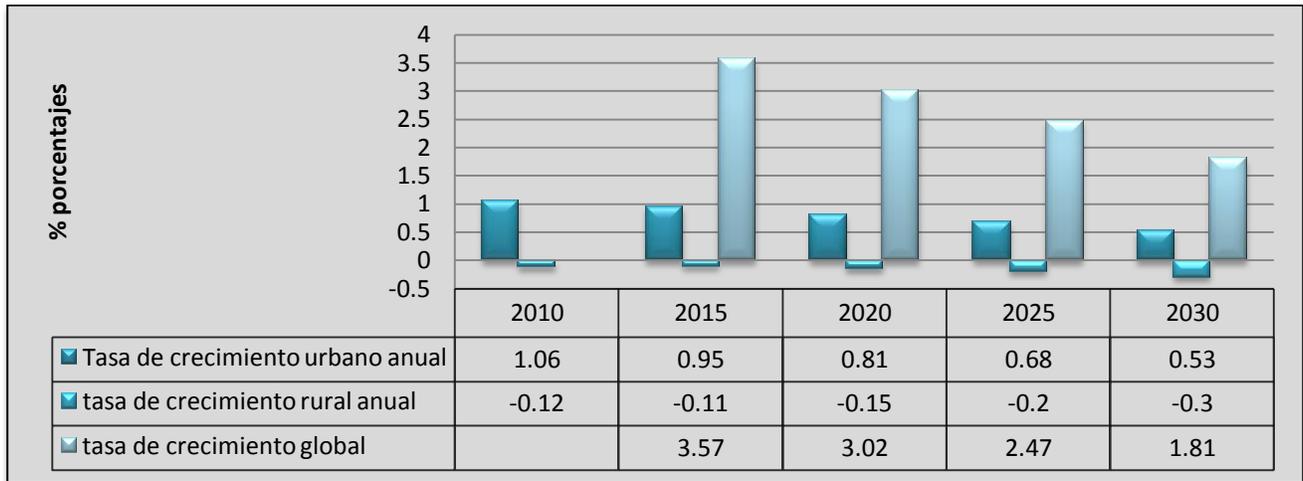
Tasa de crecimiento

Gráfica 18. Tasa de crecimiento poblacional para el AVT



En esta gráfica No. 18, se observa las tasas de crecimiento de la población del Acuífero Valle de Toluca obtenida a partir de los datos de CONAPO, parece ser que se dará una estabilización de las mismas, y para el año 2020 la tasa de crecimiento será tan sólo del 1.44% anual.

Gráfica 19. Tasa de crecimiento al 2020



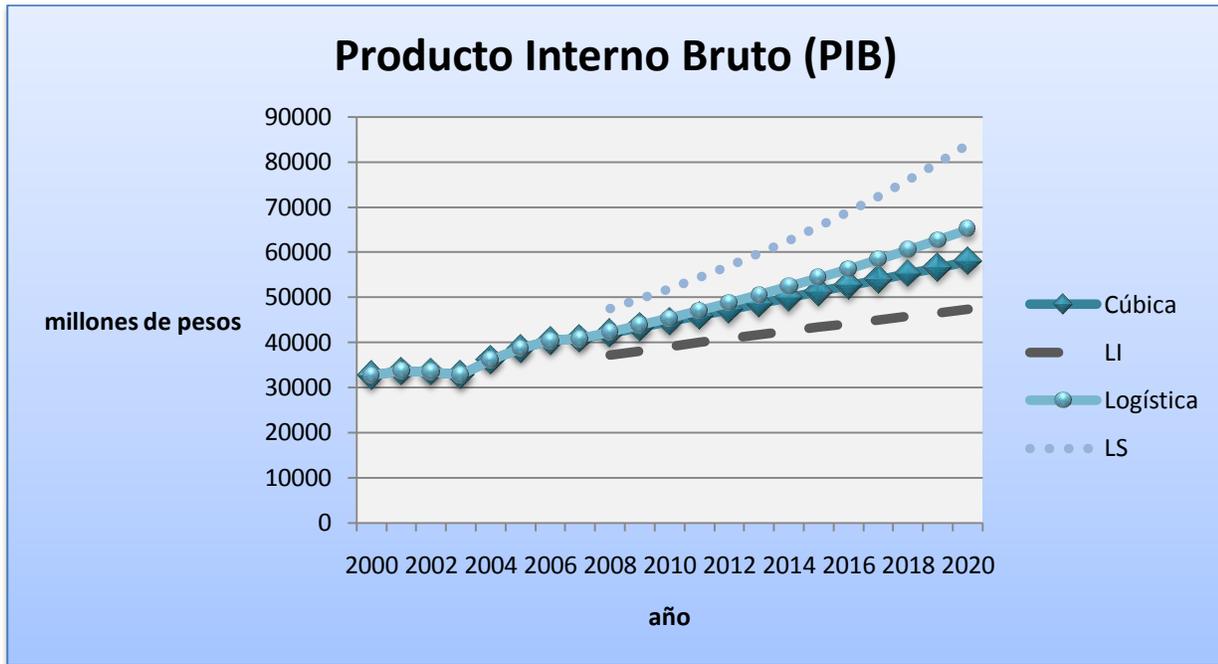
Si se comparan las tasas de crecimiento locales, con las tasas de crecimiento poblacional a nivel nacional (gráfica 19), se verán que son similares y aún mayores, tomando como base de comparación las tasas de crecimiento urbano.

Producto Interno Bruto

Los métodos de proyección utilizados fueron regresión cúbica con un ajuste del 0.866 y una sumatoria estándar de error del 11.28 y la regresión logística con un ajuste del 0.865 con un error de 10.34

Con respecto al PIB (gráfica 20), se percibe en todas las técnicas de pronóstico utilizadas una tendencia hacia el crecimiento, unas se calculan alrededor de 80,000,000 de pesos para el 2020 y otras en 65,000,000 de pesos. Se utilizaron las cifras oficiales para la realización de proyecciones. Lo que indica tasas de crecimiento promedio de PIB del 2.72% (regresión cúbica) y del 3.66% (regresión logística), por otra parte de acuerdo a las estimaciones oficiales se calcula un crecimiento económico nacional promedio del PIB no mayor del 3% para el 2020 [44].

Gráfica 20. PIB 2020

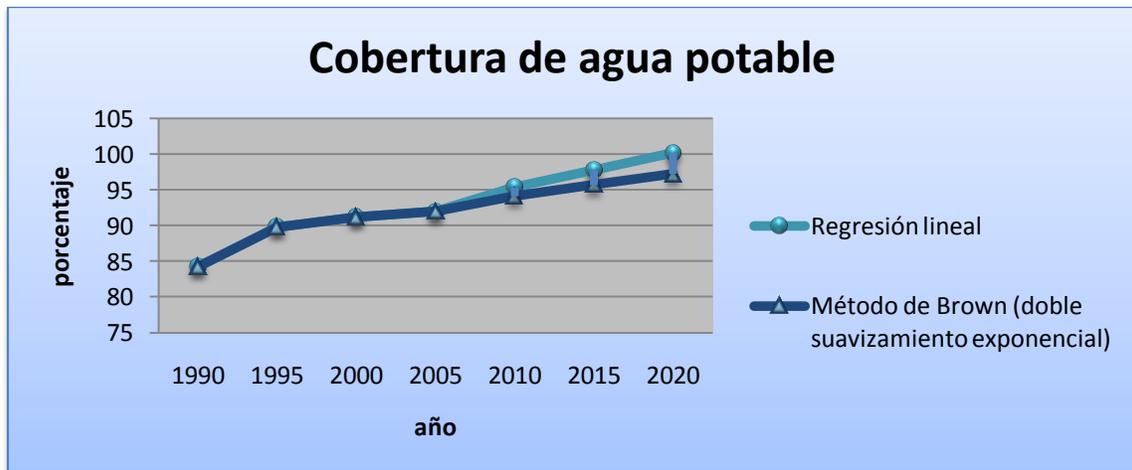


Contexto tecnológico

Cobertura agua potable

Para la obtención de este pronóstico se utilizó técnica de Brown con un error de 2.501.

Gráfica 21. Cobertura de agua potable 2020

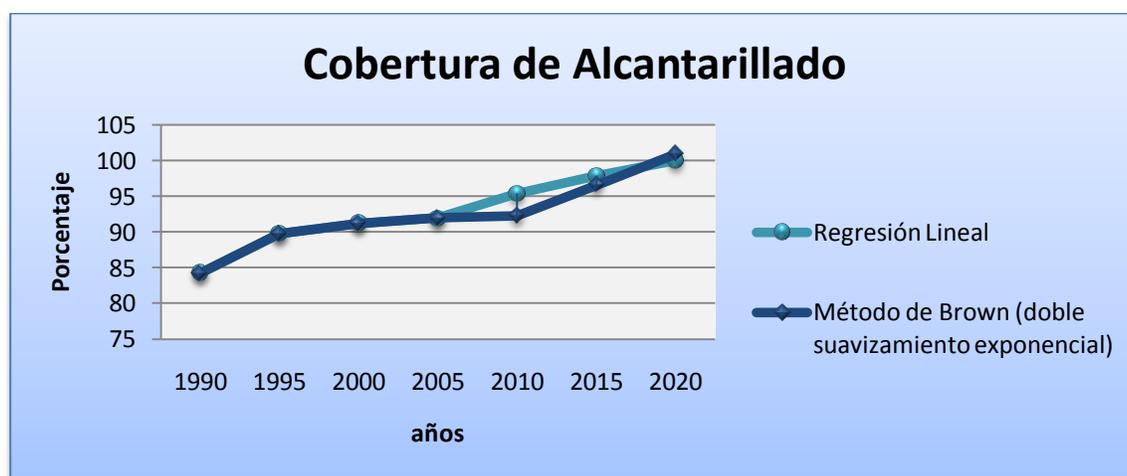


De acuerdo a los datos y las técnicas de pronóstico, en materia de cobertura de agua potable (gráfica No.21) se calcula, de seguir con el mismo comportamiento que para el año 2020 se tendrá una cobertura del 97.27%. El Programa Nacional Hídrico, señala que para el 2020 la meta que se deberá alcanzar al 2020 en materia de cobertura de agua potable a Nivel Nacional en áreas urbanas será del 99.5%.

Cobertura de alcantarillado

Para la obtención de este pronóstico se utilizó técnica de Brown con un error cuadrado de 19.04.

Gráfica 22.Cobertura de alcantarillado 2020

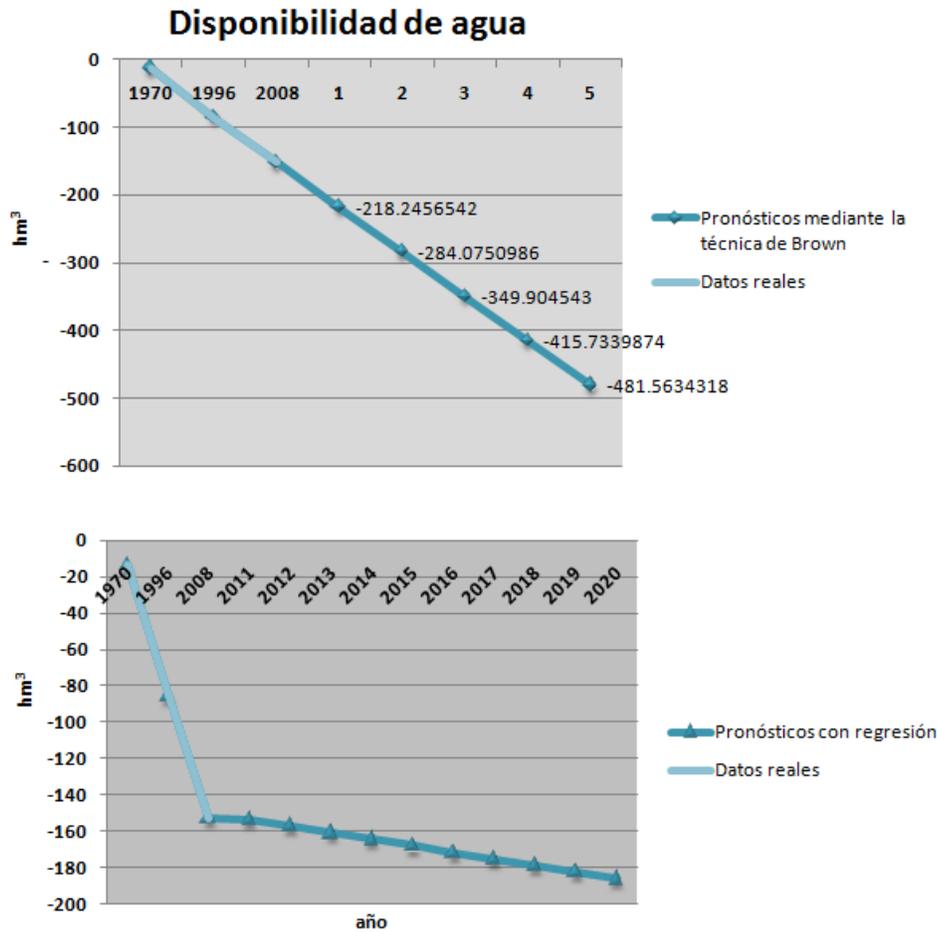


Se calcula que para el año 2020, la cobertura de alcantarillado (gráfica No. 22), será del 100%, esto con base en los datos y sus tendencias. Asimismo, para el alcantarillado el Programa Nacional Hídrico señala que al 2020 deberá alcanzarse un 95.6% de cobertura en el área urbana.

Disponibilidad de agua

Fue calculado mediante técnica de Brown con un error de pronóstico de 89.69 y regresión lineal con un error de 324.50 pero con un ajuste de 0.967.

Gráfica 23. Disponibilidad de agua 2020



La disponibilidad de agua para el año 2020, está proyectada mediante regresión con un valor de -185 hm^3 , mientras que con la técnica de Brown este valor está alrededor de -481 hm^3 (gráfica No. 23).

Disponibilidad de agua y población

La gráfica No. 24 muestra con base en proyecciones, que no se podrán ni siquiera extraer los volúmenes de agua recomendados por la OMS. La línea de diamante muestra los volúmenes de agua que se necesitarían si se continúa con la tasa promedio de consumo actual por habitante de 345 L/día. Para el cálculo correspondiente las cantidades en litros fueron convertidas en hm^3 .

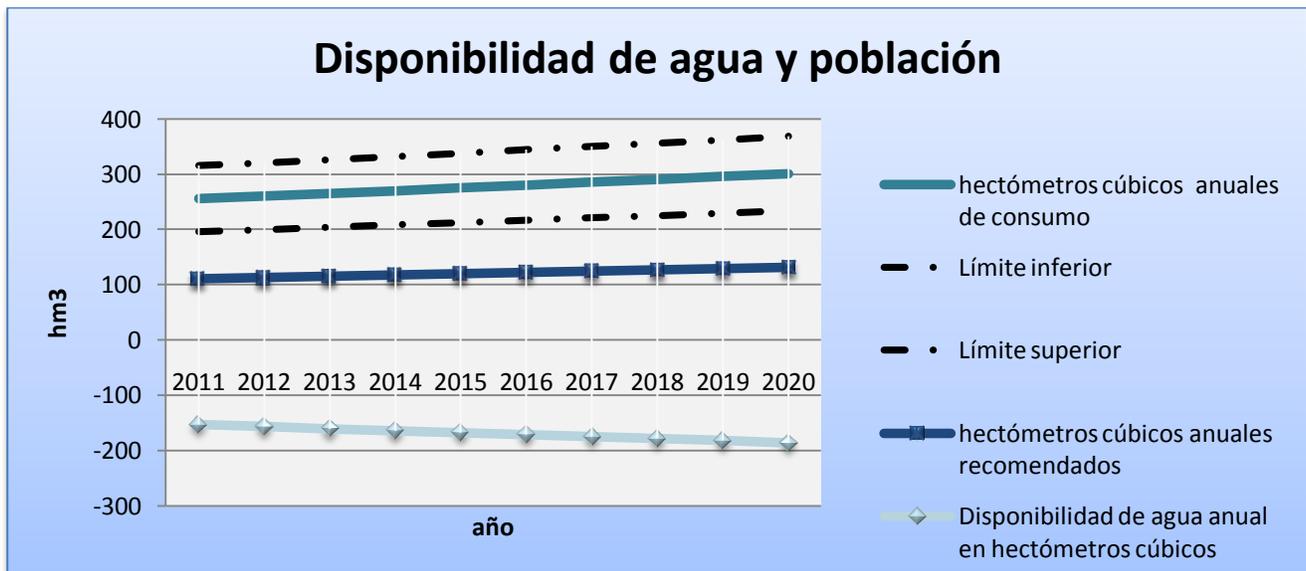
Anteriormente, se presentan resultados de proyecciones para los años 2010 del consumo y de la disponibilidad del Acuífero del Valle de Toluca. El cálculo del consumo se asumió con base en las proyecciones de poblaciones y asumiendo que cada habitante continua utilizando 345 L/día, por otra parte la Organización Mundial de Salud indica que cada habitante necesita alrededor de 150L/día, con base en este último dato se obtuvo el requerimiento recomendado por habitante.

Los cálculos se basaron en la relación siguiente:

Consumo anual proyectado=345 l/día por habitante *habitantes proyectados*365días/año.
 Consumo anual recomendado=150L/día por habitante*habitantes proyectados*365 días/año

Por otra parte el informe de CESPEDS [44] menciona que las tendencias demográficas en México al 2020 plantean retos formidables de suministro y tratamiento de aguas, aumentando el estrés hídrico en el país, ya que México será un país de baja disponibilidad.

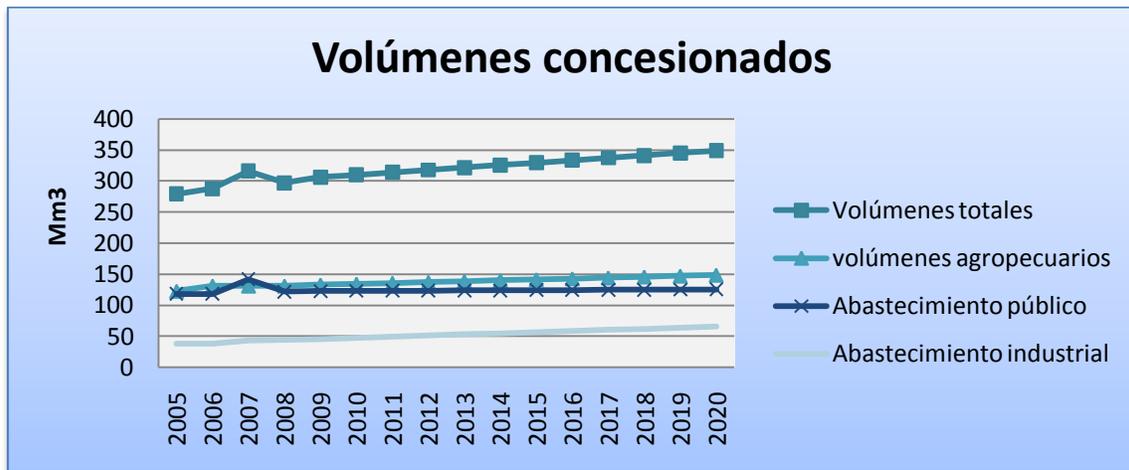
Gráfica 24. Disponibilidad de agua y población 2020



Volúmenes concesionados

Sus proyecciones se obtuvieron mediante el empleo de la técnica de Brown, con un error cuadrado de pronóstico de 1109.61 para los volúmenes totales, un error de 3.31 para los volúmenes agropecuarios, un error de 550 y 65.71 para los volúmenes públicos e industriales respectivamente.

Gráfica 25. Volúmenes concesionados 2020



En la gráfica No. 25, se observa una tendencia hacia el crecimiento de los volúmenes totales concesionados, el abastecimiento industrial tiene la menor tendencia de crecimiento. Para el año 2020, el volumen total concesionado será de 349.08Mm³, el volumen agropecuario de 148.80 Mm³, el abastecimiento público de 125.43 Mm³ y al abastecimiento industrial de 65,71 Mm³.

Lo anterior es un reflejo de las tendencias nacionales que indican que el uso del agua en México al 2030 aumentará en función del crecimiento e intensidad de las actividades económicas del país y desde luego de su crecimiento demográfico [44], así como de la baja eficiencia de los organismos operadores [45].

En contra parte a las afirmaciones anteriores, los resultados obtenidos para esta Subregión Lerma (Alto, Medio y Bajo Lerma) en la Formulación del Programa Hídrico por Organismo de Cuenca, Visión 2030 [46], se indica una reducción importante de la demanda de agua en general y por tipo de usuario, la cual podría pasar de 8,412 hm³/año a 7,996 hm³/año en el escenario tendencial; y hasta 6,254 hm³/año, en el sustentable. También en el caso de los acuíferos de esta región el nivel de sobreexplotación podría disminuir de 1,348 hm³/año a 1,044 hm³/año. A pesar que esta última argumentación considera que existirá una disminución futura en los volúmenes concesionados, la misma será baja y no cambiará el estatus de sobreexplotación.

Volúmenes extraídos para el Distrito Federal

Para la obtención de las proyecciones se utilizó técnica de Brown y regresión lineal, con un error cuadrado de 6210.18 para la primera técnica y para la segunda de 4432.024 con un ajuste de regresión de 0.626.

Gráfica 26. Volúmenes extraídos por el SACM 2020



En lo que respecta, los volúmenes extraídos por el SACM (Sistemas de Aguas de la Ciudad de México), la tendencia es hacia la reducción de los volúmenes de extracción (gráfica No. 26).

Para el año de 2020 estos se calculan en un 95.66 millones de metros cúbicos (regresión lineal) o en un 24.25 (técnica de Brown) millones de metros cúbicos, en ambos pronósticos se observa una tendencia decreciente, en comparación con los últimos datos registrados que indican una extracción de 125 millones de metros cúbicos anuales en el año 2007.

Por otra parte, el estudio titulado: *Vulnerabilidad de las fuentes de abastecimiento de agua potable de la Ciudad de México en el contexto de cambio climático* [47] hace mención de lo siguiente: la limitante para incrementar el abastecimiento no está dada por la capacidad de la infraestructura, si no por el balance de los acuíferos. La extracción disminuyó en 28% durante los últimos 10 años. Asimismo, indica un aumento hipotético de 59.7 hm³/año (1.884 m³/s) en la demanda local doméstica de agua (municipios del Acuífero Valle de Toluca) asumiendo una dotación de 192 l/hab. Es decir, que la demanda doméstica del AVT será prioritaria en comparación con el Distrito Federal.

Hectáreas cultivadas

Se aplicó técnica de Brown con un error cuadrado de 35.65.

Gráfica 27.Hectáreas cultivadas 2020

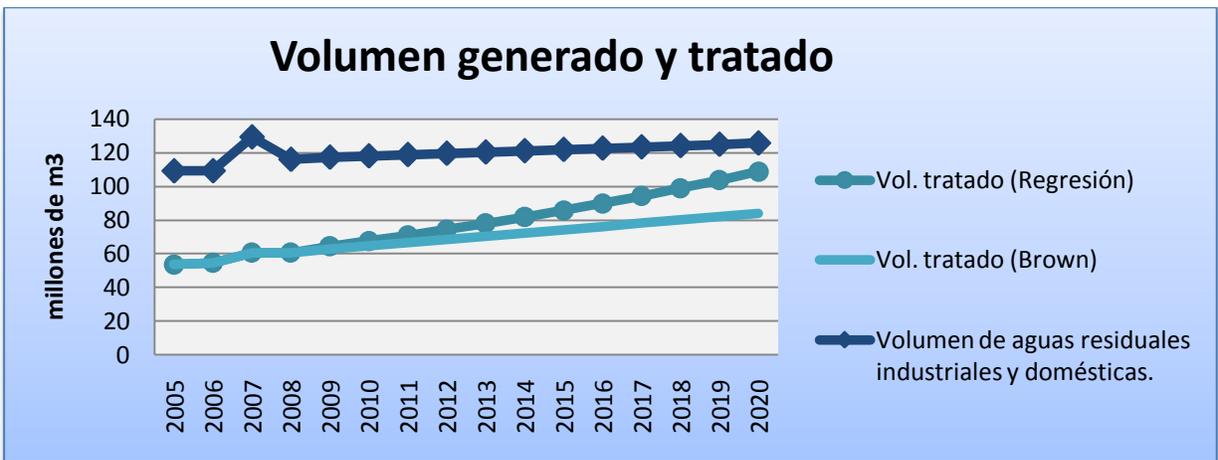


El cultivo de hectáreas tiende hacia la reducción, para el año de 2020 (gráfica No.27), únicamente se estarán calculando alrededor de 93.15 millones de hectáreas, lo que en comparación con el año de 2007 significará una reducción del 45%. Esta reducción de hectáreas, coincide con lo mencionado por Isunza [48]: *en cuanto a la incorporación de tierras a la labor agrícola crece la probabilidad de que los mejores suelos agrícolas del país sean ocupados por el crecimiento urbano*. Esto parece indicar, que el uso del suelo agrícola de los municipios del AVT se estará transformando prácticamente en urbano para el 2020.

Volumen de aguas residuales generado y tratado

Las proyecciones de volumen tratado se obtuvieron mediante el empleo de regresión logística (volumen tratado) obteniendo un ajuste de regresión de 0.852 y un error de 6.68 y mediante Brown obteniendo un error de 37.14. Con respecto a los volúmenes de aguas residuales industriales y doméstica se empleó también Brown con un error de 401.

Gráfica 28. Volumen generado y tratado 2020



Como se observa en la gráfica No. 28, tanto los volúmenes de descargas como tratados en el AVT tienen una tendencia hacia el crecimiento, pero la gráfica muestra que no toda el agua residual podrá ser tratada (aproximadamente, de acuerdo con los cálculos un 66%). Estas tendencias se confirman con las tendencias a nivel nacional. Cabe destacar que el panorama global para el país en general es más desalentador.

De acuerdo a información proveniente del sector privado a nivel global para México, se calcula que para el año 2020 se estarán generando 304 m³/s de aguas residuales urbanas, de las cuales habrá una necesidad de tratamiento de 250 m³/s (58% de necesidad de tratamiento), por otra parte con respecto a las aguas residuales industriales se estarán generando 76 m³/s y que la necesidad de tratamiento será de 70.7 m³/s [45].

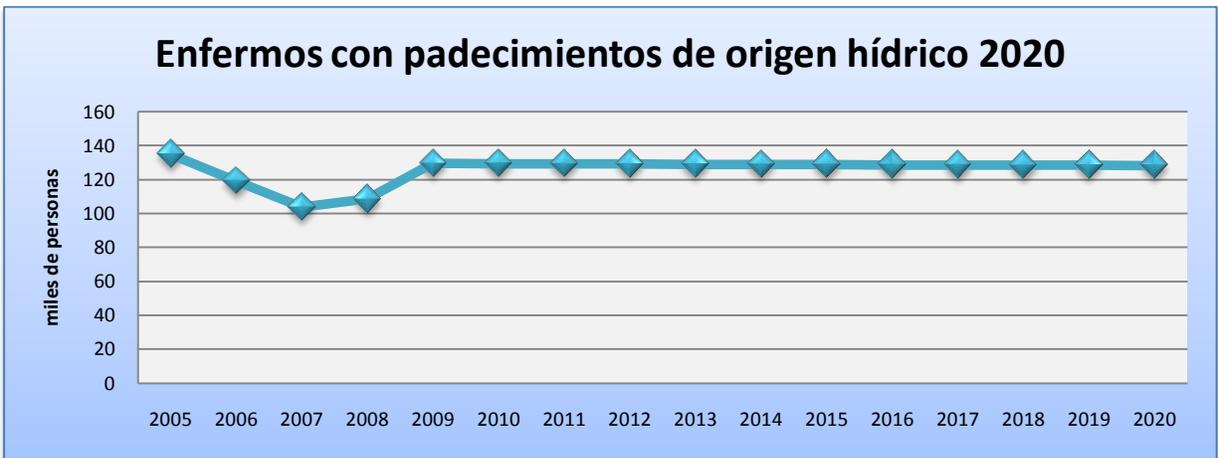
La misma fuente citada, afirma: *sin incluir las aguas residuales provenientes de la agricultura, para el año 2020 se tendrán necesidades de tratamiento del orden de 331 m³/s, un monto requerido de inversiones del orden de los 4.4 miles de millones de dólares y un gasto total de operación anual aproximado de 3.2 miles de millones de dólares. Dada la magnitud de las cifras se tendrá que recurrir casi de manera forzosa a la participación de la iniciativa privada en los servicios de operación y administración para el tratamiento del agua en México.*

Contexto ambiental

Enfermedades de origen hídrico

Se utilizó la técnica de Brown con un error cuadrado de 1435.71

Gráfica 29. Enfermos con padecimientos de origen hídrico 2020

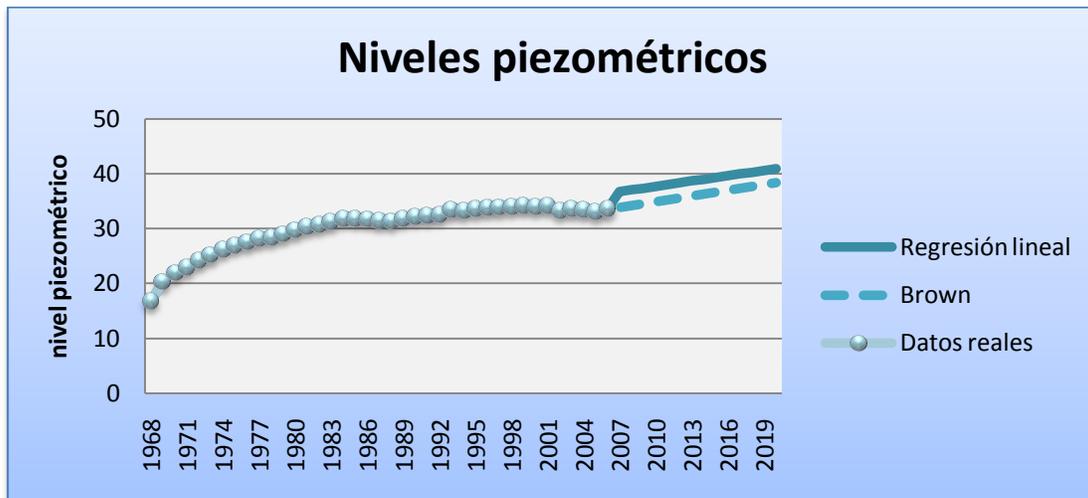


La gráfica No. 29, indica que las personas con padecimiento relacionados con enfermedades cuyo origen probablemente puede ser de tipo hídrico tiende a estabilizarse e incluso a descender. Se calcula una reducción del 5% de enfermos del año 2005 al 2020. La anterior tendencia puede ser un reflejo de la urbanización actual y futura del área, ya que la urbanización conlleva a un mayor acceso de agua potable y saneamiento, lo que es un factor significativo para evitar el apareamiento de este tipo de enfermedades.

Niveles piezométricos

Las proyecciones se realizaron mediante regresión lineal (error cuadrado de pronóstico de 157.71 con un ajuste de regresión de 0.774) y con técnica de Brown (error cuadrado 8.08)

Gráfica 30. Niveles piezométricos 2020

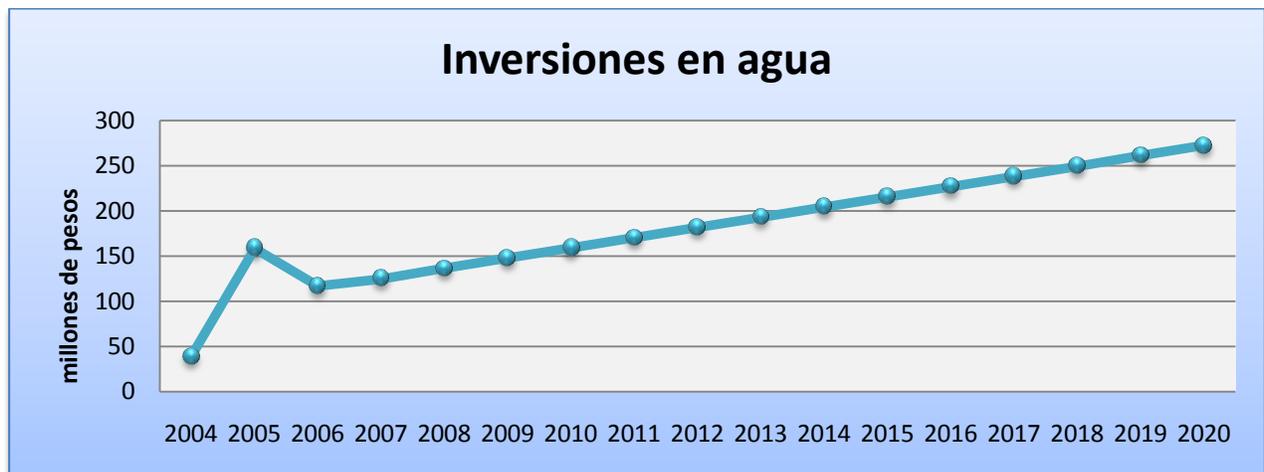


En el año de 1968 los niveles piezométricos en promedio se encontraba a 16.8 m, para el año de 2020 se calculan en promedio en 38.26m. Escolero [47], con su indicador de vulnerabilidad otorga un puntaje muy alto al descenso de los niveles piezométricos futuros en este acuífero (ver gráfica No. 30).

Contexto inversiones

Se utilizó técnica de Brown con un error cuadrado de pronóstico de 35.65

Gráfica 31. Inversiones en agua 2020



Las inversiones en materia de agua (gráfica No. 31) presentan una tendencia hacia el crecimiento, se calcula que del año 2010 al 2020, las inversiones crecerán en un 71% aproximadamente.

A nivel federal, las inversiones destinadas a la construcción de infraestructura hidráulica actualmente, son un 15% más que en 2008. Cada vez más en las licitaciones actuales el gobierno tiende a sacar proyectos financiados con recursos privados, asimismo hay un fuerte interés de firmas mexicanas, francesas y españolas por invertir en México [49], lo cual refleja que en un futuro serán mayores las inversiones en materia de agua tanto a nivel nacional como para este acuífero.

Conclusiones sobre los pronósticos

Como reflexión a este apartado se debe citar lo siguiente: *El hecho no es cómo pronosticar sino que se pronostica, la escogencia de los datos es crucial en cualquier modelo de pronóstico y un modelo de estimación puede verse impedido por la pérdida de observaciones o comportamientos atípicos* [29 pp. 303-304].

Lamentablemente la información disponible con respecto al sector hídrico, y en particular para el AVT, posee varias deficiencias, entre las que se pueden mencionar, desactualización, datos incorrectos de la fuente, diferencias en lo que se mide, la no continuidad de datos, medición de variables iguales pero obtención de resultados distintos, entre otros aspectos, lo que provoca limitaciones en el desarrollo de pronósticos.

A pesar de lo anterior, se procedió al empleo de modelado matemático, reforzando los resultados obtenidos de las proyecciones mediante investigación documental.

Los pronósticos presentados claramente indican una tendencia hacia la urbanización del área muy fuerte lo que se puede observar por el crecimiento poblacional lo que provocará una mayor demanda de agua, pero lamentablemente no se llegará a cubrir ni siquiera la demanda por habitante mínima recomendada por los organismos internacionales, se visualiza que también habrá una mayor demanda de agua para los usos industrial y agrícola. Aunque se refleja en los datos anteriores que en el área existirá una fuerte cobertura de distribución de agua potable el principal no habrá suficiente agua para abastecer a toda la población.

Asimismo la cobertura de alcantarillado será amplia, incluso mayor a los promedios nacionales esperados, a pesar de ello, los pronósticos indican que se llegará a tratar únicamente un 66% aproximadamente. Esta disminución de la disponibilidad se refleja también en la reducción de los volúmenes exportados al D.F, la demanda local será tan alta que la cobertura de agua al D.F será minimizada. Algo también importante de recalcar que los volúmenes concesionados para uso agrícola se incrementarán sin embargo el número de hectáreas cultivadas tiende a disminuir.

Las inversiones en materia hídrica crecerán debido a la problemática del área y la designación de presupuestos a nivel federal e internacional.

Si bien la tendencia es hacia una fuerte urbanización y desarrollo en el área, se puede afirmar que se continuará empeorando el deterioro ambiental del Acuífero, las tendencias muestran comportamientos pesimistas y no reflejan puntos de inflexión para cambiar este curso actual.

3.4 Técnica Delphi

Participantes

Se invitó a participar a 33 expertos, de los cuáles únicamente y de manera inicial 11 aceptaron participar (33%). De los 11 expertos, 7 son funcionarios de gobierno (64%) y 4 son investigadores académicos (36%) de diversas instituciones. De estos 11 expertos, 2 de ellos, a partir de la ronda 3 dejaron de participar. Para la ronda 4 se incluyeron tres expertos adicionales en la temática del agua con mucha experiencia y que realizaron o realizan trabajos en el área bajo estudio (expertos 12,13 y 14).

Descripción de los expertos:

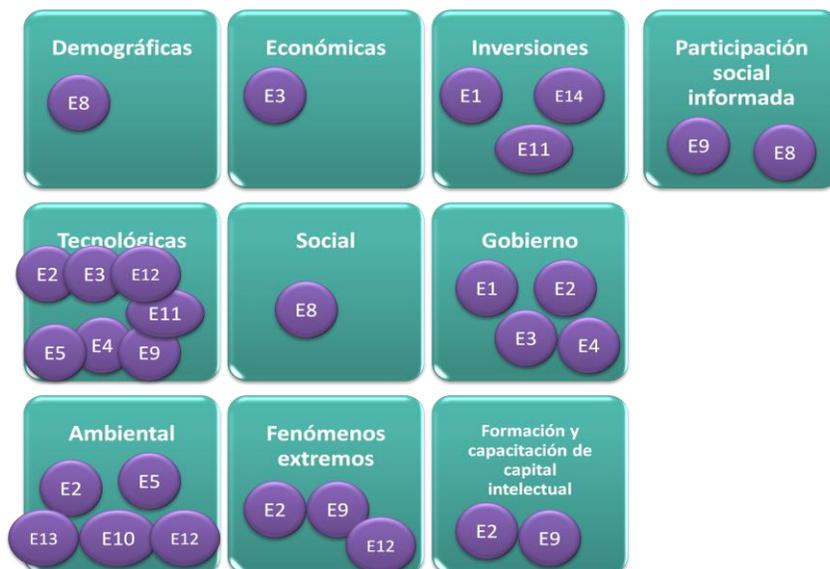
Tabla 10. Descripción de los expertos

Experto	Especialidad
1	Planeación y administración hídrica
2	Hidrología subterránea, contaminación, GIRH, hidrogeología, plantas de tratamiento
3	Hidráulica, Economía del Agua, Administración Pública y Privada del agua, Marcos normativos.
4	Ordenamiento de acuíferos, administración hídrica
5	Aguas subterráneas
6	Hidráulica-hidrología
7	Planeación hídrica y administración pública
8	Sociología, participación y gestión ciudadana para temáticas del agua y conflictos de agua
9	Hidrología, contaminación, GIRH, hidrogeología, aguas superficiales, plantas de tratamiento
10	Biodiversidad, áreas protegidas, temáticas medio ambientales
11	Hidráulica y ejecución de proyectos de agua
12	Hidrología, manejo integral del agua, percepción remota, agua y agricultura y ciclo hidrológico.
13	Evaluación y control de la calidad del agua, caracterización y tratamiento de aguas residuales municipales e industriales. Ingeniería Sanitaria y Ambiental.
14	Infraestructura hidráulica, gestión del agua, Ingeniería Civil-Ingeniería Sanitaria.

La ilustración No. 25, presenta la ubicación de cada experto respecto a la matriz Gallopinn-GIRH, aunque cabe destacar que los expertos académicos seleccionados tienen un amplio conocimiento en

la mayoría de los sectores, pero al realizar esta clasificación se tomaron sus campos de investigación más importantes. Los círculos representan a cada experto y el número identifica a cada experto con relación a la tabla No. 10

Ilustración 25. Clasificación de expertos



Actividades realizadas

- 1) **Ronda 1.** Consistió básicamente en una sola pregunta para la cual se construyó una plataforma tecnológica en la cual se les asignó un usuario y una clave de acceso a cada uno. Asimismo a cada participante se le entregó un consolidado de datos estadísticos y una guía de la técnica Delphi. (ver anexos).
La pregunta realizada fue: ¿Cuáles son los eventos más importantes que posiblemente se enfrentarán en el Acuífero Valle de Toluca hasta el 2020?
- 2) **Ronda 2.** en esta actividad se enviaron 16 eventos mencionados por los expertos en la ronda 1, para que los participantes seleccionaran únicamente 7 de ellos y realizaran la respectiva jerarquización, asimismo a cada uno se le presentó la respuesta grupal e individual con respecto a la actividad 1 (ver anexo). La plataforma no fue utilizada, debido a los problemas derivados de la ronda 1 (para mayor detalle véanse el apartado de observaciones en esta sección), se optó por el uso del correo electrónico.
- 3) **Ronda 3.** Debido a que los eventos listados en la ronda 1 por los expertos fueron totalmente de carácter tendencial, esta ronda tuvo por objetivo encontrar aquellos eventos “no

tendenciales”, se dispuso realizar entrevistas personales para evitar recaer en respuestas de este tipo. El tiempo utilizado para las entrevistas fue de 1 semana. Ver anexo.

- 4) **Ronda 4.** Esta etapa comprendió la asignación de probabilidades a los eventos tendenciales y no tendenciales producto de la etapa dos y tres. Asimismo, implicó el llenado de dos matrices para la generación de los impactos cruzados (ver anexos).

Resultados

Ronda 1. Como respuesta a esta ronda se obtuvieron 55 eventos diferentes que fueron agrupados utilizando la matriz de Gallopín-GIRH (ver capítulo 3), a partir de esta agrupación se obtuvieron únicamente 16, que son listados a continuación. En el paréntesis se indica el porcentaje de expertos que citaron el evento en particular.

- 1) El Plan de Desarrollo del Estado de México, y en particular de los municipios que integran el Valle de Toluca, impulsarán un fuerte crecimiento urbano-productivo y un mercado informal, ampliándose gradualmente la zona urbana del Valle (45 %)
- 2) Seguirá en aumento la tendencia de sobreexplotación del acuífero, básicamente por su uso ineficiente, y se traducirá en una pérdida significativa en la disponibilidad de agua para todos los usos (45%).
- 3) Incremento de las inundaciones (36%).
- 4) Aparición continúa de grietas con orientación predominante de Oriente-Poniente y en algunos casos de Norte-Sur) provocando situaciones de alta vulnerabilidad para la sociedad (36%).
- 5) Habrá una reducción de agua de las ciénagas debido a fenómenos de desecación naturales y antropogénicos, reduciéndose la biodiversidad de la zona (36%).
- 6) Se continuará con la falta de capacidad institucional y normativa para regular el manejo del Acuífero (27%).
- 7) Se reducirá más la calidad del agua subterránea debido a la extracción a mayores profundidades y por el contacto con las aguas superficiales altamente contaminadas (27%).
- 8) Las plantas de tratamiento para aguas urbanas e industriales no tendrán la capacidad suficiente, ni el diseño adecuado para atender los volúmenes y contaminación de las aguas residuales superficiales (27%).
- 9) Se incrementarán los conflictos sociales ante la escasez de agua y la desconfianza de la ciudadanía ante la reducida acción de los gobiernos (27%).
- 10) Se propiciarán programas y acciones para fomentar la recarga natural y artificial (18%).
- 11) Cada año se afectará más la salud de la población por los altos índices de contaminación del agua (18%).

- 12) Se efectuará una fuerte inversión en investigación y requerimientos de personal altamente capacitado para tratar la problemática (18%).
- 13) Debido a que el agua subterránea estará a una mayor profundidad, se dará un agotamiento de la vida útil de los pozos y un incremento en los costos de operación (18%).
- 14) Se incrementará el conflicto político por el agua entre los gobiernos del Estado de México y la Ciudad de México y por la poca participación ciudadana (9%).
- 15) La baja cobertura en la micromedición y la falta de tarifas realistas impedirán el control, ahorro y gestión eficiente del agua (9%).
- 16) Se establecerá un sistema de tarifas de cobro de consumo de agua con base en la profundidad de extracción, el costo energético requerido y subsidios cruzados (9%).

Ronda 2. Se tomaron los siete eventos con la frecuencia⁶ más alta de selección de los expertos. A continuación se muestran los resultados (Tabla No. 11 y gráfica No. 32).

Tabla 11. Eventos tendenciales

	Descripción	expertos
Evento A	Seguirá en aumento la tendencia de sobreexplotación del acuífero, básicamente por su uso ineficiente, y se traducirá en una pérdida significativa en la disponibilidad de agua para todos los usos.	11
Evento B	Se continuará con la falta de capacidad institucional y normativa para regular el manejo del Acuífero.	8
Evento C	Habrá una reducción de agua de las ciénagas debido a fenómenos de desecación naturales y antropogénicos, reduciéndose la biodiversidad de la zona.	8
Evento D	Se reducirá más la calidad del agua subterránea debido a la extracción a mayores profundidades y por el contacto con las aguas superficiales altamente contaminadas.	7
Evento E	El Plan de Desarrollo del Estado de México, y en particular de los municipios que integran el Valle de Toluca, impulsarán un fuerte crecimiento urbano-productivo y un mercado informal, ampliándose gradualmente la zona urbana del Valle.	6
Evento F	Se incrementarán los conflictos sociales ante la escasez de agua y la desconfianza de la ciudadanía ante la reducida acción de los gobiernos	6
Evento G	Aparición continua de grietas con orientación predominante de Oriente-Poniente y en algunos casos de Norte-Sur) provocando situaciones de alta vulnerabilidad para la sociedad.	6

⁶ Se seleccionó la frecuencia con que los expertos mencionaron los eventos, debido a que es un primer indicio de alta probabilidad de ocurrencia del evento, para medir la predictibilidad e impacto se utiliza Impactos Cruzados .

Gráfica 32. Eventos tendenciales seleccionados con respecto a los expertos



Ronda 3. Los eventos no tendenciales mencionados por los expertos fueron los siguientes (Tabla No. 12):

Tabla 12. Eventos no tendenciales

	Descripción
Evento H	Se endurecerá la no cooperación con el gobierno y mayores movilizaciones de las comunidades indígenas-campesinas ubicadas en las partes altas del Valle de Toluca (pueblos mazahuas, otomíes y otros) por la defensa de los recursos naturales en su territorio, incluyendo el agua.
Evento I	Las dos ciénagas de Lerma se convertirán en parques recreativos y se construirán Chinampas para fomentar el uso agrícola sustentable.
Evento J	La instalación de un sistema de transporte colectivo en la región (metro) causará un aumento de la migración hacia la zona.
Evento K	El cambio climático producirá el descenso de temperatura y aumento de los niveles de precipitación en el AVT y la reducción de la producción hídrica en el sistema Cutzamala
Evento L	La elección de Enrique Peña Nieto presidente, favorecerá los arreglos institucionales entre el gobierno del D.F y el Gobierno del Estado principalmente en relación a las políticas de importación de agua.
Evento M	La construcción y operación de la planta de tratamiento de la ciudad de México (Atotonilco de Tula) la cual favorecerá una recirculación de agua al D.F y disminuirá la extracción de agua en el Acuífero.
Evento N	La modificación de oferta y la demanda por la privatización del agua.

Ronda 4. La tabla No. 13, muestra los valores de probabilidad obtenidos.

Tabla 13. Eventos y probabilidades de ocurrencia

	Eventos	Probabilidad promedio
A	Seguirá en aumento la tendencia de sobreexplotación del acuífero, básicamente por su uso ineficiente, y se traducirá en una pérdida significativa en la disponibilidad de agua para todos los usos.	0.87
B	Se continuará con la falta de capacidad institucional y normativa para regular el manejo del Acuífero	0.67
C	Habrá una reducción de agua de las ciénagas debido a fenómenos de desecación naturales y antropogénicos, reduciéndose la biodiversidad de la zona.	0.77
D	Se reducirá más la calidad del agua subterránea debido a la extracción a mayores profundidades y por el contacto con las aguas superficiales altamente contaminadas.	0.7
E	El Plan de Desarrollo del Estado de México, y en particular de los municipios que integran el Valle de Toluca, impulsarán un fuerte crecimiento urbano-productivo y un mercado informal, ampliándose gradualmente la zona urbana del Valle.	0.72
F	Se incrementarán los conflictos sociales ante la escasez de agua y la desconfianza de la ciudadanía ante la reducida acción de los gobiernos	0.67
G	Aparición continúa de grietas con orientación predominante de Oriente-Poniente y en algunos casos de Norte-Sur) provocando situaciones de alta vulnerabilidad	0.68
H	Se endurecerá la no cooperación con el gobierno y mayores movilizaciones de las comunidades indígenas-campesinas ubicadas en las partes altas del Valle de Toluca (pueblos mazahuas, otomíes y otros) por la defensa de los recursos naturales en su territorio, incluyendo el agua.	0.53
I	Las dos ciénagas de Lerma se convertirán en parques recreativos y se construirán Chinampas para fomentar el uso agrícola sustentable.	0.42
J	La instalación de un sistema de transporte colectivo en la región (metro) causará un aumento de la migración hacia la zona.	0.53
K	El cambio climático producirá el descenso de temperatura y aumento de los niveles de precipitación en el AVT y la reducción de la producción hídrica en el sistema Cutzamala	0.5
L	La elección de Enrique Peña Nieto presidente, favorecerá los arreglos institucionales entre el gobierno del D.F y el Gobierno del Estado principalmente en relación a las políticas de importación de agua.	0.38
M	La construcción y operación de la planta de tratamiento de la ciudad de México (Atotonilco de Tula) la cual favorecerá una recirculación de agua al D.F y disminuirá la extracción de agua en el Acuífero.	0.45
N	La modificación de oferta y la demanda por la privatización del agua	0.27

A continuación se muestran los valores de probabilidad emitidos de manera individual para cada evento (tabla No. 14) y las medias de las opiniones de expertos (Tabla No. 15) que se utilizarán para el análisis de impactos cruzados. En lo que respecta, a las matrices de impactos cruzados los valores individuales dados por los expertos pueden ser consultados en los anexos.

Tabla 14. Probabilidad de ocurrencia por experto

Evento	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8	E9	E10	E11	E12
A	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.7	0.9	0.7	0.9
B	0.7	0.9	0.5	0.5	0.5	0.7	0.9	0.5	0.5	0.9	0.7	0.7
C	0.5	0.9	0.9	0.7	0.9	0.9	0.9	0.9	0.5	0.9	0.5	0.7
D	0.5	0.9	0.9	0.9	0.7	0.7	0.3	0.9	0.5	0.9	0.7	0.5
E	0.7	0.1	0.7	0.9	0.9	0.9	0.5	0.9	0.7	0.7	0.9	0.7
F	0.5	0.7	0.3	0.7	0.7	0.5	0.7	0.9	0.5	0.9	0.9	0.7
G	0.5	0.9	0.9	0.7	0.7	0.7	0.9	0.7	0.5	0.7	0.5	0.5
H	0.3	0.5	0.3	0.7	0.5	0.5	0.7	0.7	0.3	0.5	0.9	0.5
I	0.3	0.3	0.7	0.1	0.5	0.3	0.1	0.5	0.7	0.5	0.5	0.5
J	0.1	0.3	0.9	0.9	0.9	0.7	0.1	0.5	0.3	0.5	0.7	0.5
K	0.5	0.3	0.3	0.9	0.3	0.7	0.9	0.5	0.5	0.1	0.5	0.5
L	0.1	0.1	0.7	0.7	0.9	0.3	0.7	0.1	0.3	0.1	0.1	0.5
M	0.3	0.1	0.7	0.5	0.1	0.3	0.5	0.9	0.5	0.5	0.5	0.5
N	0.3	0.1	0.1	0.1	0.3	0.5	0.5	0.3	0.1	0.1	0.3	0.5

Tabla 15. Media de impactos

	A	B	C	D	E	F	G
A	X	3	1	1	2	-1	-1
B	2	X	1	1	1	-1	-1
C	3	2	X	1	2	1	2
D	3	1	1	X	1	-1	2
E	-1	-1	2	1	X	1	-1
F	3	3	2	2	2	X	3
G	3	1	2	1	1	1	X
	H	I	J	K	L	M	N
A	1	-1	2	1	-1	-1	1
B	1	-1	1	1	-1	-1	1
C	2	-2	1	1	1	-1	1
D	1	-1	2	-1	1	-1	1
E	-1	1	3	1	2	1	1
F	3	-2	2	1	-1	-1	1
G	1	-1	1	1	1	-1	-1

Observaciones

Ronda 1. El 81% de los participantes, envió sus respuestas en los tiempos establecidos. Se dieron problemas en la interacción experto-plataforma (50 %) debido a los permisos en los sistemas de cómputo institucionales y 9% por la utilización de la contraseña. Los eventos listados por los

participantes fueron únicamente de tipo tendencial y la mayoría de ellos (97%) tenía un enfoque negativo.

Ronda 2. En esta ronda el (91%) de los expertos contestaron con un tiempo de respuesta muy corto (un promedio de 3 días de un plazo de 8 días), la mayoría mostró una mejor disposición a usar el correo electrónico que la plataforma, y únicamente un 20% de ellos solicitó una entrevista personal.

Ronda 3. Únicamente se obtuvo una participación del 82% del total de expertos. Se pudo detectar que la mayoría de expertos a pesar de las instrucciones dadas se inclinaban por eventos tendenciales. El 55% de los expertos contestaron la actividad mediante entrevista directa y el resto vía email. Se hizo la selección de los eventos más significativos y que en esencia representaran su naturaleza no tendencial.

Ronda 4. En esta última parte del ejercicio se seleccionaron tres expertos adicionales, a los que participaron inicialmente, esto debido a que dos de los expertos dejaron de colaborar en el ejercicio. Los nuevos expertos seleccionados contaban con una amplia experiencia en temática ambiental, y dos de ellos trabajaron en el área de estudio, el otro es un profesional de alta trayectoria en temática ambiental y sanitaria con amplios conocimientos en materia hídrica. Algunos expertos, hicieron notar que no estaban de acuerdo con los eventos K y L.

El evento K hace la mención de cambio climático, este evento fue mencionado por dos expertos: uno de ellos hizo la afirmación de que el cambio climático provocaría mayores niveles de precipitación y una menor temperatura fundamentado en un modelo de simulación y otro afirmó que el cambio provocaría una reducción de la producción hídrica del Sistema Cutzamala, por fines de practicidad se creó un solo evento, (L) uno de los expertos hizo notar que no estaba de acuerdo en que su evento estuviera vinculado al otro. También algunos expertos afirmaron que no creían que el cambio climático iba a provocar un descenso de temperatura (39%).

Con respecto al evento (K), se encontró una resistencia de algunos expertos a contestar este evento (24%) por ser de carácter político, pero al explicarles que este evento fue una opinión personal de otro experto, y que por la naturaleza del ejercicio debía ser respetado como tal los expertos aceptaron completar el ejercicio.

3.5 Impactos cruzados

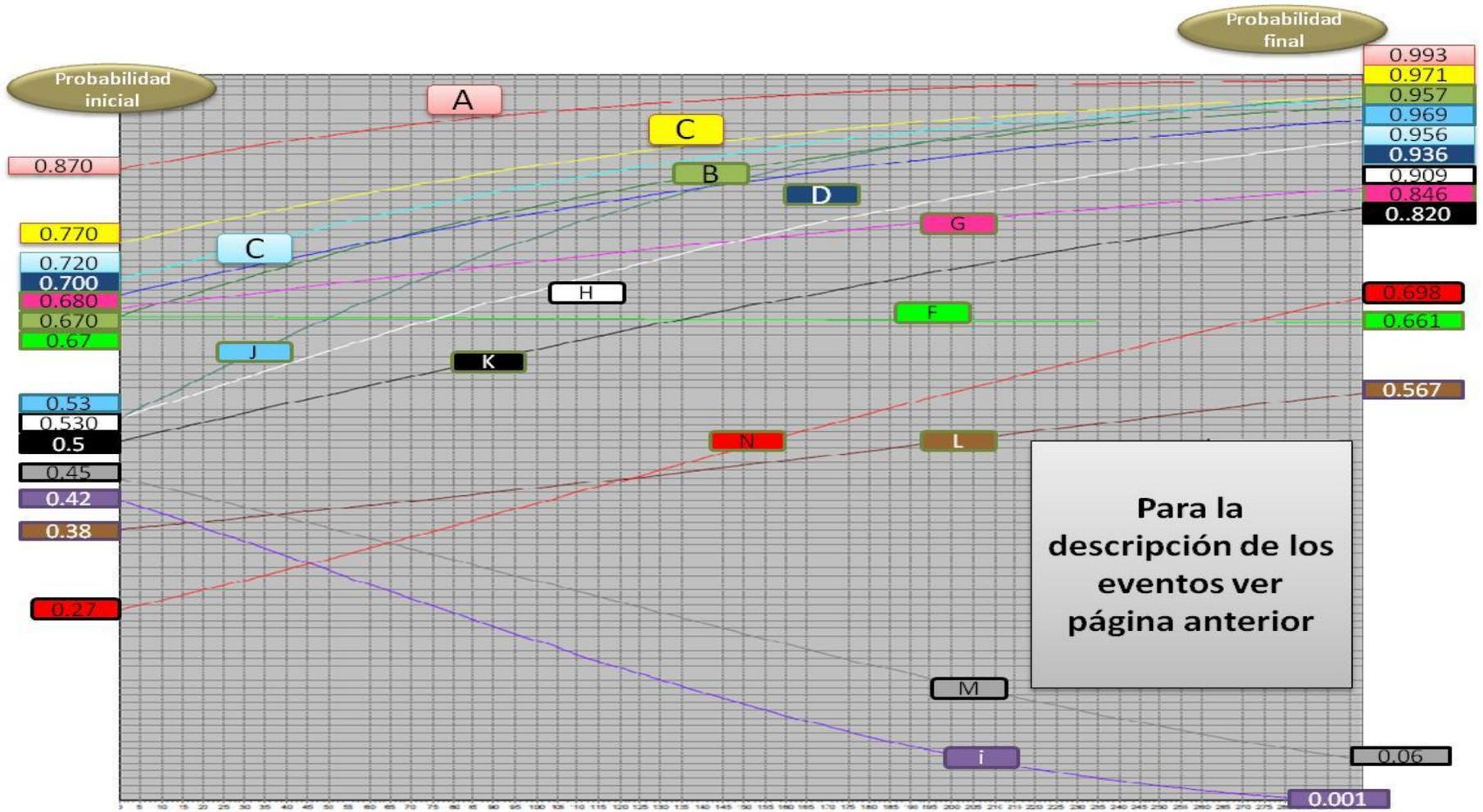
Para el desarrollo de impactos cruzados se utilizó el software KSIM [1], se ingresaron las probabilidades y valorizaciones de impactos.. A continuación, en la tabla No. 16, se presentan las probabilidades iniciales y finales de los eventos. Las probabilidades iniciales corresponden a las valorizaciones de los expertos que se refieren a la ocurrencia del evento, las probabilidades finales se refiere a la ocurrencia del evento considerando las magnitud de impacto (otorgada por cada experto)

y la interacción entre los diversos eventos. En la gráfica No. 33 se muestra la evolución de las probabilidades y eventos.

Tabla 16. Probabilidades iniciales y finales

	Eventos	Probabilidad inicial	Probabilidad final
A	Seguirá en aumento la tendencia de sobreexplotación del acuífero, básicamente por su uso ineficiente, y se traducirá en una pérdida significativa en la disponibilidad de agua para todos los usos.	0.87	0.9936
B	Se continuará con la falta de capacidad institucional y normativa para regular el manejo del Acuífero	0.67	0.9567
C	Habrà una reducción de agua de las ciénagas debido a fenómenos de desecación naturales y antropogénicos, reduciéndose la biodiversidad de la zona.	0.77	0.97071
D	Se reducirá más la calidad del agua subterránea debido a la extracción a mayores profundidades y por el contacto con las aguas superficiales altamente contaminadas.	0.7	0.9364
E	El Plan de Desarrollo del Estado de México, y en particular de los municipios que integran el Valle de Toluca, impulsarán un fuerte crecimiento urbano-productivo y un mercado informal, ampliándose gradualmente la zona urbana del Valle.	0.72	0.95569
F	Se incrementarán los conflictos sociales ante la escasez de agua y la desconfianza de la ciudadanía ante la reducida acción de los gobiernos	0.67	0.66146
G	Aparición continúa de grietas con orientación predominante de Oriente-Poniente y en algunos casos de Norte-Sur) provocando situaciones de alta vulnerabilidad	0.68	0.84578
H	Se endurecerá la no cooperación con el gobierno y mayores movilizaciones de las comunidades indígenas-campesinas ubicadas en las partes altas del Valle de Toluca (pueblos mazahuas, otomíes y otros) por la defensa de los recursos naturales en su territorio, incluyendo el agua.	0.53	0.90883
I	Las dos ciénagas de Lerma se convertirán en parques recreativos y se construirán Chinampas para fomentar el uso agrícola sustentable.	0.42	0.00892
J	La instalación de un sistema de transporte colectivo en la región (metro) causará un aumento de la migración hacia la zona.	0.53	0.96907
K	El cambio climático producirá el descenso de temperatura y aumento de los niveles de precipitación en el AVT y la reducción de la producción hídrica en el sistema Cutzamala	0.5	0.81967
L	12) La elección de Enrique Peña Nieto presidente, favorecerá los arreglos institucionales entre el gobierno del D.F y el Gobierno del Estado principalmente en relación a las políticas de importación de agua.	0.38	0.56728
M	13) La construcción y operación de la planta de tratamiento de la ciudad de México (Atotonilco de Tula) la cual favorecerá una recirculación de agua al D.F y disminuirá la extracción de agua en el Acuífero.	0.45	0.06542
N	14) La modificación de oferta y la demanda por la privatización del agua	0.27	0.69781

Gráfica 33. Impactos cruzados para la totalidad de eventos



Para la descripción de los eventos ver página anterior

Fuente: KSIM 99

En este caso los eventos con la menor probabilidad de ocurrencia la tienen los eventos I-M-L y F respectivamente.

3.6 ESCENARIOS

A continuación se presentan los siguientes escenarios, el primero únicamente se basa en pronósticos (datos cuantitativos); el segundo en opinión de expertos (datos cualitativos), y el tercero utiliza tanto el enfoque cuantitativo como cualitativo. La construcción de escenarios toma los aspectos de la matriz mixta Gallopin-GIRH.

Descripción: El Acuífero Valle de Toluca que del Valle de Toluca se localiza en el Estado de México, es uno de los ocho en el Estado de México, y uno de los 37 en toda la cuenca hidrológica Lerma-Chapala. Cuenta con una superficie aproximada de 2738 km².

El área del AVT comprende 23 municipios: Almoloya de Juárez, Almoloya del Río, Atizapán, Calimaya, Capulhuac, Chapultepec, Xalatlaco, Joquicingo (parcial), Lerma, Metepec, Mexicalcingo, Ocoyoacac, Oztolotepec, Rayón, San Antonio la Isla, San Mateo Atenco, Temoaya, Tenango del Valle (parcial), Texcalyacac, Tianguistenco, Toluca, Xonacatlán (parcial) y Zinacantepec.

Resumen de la situación actual

Actualmente, el acuífero Valle de Toluca, presenta una problemática compleja en la que intervienen diversos factores, entre ellos se pueden mencionar los ambientales, sociales, de gestión, entre otros.

La mayoría de los municipios ya son zona conurbada con el Distrito Federal, lo que indudablemente ha provocado un mayor crecimiento poblacional lo que causa un aumento considerable en los volúmenes de extracciones de agua y de aguas residuales así como también un cambio del uso de suelo. La disponibilidad de agua ha disminuido drásticamente y no se puede abastecer a la población local (a pesar que en materia de infraestructura, se tiene cobertura de agua potable y alcantarillados mayores a los promedios nacionales). Los mayores volúmenes se destinan al uso agrícola, seguido del doméstico y del industrial respectivamente. El acuífero está en Veda desde 1965, pero este decreto no se cumple a cabalidad.

Adicionalmente, hay presencia de una fuerte contaminación que es derivada de las intensas actividades agrícolas, industriales y domésticas) en los cuerpos residuales y un riego latente para el acuífero debido a los agrietamientos vinculados a descargas residuales. Los municipios con menos índice de desarrollo y que presentan cierto grado de pobreza son los más afectados, en contraparte los municipios con mayor índice de desarrollo son los más contaminantes. Las descargas de aguas residuales representan un 61% de los volúmenes concesionados, la mayoría de descargas provienen del uso doméstico. En lo que respecta al tratamiento y reúso del agua en el área existe la infraestructura de 19 plantas de tratamiento, de las cuáles únicamente 16 están en funcionamiento.

Hay evidencia de la existencia de enfermedades de posible origen hídrico por contaminación, sin embargo no se han realizado investigaciones que enlacen un medio transmisor específico con dichas enfermedades, únicamente se detectó una investigación en el área que indica una presencia factores genotóxicos.

Otro fenómeno presente son los agrietamientos en la zona (derivados principalmente de la dinámica tectónica de la región) que causan daños a la infraestructura provocando zonas de alta vulnerabilidad para la población, zonas de contaminación para el acuífero y son responsables en parte de la desecación lagunar. Otro fenómeno, presente son las inundaciones ya que al existir deforestación en las partes altas del valle, las escorrentías pluviales se depositan en el fondo, poniendo en riesgo a la población. Asimismo, los pobladores, han construido en zonas que anteriormente fueron lagunares.

En lo que respecta a los aspectos políticos e institucionales para el manejo y rescate del acuífero hay presencia de varios elementos negativos como el protagonismo institucional, recelo para proporcionar información, desvinculada administración, desintegración del COTAS, escasa difusión de programas interinstitucionales, selección y evaluación inadecuada de proyectos de infraestructura e investigación dispersa sin temática definida. Existe una carencia de sistemas de cobro estandarizados, las cuotas y tarifas son manejadas por cada municipio con sus criterios particulares.

En relación a la biodiversidad del área, dentro del AVT se localizan ciénagas del Lerma que son los humedales remanentes más extensos del centro de México, pero su superficie ha disminuido debido a la urbanización y contaminación. La flora y fauna es diversa, existen una gran variedad de especies endémicas, principalmente aves. Las principales zonas de recarga natural son el Nevado de Toluca y la Sierra de las Cruces.

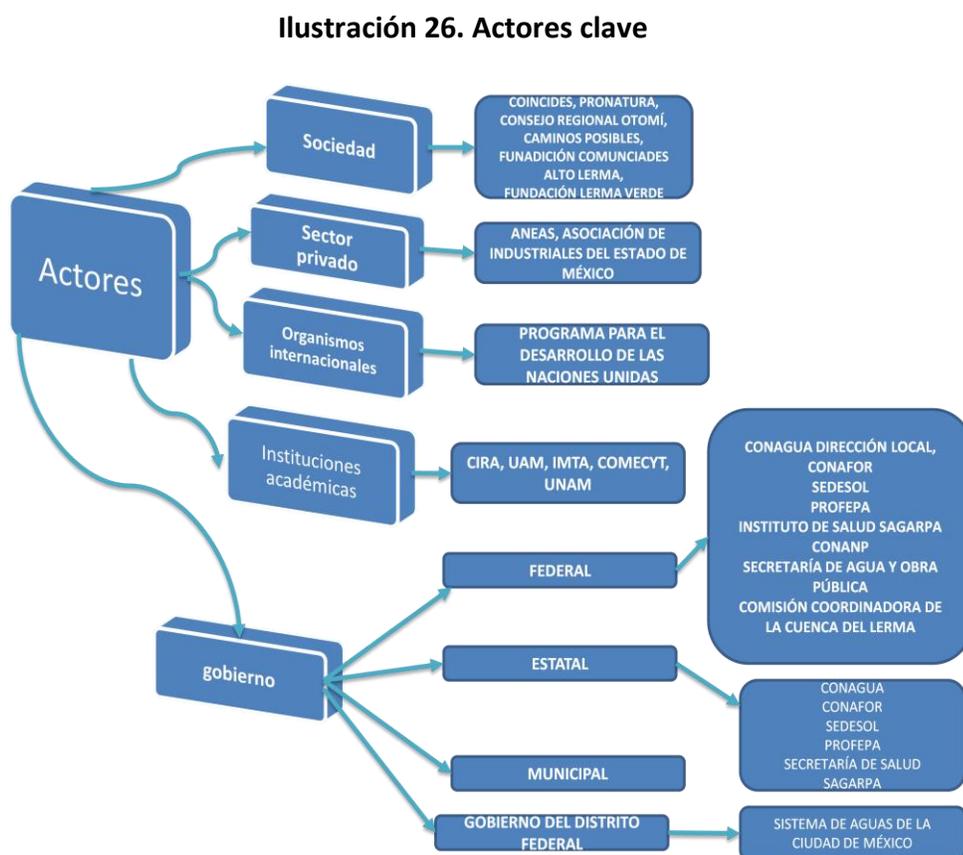
El cálculo del WSI (indicador para determinar el estado de sustentabilidad en acuíferos y cuencas) para este caso en particular, refleja un estado de sustentabilidad bastante pobre, incluso por debajo de otros recursos hídricos en la región latinoamericana. Para mayor detalle de la descripción de la problemática referirse a la sección de Ubicación del Sistema y conocimiento preciso de la situación actual de este trabajo.

Actores

Los actores clave son aquellos individuos cuya participación es indispensable y obligada para el logro de ciertos propósitos, objetivos y metas para un objeto en particular; poseen la influencia, la capacidad y los medios para decidir e influir en este caso sobre el Acuífero Valle de Toluca.

Debido a la importancia ambiental, socioeconómica y política que tiene este Acuífero, existe una gran cantidad de actores involucrados, a nivel general se pueden clasificar en cinco grupos: gobierno, instituciones académicas, sector privado organismos internacionales y sociedad, a su vez, estas grandes clasificaciones se subdividen. De acuerdo a los estudios realizados por la UNAM, existen alrededor de 58 actores involucrados en el manejo y uso del AVT [52].

La ilustración No. 26, presenta de una forma resumida y general algunos de los actores involucrados.



Elementos portadores del futuro

Anteriormente, se definieron los elementos portadores del futuro, como aquellos que pueden cambiar las tendencias. Para el caso concreto de Acuífero Valle de Toluca se detectaron los siguientes:

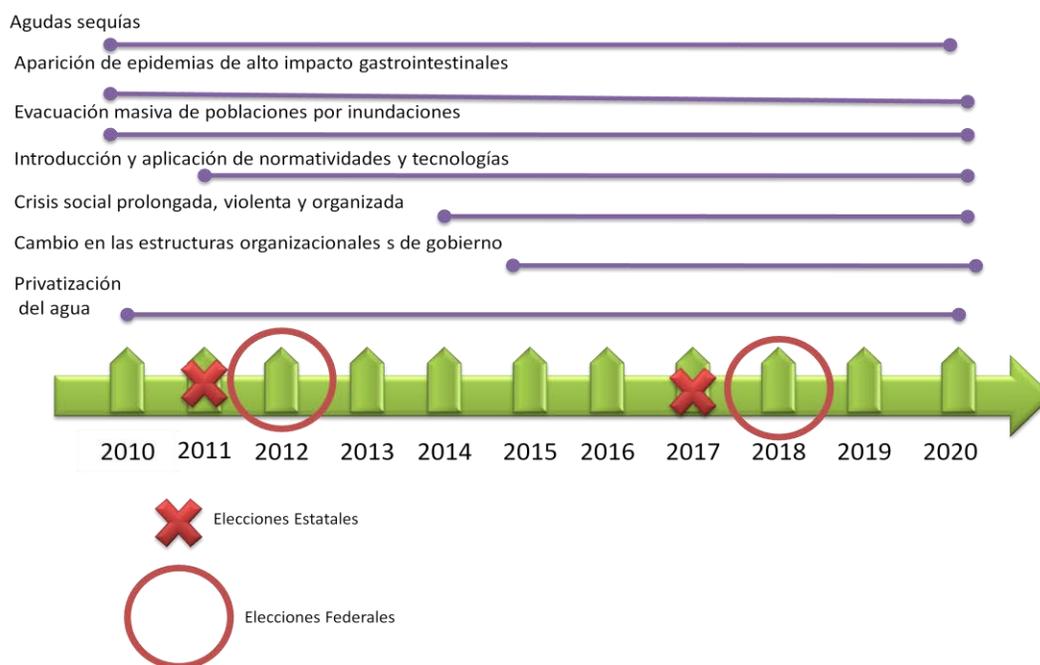
- 1) Privatización del agua: en el marco de tratados como el TLCAN, así como de las políticas del Fondo Monetario Mundial y del Banco Interamericano de desarrollo, se han impulsado formas de privatización de agua en México. Su implantación modifica la oferta, demanda así como los usos del agua.

- 2) Las elecciones de gobierno y presidenciales: los procesos de elección de gobernantes, indudablemente repercuten las tendencias, ya sea reforzándolas o interrumpiéndolas.
- 3) Cambio en las estructuras organizacionales y forma de operación de las entidades de gobierno: debido a que las instituciones públicas son creadas con el fin de resolver problemas, al ser las problemáticas tan complejas, como es el caso del acuífero y de alto impacto ante la sociedad, la incapacidad de los gobiernos no es tolerada y entonces se pueden producir cambios en sus estructuras y formas de operar que refuercen o reviertan las tendencias actuales.
- 4) Crisis social prolongada, violenta y organizada producto de la escasez del agua: generalmente, se habla de estallidos sociales como puntos aislados, pero existe también una posibilidad que estas situaciones se den de manera organizada que involucren a grupos poblacionales y en diferentes municipios, lo que afectaría la distribución y usos del agua.
- 5) Introducción y aplicación de normatividades y tecnologías para recarga del acuífero, captación de aguas pluviales y tratamientos de aguas residuales en los usos doméstico, industrial y agrícola: debido a la escasez generalizada de agua, la sociedad en general se puede ver forzada a recurrir a ellas para captar aguas pluviales para su consumo y asimismo adoptar tecnología para tratamiento de agua residual de manera particular, lo que afectaría el consumo, extracción y formas de vida. Con respecto a la tecnología de recarga del Acuífero debido a la presión por la disponibilidad de agua, es probable su aplicación, lo cual indudablemente contribuiría a lograr un estado sustentable de este Acuífero.
- 6) Evacuación masiva de poblaciones por inundaciones: debido a que el Valle presenta una alta vulnerabilidad en materia de inundaciones, puede implicar la modificación de las tendencias urbanas y poblacionales.
- 7) Aparición de epidemias de alto impacto gastrointestinales, respiratorias y cutáneas: pueden surgir epidemias de alto impacto en la población, que fuercen a las autoridades a efectuar operaciones contingentes que fuercen a sanear de forma inmediata la contaminación del área, lo que revertiría la tendencia de aumento de contaminación y provocaría una explosión en la cantidad de enfermos.
- 8) Se pueden presentar agudas sequías: debido al cambio climático, es probable el apareamiento de sequías prolongadas, que tienen como consecuencia la reducción de los volúmenes de cuerpos de agua superficial y subterránea en el área bajo estudio y en otras de

carácter externo, como es el caso de la presa del sistema Cutzamala. Esto provocaría modificaciones en el tipo y forma de uso.

A continuación se presenta una línea del tiempo (ilustración No. 27) que indica cuando pueden acontecer estos hechos, las líneas continuas indican que los eventos pueden ocurrir en cualquier momento durante el intervalo señalado.

Ilustración 27. Línea del tiempo elementos portadores del futuro



3.6.1 Escenario basado en pronósticos

Objetivo: describir un posible desarrollo futuro del acuífero con base en pronósticos.

Supuestos: continuarán las tendencias actuales, sin considerar los elementos portadores del futuro y las proyecciones resultantes reflejan las situaciones futuras con alta probabilidad.

Temáticas⁷: demografía y economía, tecnología, inversiones en materia de agua.

Variables: tasas de crecimiento poblacional, población, cobertura de agua potable y alcantarillado, disponibilidad de agua, volúmenes concesionados, volúmenes extraídos, hectáreas cultivadas, volúmenes generados y tratados, cantidad de enfermos por padecimientos de origen hídrico, niveles piezométricos, montos de inversiones en agua.

Con respecto al crecimiento económico, se considera que el PIB producido en los municipios del Acuífero Valle de Toluca, representa el 20% del total del PIB del Estado, si el crecimiento del PIB (no coma) continúa de la misma forma para el año 2020, éste crecerá un 117% en relación a los valores actuales.

Este crecimiento del PIB se refleja en las tendencias demográficas crecientes para esta zona; debido a lo anterior se plantean grandes retos en relación con la extracción, suministro, distribución y tratamiento de aguas. Para el año 2015 se considera que habrá 2,418,069 de habitantes y 2,608,196 para el 2020, de acuerdo a las proyecciones de CONAPO, sin embargo otros estudios señalan alrededor de 17,000,000 de habitantes [43].

Las tasas de crecimiento poblacional se mantendrán constantes y serán relativamente pequeñas de acuerdo a las cifras oficiales (variarán desde el 1.77 % al 1.71% para el período que comprenden los años 2015 y 2020).

Debido tanto al crecimiento económico y poblacional de la zona, para el 2015 la demanda de agua (tomando como punto de partida la cantidad de población y suponiendo niveles de consumo por la OMS por habitante de 150 L/día) sería de $119.64 \text{ hm}^3/\text{año}$ y la disponibilidad de agua sería aproximadamente de -167.87 hm^3 , en lugar de los -152.51 hm^3 actuales. Para el año 2020, se calcula que los valores de demanda y disponibilidad serían 130.86 hm^3 y -185.94 hm^3 respectivamente. Aunque otras tendencias estiman que la disponibilidad de agua incluso podría alcanzar los -481.56 hm^3 . Los datos anteriores corresponden únicamente a las necesidades básicas de cada habitante, sin considerar los requerimientos industriales ni agrícolas, esto indica que en el futuro el acuífero no tendrá ni siquiera la disponibilidad de agua para cubrir las necesidades básicas de sus habitantes.

⁷ Este apartado describe los rubros de la matriz Gallopín-GIRH considerados para el desarrollo de escenarios.

Por otra parte, el mismo crecimiento económico de la zona provocará que los requerimientos de volúmenes de agua para los usos doméstico, industrial y agrícola aumenten. Para el año 2005, el volumen total era de 279.10 Mm³, para el año 2008 había aumentado a 297.11 Mm³, y en el año 2020 se calculan alrededor de 349.00 Mm³ (148.80 Mm³ agrícola, 125.45 Mm³ el público y 65.72 Mm³ el industrial).

En contraparte a lo anterior, se puede detectar que quizás no será el uso agrícola el de mayor crecimiento, ya que el número de hectáreas cultivadas está tendiendo a disminuir, así en el año 2004 el número de hectáreas cultivadas era de 206 y para el año 2006 había disminuido a 169, las proyecciones indican que para el 2020 se estarán cultivando tan sólo 94 hectáreas.

Dado la información anterior, el comportamiento futuro más factible en relación a los usos de agua, es la disminución considerable en los volúmenes requeridos por el uso agrícola; esto es una consecuencia del aumento poblacional en la zona, (se le puso coma) que genera un cambio de uso del suelo agrícola hacia el industrial y el urbano, siendo éste último el más impactante. Por lo tanto, el mayor uso de agua para el intervalo 2010-2020 será el doméstico.

Debido a la limitada disponibilidad de agua, habrá una mayor necesidad de cubrir la demanda local, entonces es probable que la exportación de volúmenes de agua al D.F disminuya. En el año de 1993 se exportaban 210.09 millones de metros cúbicos, en cambio para el año 2007 el volumen era de 124.75, y para los años 2015 y 2020 se estima una cantidad de 121.86 y 95.66, respectivamente.

La baja disponibilidad de agua se verá también reflejada en la disminución de los niveles piezométricos, en el año de 1968, el nivel piezométrico promedio era de 16.80 m, para el año 2006 se habían alcanzado los 33.51m y para el 2020 se calcula en 40.93 m.

La urbanización en el área también implica mayores coberturas en los sistemas de agua potable y alcantarillado, que según las tendencias serían mayores que el promedio nacional. Partiendo de una condición ideal se alcanzarían porcentajes de cobertura del 97.27% y del 100%, pero es mejor esperar que la cobertura continúe, cuando menos, con los mismos porcentajes del año 2005: 91.94% y del 89.04%, respectivamente. Es decir, la población tendrá acceso a infraestructura de agua potable y saneamiento pero con volúmenes de agua restringidos en el mejor de los casos.

Por otra parte, los volúmenes de aguas residuales domésticas e industriales que se generaban en el año 2005 era de 109.28 millones de m³ al año, y únicamente eran tratados 53.62, es decir, sólo se trataba el 49%, para el año 2008 el porcentaje de agua residual tratado fue del 52% y las tendencias indican que para los años 2015 y 2020 se alcanzarán un 61% y 66% de aguas tratadas. No existen datos que permitan conocer el comportamiento de las aguas residuales totales (domésticas, industriales y agrícolas) y sus caudales tratados.

Como se puede observar en el período de los años 2005-2008, tan sólo la mitad o menos de las aguas residuales eran tratadas. Esta falta de tratamiento de las aguas residuales provocó una situación de contaminación alarmante en el área, que ha afectado la salud tanto de los habitantes como de los ecosistemas.

Tanto el agua superficial como subterránea se ha visto afectada por contaminantes domésticos, industriales y agrícolas, que combinados han provocado una situación de contaminación de alta complejidad.

A pesar de lo anterior el número de enfermos con padecimientos para el año 2006 era de 119,117 y para el 2020 se cree que llegará a los 128,837, esta disminución se puede deber a las altas coberturas de agua potable y alcantarillado y a mejores prácticas de salud debido al dinamismo de desarrollo que se presenta en la zona.

En las tendencias en inversiones en materia de agua, a partir del año 2007 se puede detectar una propensión hacia el crecimiento anual, es posible que lleguen a crecer considerablemente, ya que la complejidad de la problemática futura va a requerir grandes desembolsos de dinero.

3.6.2 Escenario basado en opinión de expertos

Objetivo: describir un posible desarrollo futuro del acuífero en base únicamente a datos cualitativos obtenidos de expertos.

Supuestos: se consideran los eventos tendenciales y no tendenciales emitidos por los expertos.

Temáticas⁸: demográficas, económicas, tecnológicas, inversiones en materia de agua, social, gobierno, ambiental, fenómenos extremos, formación y capacitación de capital intelectual, participación social informada.

Eventos: Los eventos mencionados por los expertos se describen a continuación, dentro de paréntesis se muestran los valores de probabilidad finales obtenidos por el método de impactos cruzados, el 0 indica la menor probabilidad de ocurrencia y 1 la mayor.

- A) Seguirá en aumento la tendencia de sobreexplotación del acuífero, básicamente por su uso ineficiente, y se traducirá en una pérdida significativa en la disponibilidad de agua para todos los usos (0.99)
- B) Se continuará con la falta de capacidad institucional y normativa para regular el manejo del Acuífero (0.96)
- C) Habrá una reducción de agua de las ciénagas debido a fenómenos de desecación naturales y antropogénicos, reduciéndose la biodiversidad de la zona (0.97)
- D) Se reducirá más la calidad del agua subterránea debido a la extracción a mayores profundidades y por el contacto con las aguas superficiales altamente contaminadas. (0.94)
- E) El Plan de Desarrollo del Estado de México, y en particular de los municipios que integran el Valle de Toluca, impulsará un fuerte crecimiento urbano-productivo y un mercado informal, ampliándose gradualmente la zona urbana del Valle (0.95)
- F) Se incrementarán los conflictos sociales ante la escasez de agua y la desconfianza de la ciudadanía ante la reducida acción de los gobierno (0.66)

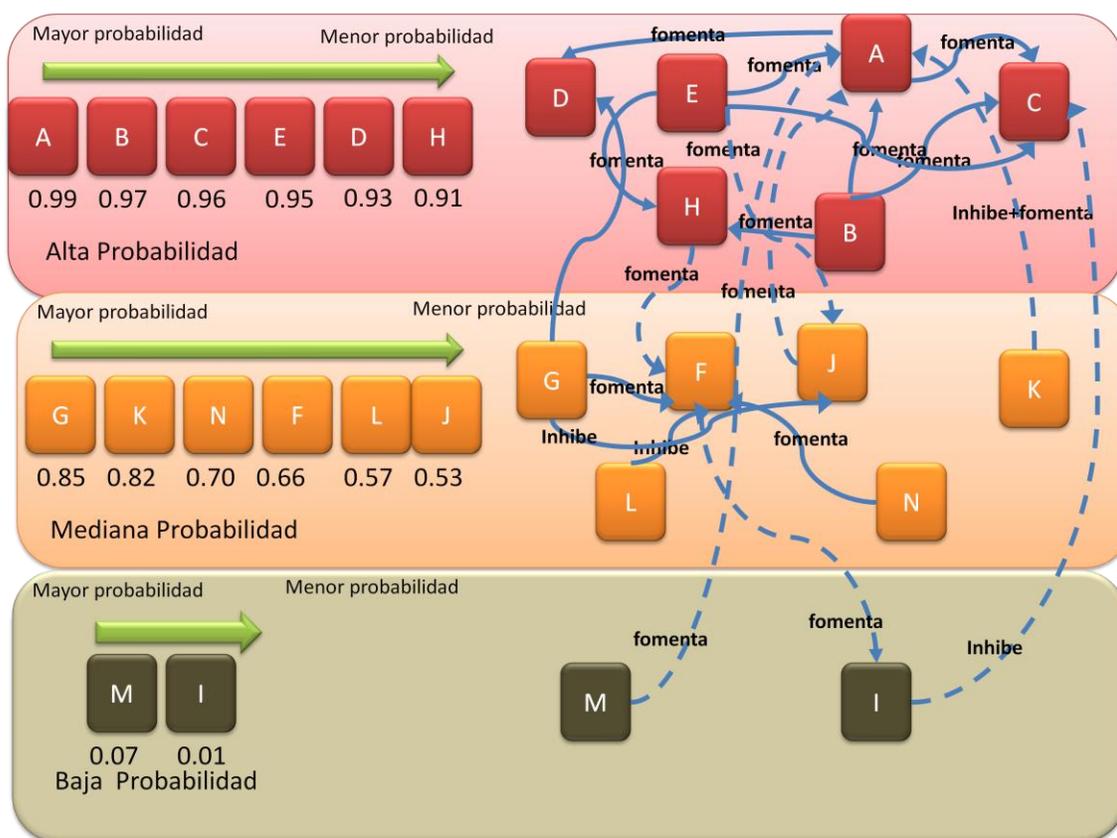
⁸ Este apartado describe los rubros de la matriz Gallopín-GIRH considerados para el desarrollo de escenarios.

- G) Aparición continua de grietas con orientación predominante de Oriente-Poniente y en algunos casos de Norte-Sur) provocando situaciones de alta vulnerabilidad (0.85)
- H) Se endurecerá la no cooperación con el gobierno y mayores movilizaciones de las comunidades indígenas-campesinas ubicadas en las partes altas del Valle de Toluca (pueblos mazahuas, otomíes y otros) por la defensa de los recursos naturales en su territorio, incluyendo el agua. (0.91)
- I) Las dos ciénagas de Lerma se convertirán en parques recreativos y se construirán Chinampas para fomentar el uso agrícola sustentable. (0.01)
- J) La instalación de un sistema de transporte colectivo en la región (metro) causará un aumento de la migración hacia la zona (0.97)
- K) El cambio climático producirá el descenso de temperatura y aumento de los niveles de precipitación en el AVT y la reducción de la producción hídrica en el sistema Cutzamala (0.82)
- L) La elección de Enrique Peña Nieto presidente, favorecerá los arreglos institucionales entre el gobierno del D.F y el Gobierno del Estado, principalmente en relación a las políticas de importación de agua. (0.57)
- M) La construcción y operación de la planta de tratamiento de la ciudad de México (Atotonilco de Tula) favorecerá una recirculación de agua al D.F y disminuirá la extracción de agua en el Acuífero. (0.07)
- N) La modificación de la oferta y la demanda por la privatización del agua (0.70)

Proceso de construcción

- 1) Agrupación de los eventos según sus probabilidades: se clasifican los eventos según las probabilidades de ocurrencia, en este caso, los eventos A,B,C,E,D y H tienen valores que oscilan entre 0.99 y 0.91, es por ello que se clasifican como de alta probabilidad; los eventos G,K,N,F,L, j oscilan en el intervalo de 0.85-0.53 (mediana probabilidad) y los eventos M e I que presentan probabilidades cercanas a 0 (baja probabilidad)
- 2) Construcción de relaciones: una vez agrupados los eventos en alta, mediana y baja probabilidad se procede a encontrar vínculos entre eventos. Para el desarrollo de este caso, la ilustración No. 28 presenta los eventos y sus relaciones (las líneas continuas indican las relaciones de los eventos dentro de una misma categoría de probabilidad, las líneas punteadas señalan relaciones entre eventos de distinta categoría).
- 3) Redacción del escenario: consiste en la composición del escenario en texto.

Ilustración 28. Eventos, probabilidades y relaciones



A pesar del deterioro ambiental que sufre actualmente el acuífero Valle de Toluca, no se vislumbran cambios para lograr su sustentabilidad, por el contrario se percibe que su sobreexplotación aumentará en los próximos años con una probabilidad de ocurrencia del 99.3%.

Las consecuencias de esta sobreexplotación se reflejarán principalmente en la disminución de la calidad de agua subterránea y por supuesto, en su baja disponibilidad.

En lo que respecta a la calidad de agua, ésta se afectará por dos razones, la primera es que debido a la necesidad de extraerla a mayores profundidades su contenido de sales variará, por lo tanto se modifica su estado químico y se necesitarán procesos de potabilización adicionales cuando sea posible, lo que en este caso implicará mayores costos tanto de extracción como de tratamiento. La segunda razón se refiere, al contacto con aguas superficiales contaminadas, esta infiltración se puede dar mediante los agrietamientos actuales y futuros de algunas regiones del AVT.

Entre algunas iniciativas indirectas para contener la pérdida de disponibilidad está la construcción y operación de la planta de tratamiento de Atotonilco de Tula, evento que podría favorecer la recirculación de agua en el Distrito Federal, lo cual disminuiría los volúmenes extraídos por esta entidad, pero no se contrarresta en gran medida la sobreexplotación del AVT.

Una situación política que podría presentarse y que podría repercutir en este recurso hídrico, es la posible elección de Enrique Peña Nieto presidente, que de acuerdo a los expertos, favorecería los arreglos institucionales relacionados con la importación de agua entre el gobierno del D.F y el gobierno del Estado de México. También los expertos afirman que de estos arreglos no se puede esperar realmente un impacto positivo en la administración del Acuífero.

Por otra parte, el cambio climático también podría afectar la disponibilidad de agua, en relación a esta temática hay dos perspectivas para este Acuífero: por una parte, si hay un crecimiento de los niveles de precipitación en el área, se presentará una recarga natural, que aunque se siguieran extrayendo grandes volúmenes de agua, se podrían mantener e incluso aumentar los niveles de disponibilidad. Pero también hay evidencias que el cambio climático manifestado con la presencia de sequías puede afectar las principales fuentes de abastecimiento del D.F., entre ellas la Presa Cutzamala, lo que causaría que los niveles de extracción se incrementaran en el Acuífero Valle de Toluca.

Otro hecho fuertemente ligado a la disminución de la disponibilidad de agua subterránea, es la reducción de agua superficial, que en este caso implica la afectación de las ciénagas del Lerma, es decir, se presentarán fenómenos de desecación tanto naturales como antropogénicos, lo que provocará una pérdida de la biodiversidad en el área.

Un ejemplo, de fenómeno antropogénico que puede suceder, es que los habitantes de la zona al carecer de agua para satisfacer sus necesidades básicas seguramente utilizarán el agua de estos cuerpos de agua superficiales. Otra situación es la generada por la tendencia futura de urbanización que provocará la desecación lagunar y la ocupación de áreas de reserva natural con fines de construcción principalmente.

Lamentablemente, la falta de capacidad institucional y normativa para el manejo del acuífero, es en gran medida una causa principal de la sobreexplotación de este acuífero, tendencia que al parecer continuará seguramente en los próximos diez años (96% de probabilidad de ocurrencia). Sin este liderazgo institucional, difícilmente se implantar soluciones para hacer un uso sustentable de este cuerpo de agua.

Otro aspecto vinculado, con la deficiente visión sistémica y ambiental de las instituciones de gobierno es el hecho de que, a pesar del estado de deterioro actual de este recurso hídrico, seguramente se desplegarán iniciativas en los planes de Desarrollo del Estado de México y de los 23 municipios de este acuífero que impulsarán un fuerte crecimiento urbano-productivo en la zona, causando la

ampliación de la zona urbana, que implicará indudablemente el aumento de la sobreexplotación y la desecación lagunar.

La construcción del tren suburbano es un claro ejemplo de estas iniciativas de desarrollo, para el año 2015 se tiene previsto que operen dos líneas: la primera que enlaza la estación Observatorio en el Distrito Federal con Toluca, pasando por los municipios de Lerma y Metepec. La segunda que enlazará la estación Toluca con Buenavista. Este evento tiene una probabilidad de ocurrencia del 96.7%

Sin embargo, hay que considerar que la construcción de la infraestructura férrea puede verse afectada por los agrietamientos presentes en la zona o bien podrán producir la agudización de éstos, ya que la aparición continua de grietas es un fenómeno que se seguirá presentando en el futuro.

La sobreexplotación, la falta de capacidad normativa e institucional, y las iniciativas futuras de los planes de desarrollo que fomentan la urbanización del Valle, seguramente provocarán que la población niegue su cooperación con el gobierno, sobre todo aquellas comunidades indígenas y campesinas al ser las más afectadas con relación a sus recursos naturales.

La movilización de las comunidades indígenas serán movimientos que seguramente reforzarán los conflictos sociales generalizados en el Valle. Estos conflictos se presentarán por las siguientes causas, principalmente: la escasez y privatización de agua, la incapacidad institucional y los agrietamientos.

El Acuífero no será ajeno a las tendencias mundiales de privatización, la infraestructura de extracción, operación, y tratamiento pasará paulatinamente del ámbito gubernamental al privado, lo que causará seguramente modificaciones de la oferta y la demanda. Lo anterior, fomentará en gran medida el apareamiento de diversas crisis sociales, mayoritariamente en los municipios con bajos índices de desarrollo.

Las crisis sociales pueden acelerar procesos de cambio positivos, y en este caso podrían impulsar que las dos ciénagas de Lerma se conviertan en parques recreativos y se sigan construyendo chinampas para prácticas agrícolas sustentables; aunque esta conversión de parques recreativos es percibida por los expertos como una práctica muy poco probable (1% de probabilidad de ocurrencia).

En este panorama futuro, dado a conocer por los expertos, se observa que las tendencias poseen un carácter pesimista, y todas aquellas perspectivas que podrían favorecer el estado actual del acuífero, lamentablemente poseen una baja probabilidad de ocurrencia.

3.6.3 Escenario Mixto

Objetivo: describir un posible desarrollo futuro del acuífero con base en datos cualitativos y cuantitativos.

Supuestos: se consideran los datos cuantitativos y los eventos señalados por los expertos, así como los elementos portadores del futuro. Las proyecciones resultantes reflejan las situaciones futuras con alta probabilidad.

Temáticas⁹: demográficas, económicas, tecnológicas, inversiones en materia de agua, social, gobierno, ambiental, fenómenos extremos, formación y capacitación de capital intelectual, participación social informada.

Eventos:

- A) Seguirá en aumento la tendencia de sobreexplotación del acuífero, básicamente por su uso ineficiente, y se traducirá en una pérdida significativa en la disponibilidad de agua para todos los usos (0.99)
- B) Se continuará con la falta de capacidad institucional y normativa para regular el manejo del Acuífero (0.96)
- C) Habrá una reducción de agua de las ciénagas debido a fenómenos de desecación naturales y antropogénicos, reduciéndose la biodiversidad de la zona (0.97)
- D) Se reducirá más la calidad del agua subterránea debido a la extracción a mayores profundidades y por el contacto con las aguas superficiales altamente contaminadas. (0.94)
- E) El Plan de Desarrollo del Estado de México, y en particular de los municipios que integran el Valle de Toluca, impulsarán un fuerte crecimiento urbano-productivo y un mercado informal, ampliándose gradualmente la zona urbana del Valle (0.95)
- F) Se incrementarán los conflictos sociales ante la escasez de agua y la desconfianza de la ciudadanía ante la reducida acción de los gobierno (0.66)
- G) Aparición continúa de grietas con orientación predominante de Oriente-Poniente y en algunos casos de Norte–Sur) provocando situaciones de alta vulnerabilidad (0.85)
- H) Se endurecerá la no cooperación con el gobierno y mayores movilizaciones de las comunidades indígenas-campesinas ubicadas en las partes altas del Valle de Toluca (pueblos mazahuas, otomíes y otros) por la defensa de los recursos naturales en su territorio, incluyendo el agua. (0.91)
- I) Las dos ciénagas de Lerma se convertirán en parques recreativos y se construirán Chinampas para fomentar el uso agrícola sustentable. (0.01)
- J) La instalación de un sistema de transporte colectivo en la región (metro) causará un aumento de la migración hacia la zona (0.97)
- K) El cambio climático producirá el descenso de temperatura y aumento de los niveles de precipitación en el AVT y la reducción de la producción hídrica en el sistema Cutzamala (0.82)
- L) La elección de Enrique Peña Nieto presidente, favorecerá los arreglos institucionales entre el gobierno del D.F y el Gobierno del Estado principalmente en relación a las políticas de importación de agua. (0.57)

⁹ Este apartado describe los rubros de la matriz Gallopín-GIRH considerados para el desarrollo de escenarios.

M) La construcción y operación de la planta de tratamiento de la ciudad de México (Atotonilco de Tula) la cual favorecerá una recirculación de agua al D.F y disminuirá la extracción de agua en el Acuífero. (0.07)

N) La modificación de oferta y la demanda por la privatización del agua (0.70)

Eventos portadores del futuro:

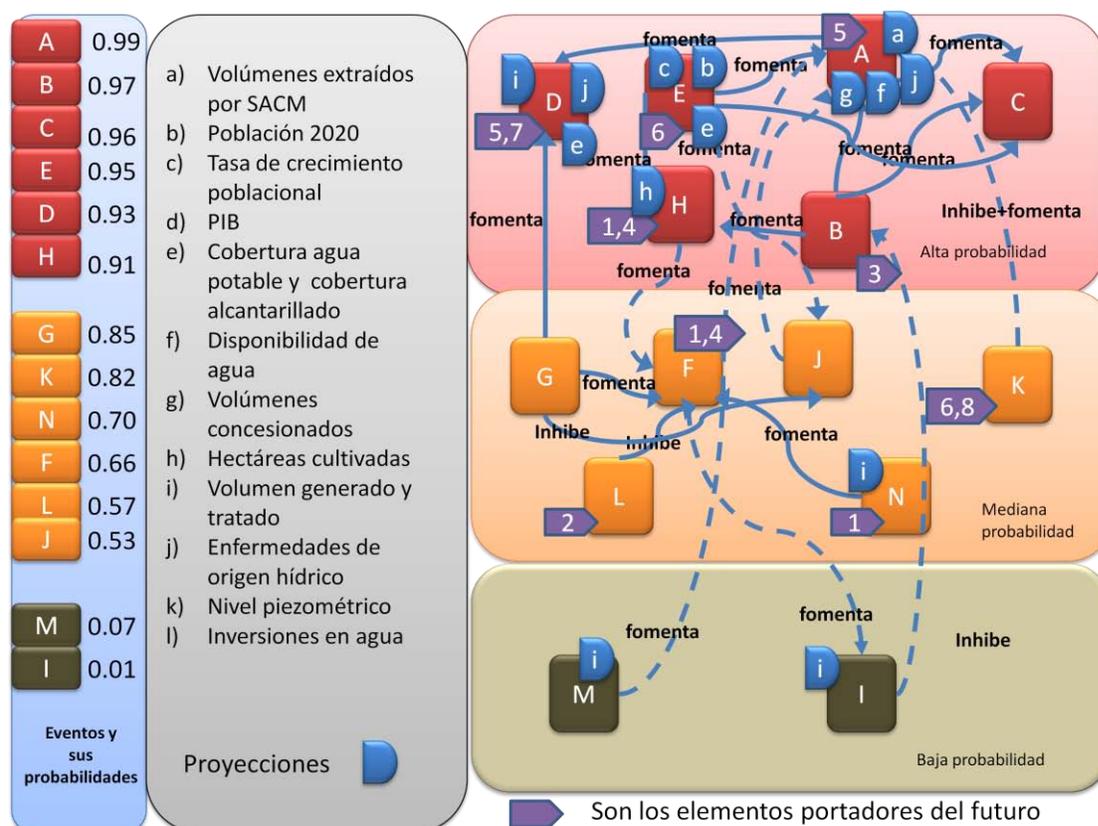
- 1) privatización del agua;
- 2) las elecciones de gobierno local y presidenciales;
- 3) cambio en las estructuras organizacionales y forma de operación de las entidades de gobierno;
- 4) crisis social prolongada, violenta y organizada producto de la escasez del agua;
- 5) introducción y aplicación de normativas y tecnologías para recarga del acuífero, captación de aguas pluviales y tratamientos de aguas residuales en los usos doméstico, industrial y agrícola;
- 6) evacuación masiva de poblaciones por inundaciones;
- 7) aparición de epidemias de alto impacto gastrointestinales, respiratorias y cutáneas;
- 8) se pueden presentar agudas sequías.

Para mayor detalle ver la sección de elementos portadores del futuro descrita anteriormente.

Proceso de construcción

- 1) Agrupación de los eventos según sus probabilidades: se clasifican los eventos según las probabilidades de ocurrencia, en este caso, los eventos A,B,C,E,D y H tienen valores que oscilan entre 0.99 y 0.91, es por ello que se clasifican como de alta probabilidad; los eventos G,K,N,F,L, j oscilan en el intervalo de 0.85-0.53 (mediana probabilidad) y los eventos M e I que presentan probabilidades cercanas a 0 (baja probabilidad).
- 2) Construcción de relaciones: una vez agrupados los eventos en alta, mediana y baja probabilidad se procede a encontrar vínculos entre eventos. Para el desarrollo de este caso, la ilustración No. 29 presenta los eventos y sus relaciones (las líneas continuas indican las relaciones de los eventos dentro de una misma categoría de probabilidad, las líneas punteadas señalan relaciones entre eventos de distinta categoría). Se establecen vínculos de cada evento con proyecciones y con los elementos portadores del futuro.
- 3) Redacción del escenario: consiste en la composición del escenario en texto.

Ilustración 29. Eventos, elementos portadores y relaciones



El proceso de deterioro futuro del acuífero Valle de Toluca estará, determinado al parecer por tres eventos clave: el primero es la sobreexplotación, el segundo es el crecimiento urbano y productivo de la zona; y por último la reducción de la calidad de agua por la extracción y por contacto con aguas superficiales contaminadas. Lo cual indica que las tendencias actuales no parecen revertirse.

En la ilustración No. 30, se observa como los distintos eventos están interrelacionados, cada evento pertenece a distintas categorías de la Matriz Gallopín- GIRH, al igual que los eventos las temáticas están vinculadas, a continuación se profundizará sobre las temáticas demográficas, económicas y ambientales que se retomarán a lo largo del texto.

La sobreexplotación es un aspecto que está fuertemente ligado con el crecimiento poblacional y básicamente implica dos situaciones para el acuífero, la primera una disminución del agua disponible y la segunda la afectación de su calidad.

Cuando las poblaciones crecen se empiezan a deteriorar los recursos ambientales más cercanos, que en este caso se puede observar que se presentan tendencias de crecimiento poblacional bastante fuertes para los 23 municipios. De acuerdo, a los datos de CONAPO para el año 2015 se considera que habrá 2,418,069 de habitantes y 2,608,196 para el 2020, sin embargo otros estudios señalan que para el 2020 el AVT contará con alrededor de 17,000,000 de habitantes [43]. Asimismo el crecimiento económico y el aumento poblacional son aspectos que tienen una relación directa; se considera que el PIB producido en los municipios del Acuífero Valle de Toluca (que representa

actualmente el 20% del total del PIB del Estado) para el año 2020, crecerá en un 117% en relación a los valores actuales. Esto produce en el aumento de demanda para los usos productivos y para la población en general.

Se considera que para el 2015 la demanda de agua para cubrir las necesidades básicas por habitante será de $119.64\text{hm}^3/\text{año}$ y la disponibilidad de agua se calcula aproximadamente en -167.87hm^3 ; para el año 2020, se estima que los valores de demanda y disponibilidad serían 130.86hm^3 y -185.94hm^3 respectivamente. Es decir, el acuífero no tendrá la cobertura suficiente para abastecer a toda la población de los 23 municipios y mucho menos para abastecer al D.F. Es posible que se alcancen niveles piezométricos promedio de 40.93m, en comparación de los 30 metros registrados en el año 2007.

En relación a los requerimientos de volúmenes de agua para los usos domésticos, industrial y agrícola para el año 2020 se calculan alrededor de 349.00Mm^3 (148.80Mm^3 agrícola, 125.45Mm^3 el público y 65.72Mm^3 el industrial), cantidades que presentan una fuerte variación en comparación de los datos históricos (para los años 2005 y 2008 los volúmenes totales registrados eran de 279.10Mm^3 y 297.11Mm^3 , respectivamente).

En contraparte a lo anterior, se puede detectar que quizás no será el uso agrícola el de mayor crecimiento, ya que el número de hectáreas cultivadas está tendiendo a disminuir, tan sólo en el año 2004 el número de hectáreas cultivadas era de 206 y para el año 2006 había disminuido a 169, las proyecciones para el 2020 indican el cultivo de tan sólo 94 hectáreas. Esto proporciona indicios claros acerca del comportamiento futuro más factible de los usos de agua: la disminución de los volúmenes requeridos por el uso agrícola como consecuencia del aumento poblacional y la transformación del suelo agrícola por el industrial y el urbano, seguramente el mayor uso de agua para el intervalo 2010-2020 será el doméstico.

La urbanización del área (producida por el desarrollo económico de la zona y por la cercanía al Distrito Federal), aparte de causar la disminución de hectáreas cultivadas llevará a mayores coberturas en los sistemas de agua potable y alcantarillado, que según las tendencias serían mayores que el promedio nacional para el año 2020, es decir que la población tendrá acceso a infraestructura de agua potable pero de manera restringida, en algunos casos debido a la baja disponibilidad.

La fuerte inmigración de los habitantes del D.F. hacia el valle, debido a los precios “accesibles” de los bienes inmuebles y de consumo ofrecidos en algunos municipios del AVT, reforzará las tendencias de urbanización.

Lo urbano causará también el deterioro de las ciénagas, disminuyendo el paisaje y la biodiversidad, los volúmenes de agua superficial debido a la presencia de fenómenos de desecación antropogénicos.

Dadas las mayores coberturas en alcantarillado, se estima que serán tratadas el 61% y 66% de aguas residuales para los años 2015 y 2020, respectivamente, porcentajes poco significativos si se tiene una cobertura mayor al promedio nacional y considerando que en el año 2005 se trataba el 49% y en el 2008 el 52%. Como se puede observar en el intervalo de los años 2005-2008, tan sólo la mitad o menos de las aguas residuales eran tratadas. Esta falta de tratamiento de las aguas residuales agudiza

la situación de contaminación, lo cual seguirá afectando la salud tanto de los habitantes como de los ecosistemas.

Es altamente probable que el agua subterránea llegue a contaminarse por infiltraciones de aguas residuales o residuos sólidos mediante los agrietamientos, lo que provocaría que el agua extraída sólo pudiera ser utilizada para ciertos usos agrícolas o industriales y no para consumo doméstico, o bien debido a la baja disponibilidad (quitar coma) será necesario recurrir a costosos tratamientos. Es decir que la calidad de agua subterránea se verá afectada por dos situaciones: la primera por la presencia de sales, debido a la extracción a mayores profundidades y por la contaminación de agua superficial.

Los habitantes de los municipios están bajo un riesgo continuo de insalubridad debido a la presencia de enfermedades derivadas de la contaminación, situación que podría agravarse en el futuro de continuar con los comportamientos actuales, lo que puede propiciar la aparición de epidemias gastrointestinales, respiratorias y cutáneas.

Otro peligro inminente en materia sanitaria, es aquel que surge a partir de las inundaciones con aguas negras que pueden ser causadas por el desbordamiento del río Lerma, algunos han sugerido para evitar esta situación que se construya un drenaje profundo o entubamiento del río, si se llegara a concretar esta “solución” puede producirse una contaminación por agua subterránea que debido a la aparición de grietas, en cualquier momento se podrían producir rupturas en el sistema, lo cual provocaría infiltraciones de aguas residuales.

Para contrarrestar la contaminación superficial, es posible que se construyan plantas de tratamiento para los municipios, las cuales seguirán siendo operadas por empresas privadas sin contar con un control estricto del gobierno. Actualmente las empresas que operan las plantas, para bajar sus costos de operación, no utilizan toda su capacidad ni el tratamiento adecuado para la complejidad de contaminación existente en el área, situación que no parece cambiar en un plazo de cinco años, a partir del año 2015, al agudizarse la problemática general del acuífero, es viable que se llegue a tener un mejor control sobre estas empresas por parte del gobierno y de la sociedad.

A continuación se desarrollarán aspectos de las temáticas: gobierno, social, ambiental, participación social informada e inversiones en materia de agua.

Las iniciativas contenidas en los Planes de desarrollo del Estado de México, como de los 23 municipios están centralizadas en lograr un mayor crecimiento económico en la zona, ligado indudablemente al crecimiento poblacional, un ejemplo de estas clases de iniciativas es la construcción del tren suburbano prevista para operar en el año 2015. Este tren enlazará la estación Observatorio en el Distrito Federal con Toluca, pasando por los municipios Lerma y Metepec, otro proyecto previsto es la construcción de una línea que enlace la estación Toluca con Buenavista. Lo anterior, traerá como consecuencias una mayor inmigración poblacional hacia el Valle, debido a las facilidades de movilización.

A pesar de la situación actual del Acuífero y otros recursos, los planes de desarrollo todavía no contemplan un desarrollo basado en lo ambiental y lo sustentable, el Plan de desarrollo del Estado de México, por ejemplo reconoce que en el Estado se encuentran los recursos ambientales con más

deterioro de la República, pero a pesar de esta afirmación, el plan está estructurado en tres pilares: seguridad social, seguridad económica y seguridad pública, donde lo ambiental es tratado dentro del rubro de seguridad económica. Lo anterior evidencia que lo ambiental es y será manejado con una perspectiva económica prioritariamente, en los próximos 10 años.

Si bien es cierto que los planes presentan deficiencias, es quizás la falta de capacidad institucional y normativa existente en el área, la que no logra una gestión sustentable de este acuífero; pues no se crea continuidad en los programas y políticas, las banderas partidistas y sus intereses particulares prevalecen ante el interés y bienestar común. El acuífero ha sido explotado desde los años de mil novecientos setenta y sin embargo sólo se logran concretar soluciones parciales, aisladas y mínimas. La coordinación interinstitucional es también, al parecer, una tarea imposible, personas particulares e instituciones han intentado ejercer acciones de liderazgo sin obtener ningún tipo de éxito.

Y será esta capacidad institucional y normativa un factor decisivo para la aparición de una crisis social violenta y organizada en el intervalo del año 2015-2020, consecuencia de la cuestionable funcionalidad y eficiencia de las instituciones para solucionar la problemática de la disponibilidad de agua y contaminación del área; como resultado las instituciones se verán forzadas a cambiar sus estructuras y formas de operación con el fin de lograr una mayor funcionalidad y eficiencia en la solución de problemas vinculados a este acuífero. Ese cambio estructural forzará a mejorar los mecanismos de participación social de la comunidad.

La capacidad institucional y normativa) está vinculada fuertemente con lo político, por lo que se hace necesario analizar este factor.

En el período 2010-2020 se producirán dos elecciones federales y dos estatales, si bien es cierto que un presidente o un gobernador no decide sobre la situación del Acuífero, los cambios políticos implican cambios de personal, estructura organizacional, y formas de operación de las instituciones de gobierno.

Al parecer en las elecciones del 2012, la temática del agua será abordada únicamente como instrumento político durante el período de elecciones, por los dos candidatos a la presidencia más fuertes, ya que ambos representan intereses en materia de agua contrapuestos y el principal objetivo será nuevamente ganar electores antes que resolver la problemática de este Acuífero.

Si resultara electo el candidato proveniente del Estado de México, se podrían favorecer los arreglos institucionales entre el gobierno del D.F. y el Gobierno del Estado, principalmente en relación a las políticas de saneamiento del Acuífero, aunque no se generaría un avance significativo debido a los intereses económicos de industriales y empresarios, que respaldan a este candidato, se fomentarán más políticas de desarrollo económico y político que ambiental.

Del mismo modo, si el otro candidato se hace ganador de la elección, quizás se favorecerán acuerdos para un mayor beneficio del D.F. que del Estado de México y los avances en saneamiento del acuífero

podrían ser ligeramente mayores que con el otro candidato, por la tendencia en la administración ambiental que se ha dado en el Distrito Federal, pero tampoco el avance será significativo.

Es decir, ni las próximas elecciones Federales como del Estado resultan ser prometedoras para rescatar este Acuífero; quizás serán las futuras elecciones de gobierno y estatales (2017 y 2018), en las cuales la clase política se verá obligada a actuar de una forma efectiva debido a los estados alarmantes que se alcanzarán y a la presión social.

Las entidades de gobierno se quejan a menudo de la falta de recursos para implantar soluciones, la agudización de la problemática de la disponibilidad de agua y contaminación del acuífero, indudablemente requiere de grandes inversiones, que el Estado seguramente no podrá sufragar. Es por ello, que ya la iniciativa privada, sobre todo extranjera ya tiene detectadas las oportunidades de inversión, principalmente en los rubros de extracción, distribución de agua y tratamientos de aguas residuales. Dado lo anterior, tanto a nivel gobierno como privado las inversiones en materia de agua presentaran crecimientos anuales significativos, asimismo los préstamos internacionales también aumentarán con el fin de resolver la situación de sobreexplotación y contaminación, lo que causará un mayor endeudamiento al Estado de México y al país.

Además los mecanismos de privatización que están siendo desde ya aplicados como política gubernamental, son derivados de una tendencia mundial; fuertemente apoyada por Organismos Internacionales (FMI y BID principalmente) y empresas transnacionales preferentemente francesas (Suez y Vivendi), norteamericanas (Bechtel-United Utilities) y españolas.

Como consecuencia de la privatización, los sistemas de tarifas y control pueden ser modernizados e inclusive se puede llegar a colocar medidores “prepagado de agua”. La consecuencia directa de la privatización es el aumento de los costos de agua para los usuarios. En el caso específico del acuífero, se propiciará una mayor apertura de los municipios para dar en concesión el abastecimiento de agua potable y tratamiento de aguas residuales a empresas privadas o particulares.

Actualmente, no se debieran otorgar concesiones a usuarios por primera vez, sin embargo se continúa haciendo a pesar que no hay disponibilidad de agua para ello, lo que provocará que en el futuro cada nueva concesión sea adquirida con otro usuario anterior mediante oficinas de transacción de gobierno, lo que vendrá a crear una especie de oligopolio. Estas oficinas de gobierno, poco a poco pasarán a ser manejadas por entidades privadas.

Otra forma de privatización es el traspaso millonario de concesiones en el mercado negro, para el año 2015 se podrá observar que la mayor parte de concesiones pertenecerán a inmobiliarias e industrias y un menor porcentaje al uso agrícola. Una evidencia que apoya lo anterior es la reducción de hectáreas cultivadas. Otra situación que se podría estar dando desde ya, es que se está comercializando con el agua concesionada para uso agrícola, el número de hectáreas cultivadas tiene tendencia a la disminución pero por el contrario los volúmenes concesionados aumentan, algunos argumentan que este hecho se debe a la tecnificación agrícola, pero hay que recordar que ésta implica un mayor número de hectáreas cultivadas con una disminución de los volúmenes de agua destinados a este uso.

Los hábitos de consumo cambiarán, sobretodo en los sectores menos privilegiados, principalmente en los municipios de Tenango del Valle, Xonacatlán y Oztolotepec, que se han caracterizado por tener los índices más bajos de desarrollo humano y una baja población económicamente activa.

Si se llega a privatizar el agua los conflictos sociales no se harán esperar: debido a que el agua será un recurso escaso en manos privadas con tarifas inalcanzables para la población de niveles bajos de ingreso y que se sitúan en los municipios más pobres.

Independientemente de la privatización del agua, los conflictos sociales también se presentarán porque el agua será un recurso de baja disponibilidad y altamente competitivo, un ejemplo de esta situación serán las fuertes movilizaciones de las comunidades indígenas campesinas que están ubicadas en las partes altas del Valle de Toluca (pueblos mazahuas, otomíes y otros) por la defensa de los recursos naturales de su territorio, asimismo la actitud de no cooperación con el gobierno será fuertemente perceptible.

Las tendencias en inversiones en materia de agua y ambiental han tenido un comportamiento similar, a partir del año 2007 la propensión es hacia el crecimiento anual, aunque cabe destacar que las inversiones en agua, de acuerdo a las tendencias crecerán a una mayor tasa que otras inversiones medioambientales, en el 2020 hasta una tasa de crecimiento de más del 60%. Los préstamos internacionales también aumentarán con el fin de resolver la situación de sobreexplotación y contaminación, lo que causará un mayor endeudamiento al Estado y al país, debido a que no hay suficientes recursos nacionales.

Algunos aspectos puntuales sobre las temáticas de fenómenos extremos, tecnológica, formación y capacitación de capital intelectual se desarrollarán a continuación.

Con relación a los fenómenos extremos en el área se continuarán presentando dos: las inundaciones y los agrietamientos. El cambio climático reforzará las inundaciones ya que seguramente se

incrementarán los niveles de precipitación en el área, asimismo las inundaciones seguirán afectando y poniendo en riesgo a la población, ya que por la alta demanda de bienes inmuebles se continuará construyendo en zonas lagunares.

Si no se toman medidas (actuales y futuras), para evitar y contener esta situación se podrán presentar evacuaciones masivas de poblaciones por inundaciones: debido a que el Valle presenta una alta vulnerabilidad en esta materia, lo que puede ocasionar modificaciones en las tendencias urbanas y poblacionales. La infraestructura no solamente será afectada por las inundaciones, sino también por las grietas que surgirán de manera continua. Incluso los proyectos de trenes suburbanos, pueden ser afectados por estos agrietamientos, tanto en la instalación como operación.

El cambio climático además de provocar mayores niveles de precipitación, también producirá un descenso de niveles de temperatura en las épocas frías y en las épocas calurosas se dará una temperatura más elevada que la actual. El aumento de los niveles de precipitación, no necesariamente debe ser percibido como negativo, por el contrario, si se colocaran las tecnologías apropiadas y si se reforestara, se propiciaría la recarga del acuífero y la utilización de las aguas pluviales para los distintos usos.

También se pueden dar temporadas de sequías sumamente agudas y prolongadas derivadas también del cambio climático, lo cual causaría la reducción de los volúmenes de cuerpos de agua superficial y subterránea en el área bajo estudio y en otras de carácter externo, como es el caso de la presa del sistema Cutzamala (lo cual causaría que el D.F. aumentara sus volúmenes de extracción en el Acuífero Valle de Toluca, generándose una menor oferta de agua para sus municipios).

Desde el punto de vista tecnológico o de ingeniería, soluciones existen y existirán para contrarrestar la sobreexplotación del acuífero. Aunque hay que tener siempre presente la frase: “soluciones complejas, soluciones costosas¹⁰”.

Las soluciones que seguramente se implantarán en el transcurso 2010-2015, serán la recarga artificial del acuífero, así como la aplicación de normativas y tecnologías para la captación de aguas pluviales, así como el tratamiento de aguas residuales en los usos doméstico, industrial y agrícola. A partir del año 2015 (quitar coma) es posible que se empiece a utilizar tecnología para tratamiento de agua residual de manera particular, lo que afectará el consumo, extracción y formas de vida.

¹⁰ Frase que se infiere de un experto consultado para este ejercicio, el afirma que para los problemas de carácter técnico de este acuífero: sobreexplotación y contaminación, la solución tecnológica no es el problema sino el costo de la misma.

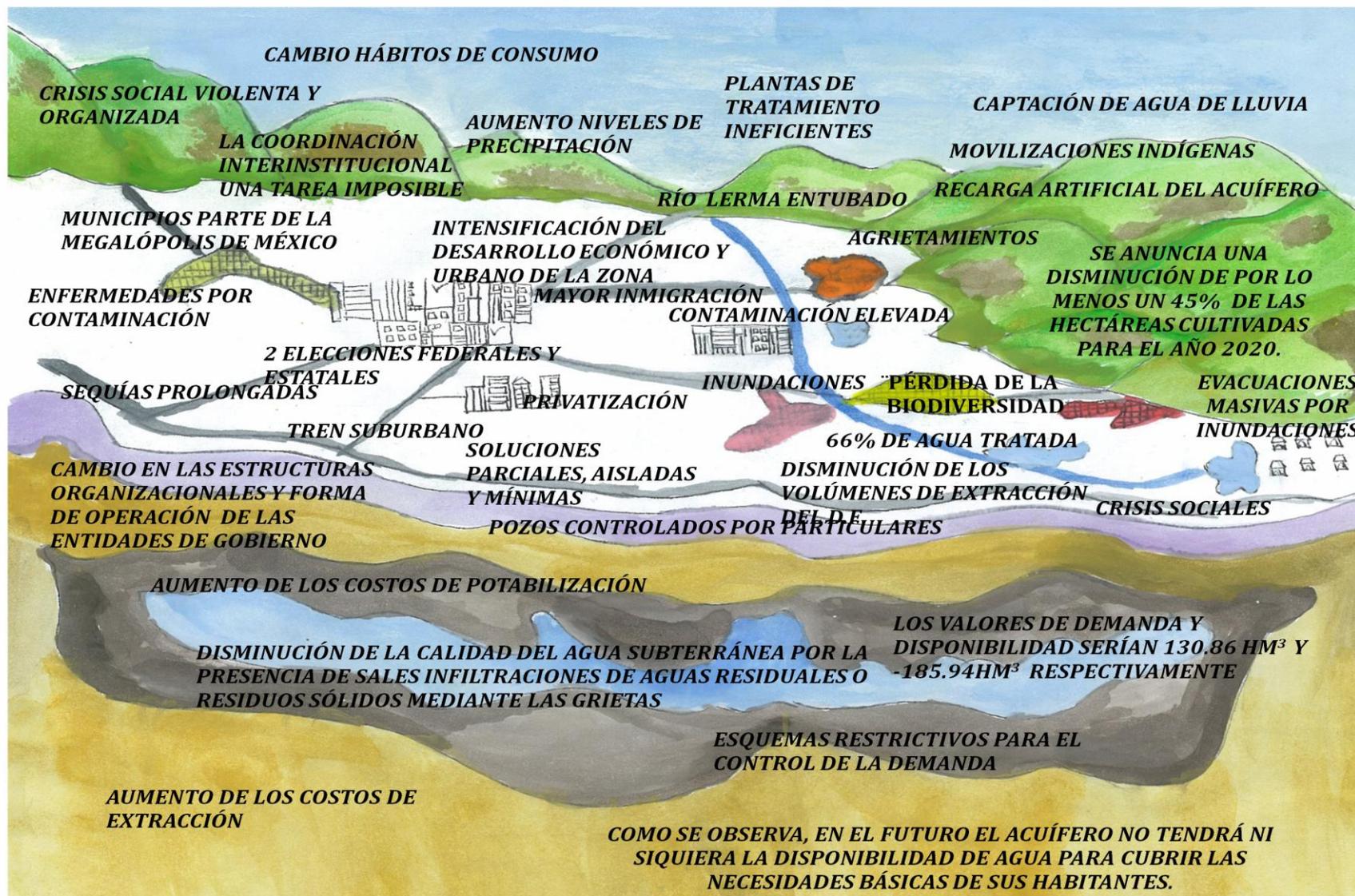
Otro proyecto aunque no con una relación directa con el acuífero, es que al darse la instalación de la megaplanta de Atotonilco para el tratamiento de más del 60% de las aguas residuales de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México, se haga una reutilización de las mismas lo que puede contribuir a la reducción del agua extraída por el D.F.

Se ha propuesto convertir las ciénagas en parques recreativos con el fin de proteger la biodiversidad del lugar, (quitar y) generar ingresos por turismo y crear ambientes urbanísticos agradables, este proyecto seguirá siendo inoperable, debido a que representa una alternativa diferente, que contradice los esquemas tradicionales de solución (que se refieren a la construcción de grandes obras de infraestructura).

En lo que respecta a la formación y capacitación de capital intelectual futuro, se verá la necesidad de capacitar recurso humano en materia de recarga, gestión administrativa del agua, tecnología pluvial y manejo de riesgos ambientales.

La ilustración No. 30, resume de manera esquemática los aspectos más relevantes de los distintos escenarios desarrollados.

Ilustración 30. AVT al 2020



Conclusiones

1. De acuerdo con el análisis de la situación actual, se puede concluir que el desarrollo económico, el crecimiento poblacional, la cercanía de esta región con el D.F., conjuntamente con la deficiente labor de planeación e implantación de las instituciones de gobierno, académicas y privadas para lograr el rescate y uso sustentable del mismo, unido al bajo perfil y poca participación de la sociedad, la carencia de recursos y su gestión inadecuada; así como la desvinculación de las instituciones de los ámbitos federales y estatales, son los principales causantes del deterioro actual de este Acuífero. Lo anterior está fuertemente ligado con luchas de carácter político, institucional y partidistas que provocan la falta de continuidad en planes y programas.

2. Se generaron tres escenarios: el primero basado únicamente en pronósticos, el segundo con base en la opinión de expertos y el último que conjunta ambos enfoques; todos los escenarios indican una agudización de la misma problemática, sin que existan evidencias de mejora o de rescate para el Acuífero Valle de Toluca; las tendencias muestran comportamientos pesimistas y no reflejan puntos de inflexión para cambiar el curso actual.

3. Actualmente, el acuífero no tiene la disponibilidad para cubrir las necesidades básicas y recomendadas de agua de toda la población, de ahí que en un futuro próximo esta situación se agudizará debido al elevado crecimiento poblacional de la región.

4. La privatización es uno de los principales factores que va a incidir fuertemente en el futuro de este acuífero. Hay dos situaciones que pueden ser un reflejo de la privatización de agua en el área: la primera es que se visualiza un descenso de las hectáreas cultivadas en la región y a pesar de ello, los volúmenes concesionados para el uso agrícola tienden a seguirse incrementando, lo que parece ser un indicio de la comercialización privada de agua que pueden realizar o realizarán estos usuarios. La segunda es la existencia de un fuerte interés tanto de la iniciativa privada mexicana como europea (principalmente española) en realizar inversiones en la región y en el país en materia hídrica. El interés por invertir en este sector se sustenta en que el gobierno no tendrá los recursos necesarios para resolver la problemática de agua futura y como el agua es un bien esencial para la vida humana los niveles de venta están prácticamente “asegurados”. Las principales áreas de oportunidad detectada por los sectores privados son el abastecimiento de agua potable y tratamiento de aguas residuales. Asimismo la iniciativa privada mexicana argumenta que ya posee una desventaja en comparación de sus competidores extranjeros para invertir, debido a cuestiones relacionadas con el capital. Lo anterior) es alarmante, ya que en los próximos años el agua dejará de ser administrada por los gobiernos locales y será controlada por grandes corporaciones nacionales y extranjeras y en

algunos casos por medianos empresarios. Esto va a provocar que las tarifas se eleven considerablemente y el recurso será caro, escaso y fuertemente competitivo; los pobladores más afectados serán aquellos de los municipios con el menor ingreso per cápita y menores índices de desarrollo humano. Lo anterior, seguramente se convertirá en un detonante de crisis sociales.

5. El cambio climático es otro aspecto que será de gran relevancia futura, ya que se puede afirmar con una alta probabilidad que se presentarán sequías e inundaciones. Uno de los panoramas más desalentadores sería la presencia de una sequía en el Sistema Cutzamala y en el Acuífero Valle de Toluca al mismo tiempo, lo cual afectaría los niveles de abastecimiento del Distrito Federal y de la demanda local. Asimismo se presentará un incremento de los niveles de precipitación, lo cual se traducirá en un mayor número de inundaciones y se deberán controlar sobre todo aquellas que involucren aguas negras.

6. Desde el punto de vista de la ingeniería, la implantación de tecnologías de recarga, captación de agua de lluvia y tratamiento de aguas residuales, así como esquemas de contaminación-pago (multas elevadas de acuerdo a lo que se contamina) son suficientes para revertir las tendencias futuras de este acuífero, la principal limitación proviene de los altos costos que implican estas soluciones y de la falta de una gestión gubernamental eficiente.

7. La metodología empleada en este trabajo para la generación de escenarios, que utiliza datos cuantitativos y cualitativos proporciona un conocimiento más profundo, en comparación con las metodologías que manejan únicamente datos cuantitativos y sus proyecciones. Los escenarios únicamente basados en pronósticos no abordan las temáticas relativas a la formación y capacitación de capital intelectual, participación social informada, aspectos sociales (estilos de vida-pobreza-desigualdad), gobierno (estructuras de poder y funcionalidad institucional-nivel de conflictos del agua-globalización). Lo anterior se puede afirmar por el hecho de que no existe información sobre indicadores y variables diseñadas para cuantificar estos aspectos debido a su naturaleza cualitativa.

8. La revisión de literatura realizada por Von der Gracht (1) indica que un ejercicio Delphi debe incluir de 20-30 participantes. En el estudio participaron 11 expertos; es decir, no se cubrió la cantidad recomendada para esta clase de ejercicio. Entre las causas que provocaron una baja participación, se puede mencionar que algunos expertos evitan comprometerse con sus opiniones, dada la naturaleza delicada del problema que represente el Acuífero Valle de Toluca, y no se puede dejar de lado una interferencia política, puesto que muchos de los convocados fueron funcionarios de gobierno; otra razón de ausencia de expertos se debe a las múltiples ocupaciones de los mismos, sobre todo de los académicos.

9. Durante el ejercicio se identificó que uno de los principales problemas para la aplicación de la metodología propuesta para el desarrollo de escenarios, fue la dificultad de obtener información completa y actualizada. Esta realidad afecta de manera general la planeación (la información es una función básica de la misma) y si se parte de datos insuficientes o peor aún erróneos, se puede caer en la proposición de acciones que no conduzcan a las soluciones adecuadas en el contexto del Acuífero Valle de Toluca.

10. A partir del análisis realizado en este trabajo y los escenarios obtenidos se puede concluir que lograr el uso sustentable del acuífero en cuestión, depende más, aparentemente, de razones de liderazgo, gestión política y participación social que de soluciones tecnológicas o de ingeniería.

Recomendaciones

1. El trabajo presentado, únicamente es una primera aproximación de escenarios para este acuífero, se sugiere continuar trabajando ampliamente en esta temática, sobre todo reforzando las perspectivas sociales y de salud.
2. Se debe fomentar el uso de escenarios basados en datos cuantitativos y cualitativos en materia hídrica, ya que la mayoría de escenarios generados en este ámbito únicamente se limitan a proyecciones cuantitativas de variables básicas.
3. Con respecto a la elaboración de pronósticos dentro del contexto hídrico, se presentan las siguientes limitaciones: a) la carencia de datos, b) baja confiabilidad de los mismos y c) pocos datos que no permiten hacer proyecciones en el largo plazo. Es por ello, que es necesario desarrollar técnicas de pronóstico especializadas que puedan utilizarse en estos casos.
4. Se deben crear sistemas de información gubernamentales, para visualizar datos provenientes de diversas instituciones de gobierno y académicas de una manera integrada. En el caso hídrico se deben generar datos acerca de aspectos económicos, sociales y técnicos vinculados a cada recurso hídrico en particular.
5. Se sugiere seguir investigando sobre la temática de escenarios en diferentes ámbitos, con el fin de lograr metodologías adecuadas para el medio mexicano y si es posible latinoamericano.
6. Es necesaria una depuración y actualización de las bases de datos existentes, asimismo se deben crear sistemas de medición automatizados de los principales recursos hídricos del país.
7. Se debe fomentar un fuerte interés de investigación por parte de las instituciones académicas en la temática de los sistemas de información en ámbitos gubernamentales, y en particular en la temática hídrica ya que a partir de ellos se realiza la planeación del país.

Bibliografía

1. H. Niccolas. *Aplicacion de la matriz de impactos cruzados en procesos electorales del estado de Hidalgo: desarrollo de la herramienta de software: KSIM-IMPACT 99*: Tesis Maestria en Ingeniería de Sistemas. Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México. 2000.
2. **World water crisis Letter to the editor**: Journal of Membrane Science(313), 2008.
3. **Tribunal Latinoamericano del Agua**. [En línea] [Citado el: 31 de marzo de 2010.] <http://www.tragua.com/index.html>.
4. **Comisión Nacional del Agua**. *Programa Nacional Hídrico 2007-2012*, 2008.
5. **Comisión Nacional del Agua**. *Estadísticas del Agua en México*, 2008.
6. **Comisión Nacional del Agua**. *El Agua en México*, 2006.
7. **Comisión Nacional del Agua**. *Estadísticas del agua, edición 2010*.
8. **CONAGUA-GTZ**. *Informe Final Plan de Manejo de la Cuenca del Río Lerma en el Valle de Toluca*, 2008.
9. **CONAGUA** . *Registro Público de Derechos de Agua (REPDA)* [Base de datos], 2008.
10. **Sistema de Aguas de la Ciudad de México (SACM)**. *Estudio de los Niveles estáticos y dinámicos de los acuíferos del Valle de Toluca para la interpretación del abatimiento que ha presentado los acuíferos del Valle de Toluca, Ixtlahuaca-Atlacumulco en los últimos 50 años*, 2007.
11. **Diario Oficial de la Federación**. *Actualización del balance hídrico*, 28 de agosto de 2009.
12. **J.B.M. Theo, F. Liebl**. *How to improve scenario analysis as a strategic management tool?*, Technological Forecasting & Social Change (72) (2005) 161–173.
13. **O.Therond, et al**. *Methodology to translate policy assessment problems into scenarios: the example of the SEAMLESS integrated framework*, Environmental science & policy (12) (2009) 619-630.
14. **K. Schilling**. **Universities council of water resources**. [En línea] [Citado el: 6 de Octubre de 2009.] www.ucowr.siu.edu/updates/pdf/V111_A9.pdf .
15. **United Nations World Water Assessment Programme**. *Building a 2nd Generation of World Water Scenarios*, 2009.
16. **T. Chermack, Walton, J**. *Scenario planning as a development and change*, Int. J. Agile Systems and Management, (1) (2006) 46-59.
17. **T. Miklos, Tello Ma**. *Planeación Prospectiva: Una estrategia para el diseño del futuro*. Limusa, 1994.
18. **R. Bradfield, et al**. *The origins and evolution of scenario techniques in long range business planning*, Futures (37) (8) (2005) 795-812.
19. **T. Chermack**. *Studying scenario planning: Theory, research suggestions, and hypotheses*, Technological Forecasting & Social Change (72) 59-73.
20. **K. Van Der Heijden**. *Escenarios: El Arte de prevenir el futuro*. Panorama Editorial, México, 1998, pp. 324.
21. **L.Börjeson, et al**. *Scenario types and techniques: Towards a user's guide*, Futures (38) (2006) 723-739.

22. **G.Sánchez.** *LA TÉCNICA DE LOS ESCENARIOS EN EL PROCESO DE TOMA DE DECISIONES Y PLANEACIÓN* [CD-ROM], ICA, 2003.
23. **P. Van Notten.** *An updated scenario typology*, *Futures* (35) (2003) 423-443.
24. **H. DE JOUVENEL** *A Brief Methodological Guide to Scenario Building*, *Technological Forecasting and Social Change*, (65) (2000) 37–48 .
25. **GODET, MICHEL.** *The Art of Scenarios and Strategic Planning: Tools and Pitfalls*, *Technological Forecasting and Social Change*, (65) (2000) 3–22.
26. **F.A. O'Brien.** *Scenario planning—lessons for practice from teaching and learning*, *European Journal of Operational Research* (152)(2004) 709–722.
27. **G. Sánchez, R. de León.** *Dificultades para la elaboración de escenarios en el sector hídrico en México: El caso del Acuífero Valle de Toluca.* Monterrey , México : s.n., 2010. Memorias XIV CONGRESO INTERNACIONAL DE LA ACADEMIA DE LAS CIENCIAS ADMINISTRATIVAS (ACACIA).
28. **W.Stephens,T.Hess.** *Systems approaches to water management research*, *Agricultural Water Management* (40) (1999) 3-13.
29. **Makridakis, Spyros y Wheelwright, Steven.** *Studies in the Management Sciences, Forecasting.* North-Holland Publishing Company, Amsterdam, 1979, 392 pp.
30. **J. Landeta.** *Current validity of the Delphi method in social sciences*, *Technological Forecasting & Social Change* (73) (2006) 467–482.
31. **H. Linstone, M. Turoff.** *The Delphi Method: Techniques and applications*, Addison Wesley, Montreal, 1979, pp. 620.
32. **C. Soto** *Escenarios para la industria petrolera empleando el método de matrices de impacto cruzado:* Tesis Maestría en Energía, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México, 2009.
33. **D. Mercer.** *Simpler scenarios*, *Management Decision* (33) (4) (1995) 32-40
34. *Reserva de Investigación Estuarina.* [En línea] Universidad de Puerto Rico. [Citado el: 23 de 11 de 2009.] <http://ctp.uprm.edu/jobos/educacion/acuiferos.html>.
35. **UNESCO.** *Tipos de Acuíferos* [En línea] [Citado el: 23 de 11 de 2009.] <http://www.unesco.org/uy/phi/libros/libroPIEB/1-3.html>.
36. **Gobierno del Estado de México.** [En línea] [Citado el: 1 de Diciembre de 2009.] Fuente: <http://www.edomex.gob.mx/caem>.
37. **A. Sandoval** *Problemas en la Participación Social y consenso para el plan de manejo del Acuífero del Valle de Toluca.* [En línea] [Citado el: 08 de 07 de 2009.] http://www.ine.gob.mx/descargas/cuencas/cong_nal_06/tema_02/02_adriana_sandoval.pdf.
38. **S. Cedillo.** *Evaluación del efecto genotóxico en aguas superficiales de la cuenca alta del curso alto del río Lerma en las células marismáticas de la raíz de Vicia faba :* Tesis Maestría en Biología Experimental, Universidad Nacional Autónoma de México, 2002.
39. **Gobierno del Estado de México.** [En línea] [Citado el: 16 de 02 de 2010.] <http://www.edomexico.gob.mx/atlasdeinundaciones/htm/presentacion.htm>.
40. **H. Chaves, S. Alipaz.** *An Integrated Indicator Based on Basin Hydrology,Environment, Life and Policy: The Watershed Sustainability Index.* *Water Resources Management* (25) (2007) 883–895.
41. **UNESCO.** *Evaluación Preliminar de la aplicación y cálculo del Índice de Sostenibilidad de Cuenca en la Cuenca Hidrográfica del Canal de Panamá.* Montevideo: Programa Hidrológico Internacional, 2008.
42. **G.C.Gallopín, F. Rijsberman** *Three global water scenarios*, *Int. J. Water* (1) (2000) 16-40.

43. **CONAGUA.** *Zonas de Reserva de agua potable para la ciudad de Toluca 2030.* México, 2003.
44. **Centro de Estudios del Sector Privado para el Desarrollo Sustentable.** *Eficiencia y uso sustentable del Agua en México: participación del sector privado.* México, 1998, pp.18.
45. **ICEX, Oficina Económica y Comercial de España en México: España- México: Foro de Inversiones y Cooperación Empresarial.** [En línea] [Citado el: 6 de Agosto de 2010.] http://www.icex.es/servicios/documentacion/documentoselaborados/icex/pdfs/676_mexico-medio-ambiente.pdf.
46. **Organismo de Cuenca Lerma-Santiago-Pacífico.** *Formulación del Programa Hídrico por Organismo de Cuenca, Visión 2030, de la Región Hidrológico-Administrativa VIII, Lerma-Santiago-Pacífico. INTEGRACIÓN DEL PROGRAMA HÍDRICO REGIONAL.* México, 2006.
47. **O. Escolero, et al.** *Vulnerabilidad de las fuentes de abastecimiento de agua potable de la Ciudad de México en el contexto del cambio climático.* Instituto de Ecología, Universidad Nacional Autónoma de México, 2009, pp. 169.
48. **M. Ysunza,** *Escenarios Futuro de la Agricultura en México: Un referente para el perfil del Ingeniero Agrónomo,* Sociedades Rurales, Producción y Medio Ambiente (Universidad Autónoma Metropolitana UAM), (2) (2001) 31-42.
49. **Revista Obras.** *Operación Líquida.* CNN, México, 2009.
50. **H. von der Gracht, I. Darkow.** *Scenarios for the logistics services industry: A Delphi-based analysis for 2025,* Int. J. Production Economics (127) (2010) 46–59
51. **The United Nations World Water Development.** *Water in a Changing World. Report.* Londres, 2009.
52. **B. Appelgren, W. Klohn.** *Management of Water Scarcity Management of Water Scarcity: A focus on social Capacities and Options,* Phys. Chem. Earth, (24)(4)(1999) 361-373
53. **A. Stikker.** *Water Today and Tomorrow,* Futures (30)(1)(1998) 43-62
54. **F. Rijsberman.** *Water scarcity: Fact or fiction?,* Agricultura Water Management (80)(2006) 5-22
55. **Sistemas de Aguas del Valle de México.** *Estudio de los niveles estáticos y dinámicos de los acuíferos del Valle de Toluca para la interpretación del abatimiento que ha presentado los acuíferos del Valle de Toluca, Ixtlahuaca-Atacomulco en los últimos 50 años,* 2007.
56. **J. Mejía** *La práctica de la planeación en las administraciones públicas municipales: La experiencia mexicana,* Gestión y Política Pública (1) (1992) 157-174.
57. **The Global Water Partnership-The International Network of Basin.** *A Handbook for Integrated Water Resources Management in Basins.* [En línea] [Citado el: 30 de septiembre de 2009.] <http://www.riob.org/gwp/handbook/GWP-INBOHandbookForIWRMinBasins.pdf>.
58. **J. Durhamb, T. Bruce.** *Integrated Water Resource Management: looking at the whole picture.* Desalination(156) (2003) 21-28.
59. **J. Matondo, Jonathan.** *A comparison between conventional and integrated water resources planning and management,* Physics and Chemistry of the Earth (27) (2002) 831–838.
60. **Manual de Gestión Integrada del Recurso Hídrico.** Global Water Partnership. [En línea] [Citado el: 30 de agosto de 2009.] www.gwpforum.org/gwp/library/IWRM_manual_Spanish.pdf .
61. **G. Wright.** *Scenario planning interventions in organizations: An analysis of the causes of success and failure,* Futures (40) (3) 218-236.
62. **R. Freund, et al.** *Regression Analysis: Statistical Modeling of a Response Variable.* Elsevier, San Diego, 2006 pp. 460

-
63. **Conceptos de Hidrología.** Universidad Politécnica de Cataluña [En línea] [Citado el: 30 de julio de 2009.] <http://upcommons.upc.edu/pfc/bitstream/2099.1/3407/5/41239-5.pdf>
64. **Universidad Nacional Autónoma de México-CONAGUA,** Informe Final Proyecto Emblemático Plan de Manejo de la Cuenca del Acuífero Valle de Toluca [cd.], 2009.
65. **Christian Chávez.** El metabolismo de la privatización del agua. [En línea] [Citado el: 21 de mayo de 2010] <http://www.lajornadajalisco.com.mx/2009/11/01/index.php?section=opinion&article=004a1pol>

Anexos

Anexo A. Pronósticos

Cobertura de agua potable y alcantarillado

COBERTURA DE AGUA POTABLE								
	valor	simple	doble	valor a	valor de b	valor pronosticado	e	e ²
1990	84.26	84.26	84.26					
1995	89.77	87.01	85.64	88.39	1.37		2.76	7.59
2000	91.18	89.97	87.81	92.14	2.16	89.77	1.21	1.452
2005	91.94	90.96	89.38	92.53	1.57	94.31	0.98	0.96
2010						94.11		2.501
2015						95.69		
2020						97.27		
COBERTURA DE ALCANTARILLADO								
	valor	simple	doble	valor a	valor de b	valor pronosticado	e	e ²
1990	68.61	68.61	68.61					
1995	81.35	74.98	71.79	78.16	3.18			
2000	81.45	78.21	75.00	81.42	3.21	81.35	0.10	0.01
2005	89.04	83.62	79.31	87.93	4.31	84.64	4.40	19.4
2010						92.25		
2015						96.56		
2020						100.87		

Disponibilidad de agua

DATOS REALES			DATOS PRONÓSTICOS			
			TÉCNICA DE BROWN		REGRESIÓN LINEAL	
1970	-13.8		1	-218.24	2011	-153.47
1996	-85.6		2	-284.07	2012	-157.07
2008	-152.510919		3	-349.90	2013	-160.66
			4	-415.73	2014	-164.26
			5	-481.56	2015	-167.87
					2016	-171.48
					2017	-175.09
Brown	SSE=89.69	$\alpha=0.5$			2018	-178.70
Regresión Lineal	SSE=324.50	$R^2=0.967$			2019	-182.32

2020	-185.94
-------------	---------

Disponibilidad de agua y población

AÑO	HECTÓMETROS CÚBICOS ANUALES DE CONSUMO	LÍMITE INFERIOR	LÍMITE SUPERIOR	HECTÓMETROS CÚBICOS ANUALES RECOMENDADOS	DISPONIBILIDAD DE AGUA ANUAL EN HECTÓMETROS CÚBICOS
2011	255.36	195.44	315.28	111.03	-153.47
2012	260.24	199.63	320.86	113.15	-157.07
2013	265.17	203.83	326.52	115.29	-160.66
2014	270.15	208.04	332.25	117.45	-164.27
2015	275.16	212.27	338.06	119.64	-167.87
2016	280.24	216.52	343.95	121.84	-171.48
2017	285.35	220.78	349.91	124.07	-175.09
2018	290.52	225.06	355.96	126.31	-178.70
2019	295.73	229.37	362.08	128.58	-182.32
2020	300.98	233.68	368.29	130.86	-185.95

Enfermedades de origen hídrico

DATOS REALES		PRONÓSTICOS			
2005	135.11	2009	129.50	2017	128.61
2006	119.22	2010	129.38	2018	128.51
2007	103.63	2011	129.27	2019	128.40
2008	108.54	2012	129.16	2020	128.29
Técnica de Brown		2013	129.05		
e²=1435.71		2014	128.94		
α=0.02		2015	128.83		
		2016	128.72		

Hectáreas cultivadas

DATOS REALES		PRONÓSTICOS TÉCNICA DE BROWN			
2004	205.21	2007	163.76	2014	125.74
2005	147.04	2008	158.33	2015	120.31
2006	168.12	2009	152.90	2016	114.87
e²=35.65		2010	147.47	2017	109.44
α=0.3		2011	142.03	2018	104.01
		2012	136.60	2019	98.58
		2013	131.17	2020	93.15

Inversiones en agua

DATOS REALES		PRONÓSTICOS TÉCNICA DE BROWN			
2004	38.37	2007	124.74	2014	204.09
2005	158.35	2008	136.07	2015	215.43
2006	116.33	2009	147.41	2016	226.76
$e^2=35.65$		2010	158.75	2017	238.10
$\alpha=0.3$		2011	170.08	2018	249.44
		2012	181.42	2019	260.77
		2013	192.75	2020	272.11

Inversiones en medio ambiente

DATOS REALES		PRONÓSTICOS TÉCNICA DE BROWN			
2004	6.57	2007	6.77	2014	6.84
2005	8.29	2008	6.78	2015	6.85
2006	6.14	2009	6.79	2016	6.86
$e^2=59.57$		2010	6.80	2017	6.87
$\alpha=0.1$		2011	6.81	2018	6.88
		2012	6.82	2019	6.89
		2013	6.83	2020	6.90

Población

AÑO	POBLACIÓN	AÑO	POBLACIÓN CONAPO
1853	219262	2010	2216000
1893	287000	2011	2257384
1950	361466	2012	2298288
1960	442928	2013	2338699
1970	623290	2014	2378624
1980	946052	2015	2418069
1990	1257043	2016	2457060
1995	1511434	2017	2495590
2000	1743704	2018	2533636
2005	1928044	2019	2571173
		2020	2608196

Producto Interno Bruto

DATOS HISTÓRICOS			PROYECCIONES				
año	Cúbica	Logística	año	Cúbica	LI	Logística	LS
2000	32636.42	32636.42	2008	41981.48	37152.30	42224.88	47454.07
2001	33625.47	33625.47	2009	43303.56	38127.02	43772.89	49606.26
2002	33392.58	33392.58	2010	44626.97	39061.54	45377.64	51907.26
2003	32771.67	32771.67	2011	45951.69	39963.77	47041.22	54358.26
2004	36133.37	36133.37	2012	47277.73	40840.16	48765.80	56961.45
2005	38575.33	38575.33	2013	48605.09	41695.86	50553.59	59720.12
2006	40404.91	40404.91	2014	49933.77	42534.94	52406.93	62638.58
2007	40874.72	40874.72	2015	51263.77	43360.60	54328.22	65722.08
			2016	52595.09	44175.37	56319.94	68976.70
			2017	53927.73	44981.23	58384.68	72409.29
			2018	55261.70	45779.79	60525.11	76027.44
			2019	56596.98	46572.32	62744.01	79839.38
			2020	57933.59	47359.86	65044.27	83854.04
Cúbica: $R^2=0.866$ SSE= 11.28 (miles de millones de pesos)							
Logística: $R^2=0.865$ SSE=10.34 (miles de millones de pesos)							
Intervalo de confianza al 95%							

Niveles piezométricos

DATOS REALES							AÑO	REGRESIÓN LINEAL	BROWN
1968	16.8	1983	31.25	1998	33.95	33.95	2011	38.03	35.23
1969	20.18	1984	31.84	1999	34.09	34.09	2012	38.35	35.58
1970	21.91	1985	31.81	2000	33.95	33.95	2013	38.68	35.93
1971	22.89	1986	31.75	2001	34.17	34.17	2014	39.00	36.28
1972	24.16	1987	31.42	2002	33.2	33.2	2015	39.32	36.63
1973	25.04	1988	31.38	2003	33.55	33.55	2016	39.64	36.97
1974	26.24	1989	31.83	2004	33.36	33.36	2017	39.97	37.32
1975	26.96	1990	32.13	2005	33.01	33.01	2018	40.29	37.67
1976	27.48	1991	32.29	2006	33.51	33.51	2019	40.61	38.01
1977	28.1	1992	32.5				2020	40.93	38.36
1978	28.4	1993	33.28						
1979	28.9	1994	33.17		Regresión lineal	Brown	Brown SSE=8.08 $\alpha=0.7$	Regresión lineal SSE=157.71 $R^2=0.774$	

Tasa de crecimiento

AÑO	TASA DE CRECIMIENTO	AÑO	TASA DE CRECIMIENTO CONAPO
1893	30.89	2011	1.86
1950	25.94	2012	1.81
1960	22.53	2013	1.75
1970	40.72	2014	1.70
1980	51.78	2015	1.65
1990	32.87	2016	1.61
1995	20.23	2017	1.57
2000	15.36	2018	1.53
2005	10.57	2019	1.48
		2020	1.44

Volúmenes concesionados

	VOLÚMENES TOTALES	VOLÚMENES AGROPECUARIOS	ABASTECIMIENTO PÚBLICO	ABASTECIMIENTO INDUSTRIAL	
2005	279.10	122.97	118.27	37.85	Datos Reales
2006	287.81	131.59	118.30	37.90	
2007	316.11	131.29	141.71	43.09	
2008	297.11	131.26	121.89	43.94	
2009	306.19	133.097	122.98	45.79	Pronósticos
2010	310.09	134.52	123.21	47.60	
2011	313.98	135.95	123.43	49.41	
2012	317.89	137.37	123.66	51.22	
	VOLÚMENES TOTALES	VOLÚMENES AGROPECUARIOS	ABASTECIMIENTO PÚBLICO	ABASTECIMIENTO INDUSTRIAL	
2013	321.78	138.80	123.88	53.03	
2014	325.68	140.23	124.10	54.84	
2015	329.58	141.66	124.33	56.65	
2016	333.48	143.08	124.55	58.46	
2017	337.38	144.51	124.78	60.28	
2018	341.28	145.94	125.00	62.09	
2019	345.18	147.36	125.22	63.90	
2020	349.08	148.79	125.45	65.71	
e ²	1109.61	3.31	550	65.71	
α	0.4	0.4	0.1	0.1	

Volúmenes concesionados SACM

AÑO	BROWN	AÑO	BROWN	REGRESIÓN LINEAL
1993	210.08	2008	134.88	158.31
1994	215.45	2009	125.66	153.12
1995	218.17	2010	116.45	147.92
1996	215.34	2011	107.22	142.72
1997	227.15	2012	98.00	137.51
1998	221.71	2013	88.78	132.3
1999	218.64	2014	79.56	127.08
2000	222.08	2015	70.34	121.86
2001	221.58	2016	61.12	116.63
2002	201.99	2017	51.90	111.4
2003	183.94	2018	42.68	106.16
2004	169.28	2019	33.45	100.91
2005	171.70	2020	24.24	95.66
2006	172.17			
2007	124.77			
Brown	Regresión			
SSE=6210.18	R²=0.626			
α=0.5	SSE=4432.02409			

Volumen de aguas residuales generado y tratado

	VOL. TRATADO (REGRESIÓN)	VOL. TRATADO (BROWN)	VOLUMEN DE AGUAS RESIDUALES INDUSTRIALES Y DOMÉSTICAS.
2005	53.62	53.62	109.28
2006	54.56	54.56	109.35
2007	60.65	60.65	129.37
2008	60.65	60.65	116.09
2009	64.50	62.80	117.40
2010	67.64	64.72	118.16
2011	70.93	66.64	118.92
2012	74.39	68.55	119.68
2013	78.01	70.47	120.44
2014	81.81	72.39	121.20
2015	85.79	74.30	121.96
2016	89.97	76.22	122.72
2017	94.35	78.14	123.48
2018	98.94	80.05	124.24
2019	103.76	81.97	125.00
2020	108.81	83.88	125.76
	Regresión logística	SSE=37.14	SSE=401
	R²=0.852	α =0.6	α =0.2
	SSE=6.68		

Anexo B: Técnica Delphi Ronda 1

Plataforma

1. Acceso

Para acceder al sistema y subir archivos al mismo, debe estar registrado como usuario. El nombre de usuario y contraseña le serán proporcionados por el administrador del sitio, vía correo electrónico. Al ingresar a la siguiente dirección

http://esistemas.fi-p.unam.mx/Acuifero_Valle_Toluca/moodle/login/index.php

Aparecerá una ventana como la que se muestra a continuación. (Ilustración 1), en la misma ventana ingrese su usuario y contraseña.

En caso de olvido de nombre de usuario o contraseña, contacte a soporte técnico por medio del siguiente correo: lupisfi@yahoo.es



Figura 1. Registro de Usuarios

2. Página Inicial

Una vez que haya ingresado al sistema, éste le mostrará nuevamente la página de inicio (figura 2), en la que para entrar al sitio habrá que dar un clic sobre el vínculo escenarios Acuífero Valle de Toluca al 2020.

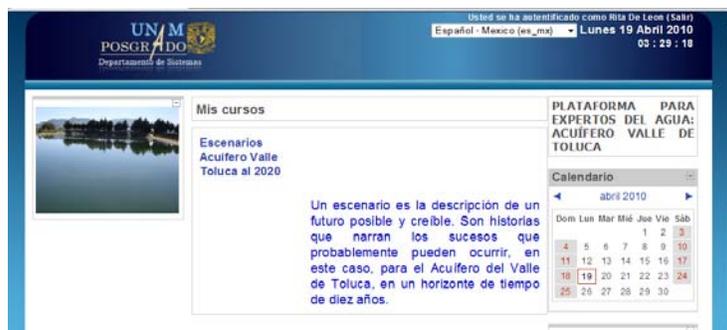


Figura 2. Acceso a la carpeta escenarios

3. Diagrama de Temas

Se ingresa al sitio (dando clic sobre el vínculo) se presenta una página como la que se muestra a continuación. (Figura 3)



Figura 3. Acceso al contenido.

4. Material de apoyo

Si se da un clic al vínculo del sitio Material de apoyo donde aparecerán los archivos agenda estadística y material de apoyo; y al darle clic en cada uno se procederá a la descarga de los mismos (Figura 4), se procede a abrir o guardar el archivo según su consideración.

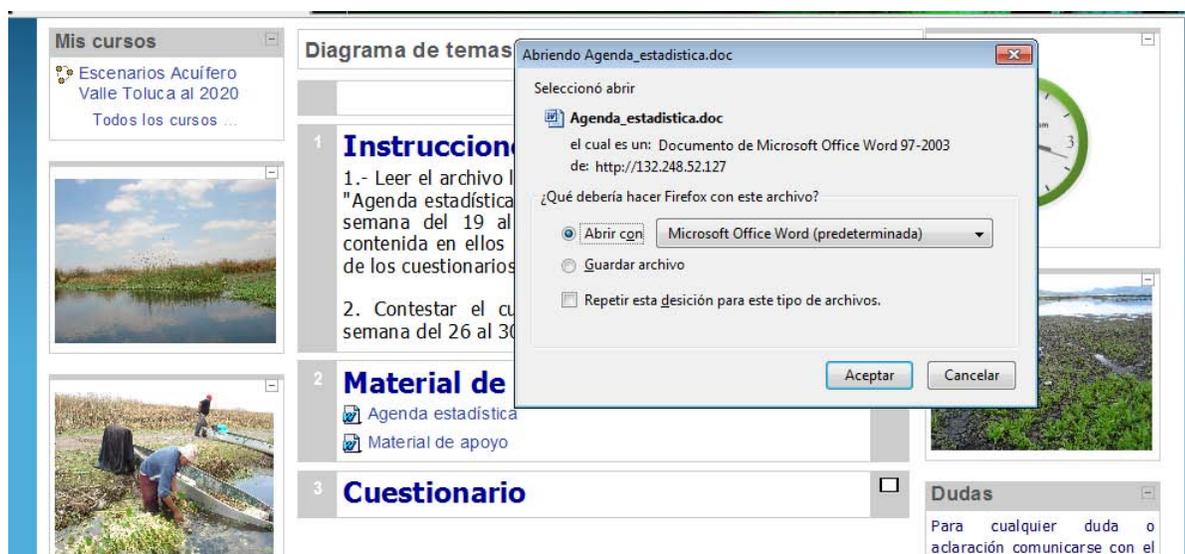


Figura 4. Acceso al material de apoyo

Agenda Estadística

La siguiente información es un esfuerzo para presentar de manera sucinta la situación actual que presenta el acuífero Valle de Toluca y está a su disposición con el propósito de que usted tenga un marco de referencia actualizado de la situación.

Macrolocalización. El Acuífero del Valle de Toluca se localiza en el Estado de México, es uno de los ocho en el Estado de México, y uno de los 37 en toda la cuenca hidrológica Lerma-Chapala. Está situado dentro de la Cuenca Alta del Río Lerma, al sur del Altiplano Mexicano y limitado al Norte por el acuífero de Atlacomulco-Ixtlahuaca, al Sur por el cerro de Tenango, al Sur-Poniente del Volcán Nevado de Toluca y al Oriente por la Sierra de las Cruces y Monte Alto respectivamente, cubre un área total aproximada de 2,738 km². Abarca el 12.17% del territorio con que cuenta el Estado de México.

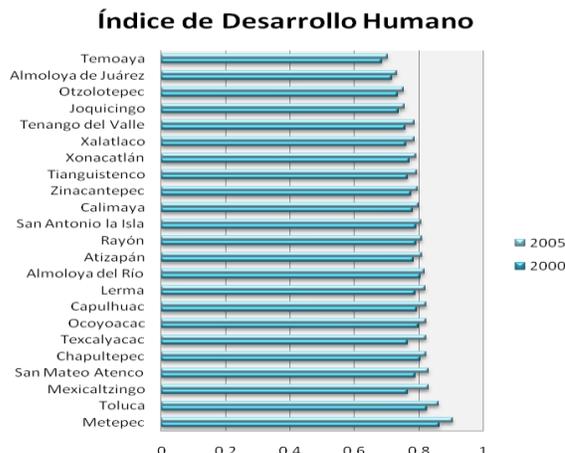
Microlocalización. Los municipios comprendidos dentro del Acuífero son los siguientes: Almoloya de Juárez, Almoloya del Río, Atizapán, Calimaya, Capulhuac, Chapultepec, Xalatlaco, Joquicingo, Lerma, Metepec, Mexicalcingo, Ocoyoacac, Oztolotepec, Rayón, San Antonio la Isla, San Mateo Atenco, Temoaya, Tenango del Valle (parcial), Texcalyacac, Tianguistenco, Toluca, Xonacatlán (parcial) y Zinacantepec.

Población. La población representa el 13,77% de la población total del Estado de México (14 007 495 hab al 2005).

El crecimiento no ha sido homogéneo, se ha concentrado en áreas muy delimitadas destacando los municipios de Toluca, Metepec, Lerma, Almoloya de Juárez y Zinacantepec. El crecimiento más crítico se registró entre los años 1970 y 1980, registrando un valor de más de 51% en la tasa de crecimiento¹.

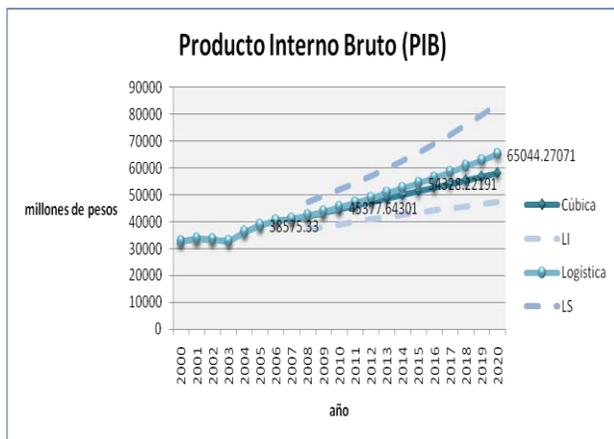


Índice de desarrollo humano. Los índices más altos de la población económicamente activa se concentraban mayormente en los municipios de Toluca, San Mateo Atenco, Mexicalcingo, Metepec, Chapultepec, Calpulhuac y Atizapan, con índices mayores a los 50 puntos porcentuales. El valor nacional es de 0.8200 como se observa los municipios que están arriba del valor nacional son únicamente: Toluca y Metepec. La mayoría de municipios están por debajo del valor nacional.



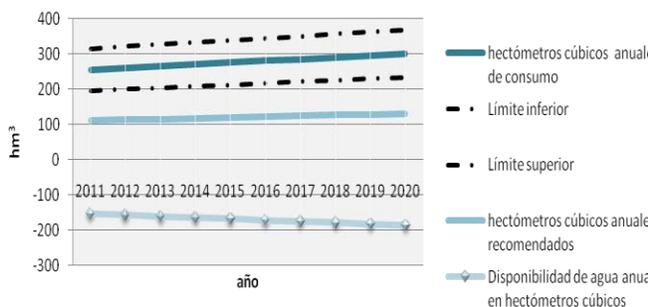
Economía. El PIB generado en el Acuífero del Valle de Toluca representa el 20% del Estado de México (40 874,72 millones de pesos), el 90% del PIB del acuífero se concentra en los sectores de servicios (20 415,57 millones de pesos) e industrial (16 470,29 millones de peso. El 81% del PIB se genera en Toluca, Lerma y Metepec.

¹ INEGI, Censo de población y vivienda, 2005.



Balance hídrico. En el balance hídrico del 28 de agosto de 2009, publicado en el Diario Oficial de la Federación, se estimó que la recarga media anual para el Acuífero fue de aproximadamente 336.8hm³, con una descarga natural comprometida de 53.6hm³, con un volumen concesionado de agua subterránea de 435.66 hm³ y un volumen de extracción consignado en estudios técnicos de 422.4hm³ y un déficit de -152.51 hm³.

Disponibilidad de agua y población



Usos del agua. El agua empleada para uso agrícola en el Acuífero del Valle de Toluca se estimaba para el año 2005, según datos del REPDA en 123 Mm³, lo que representaba tan sólo el 0,21% del volumen concesionado a nivel nacional (57 721 Mm³) y casi el 3,3% del volumen concesionado para el Edo. de México (3733 Mm³).

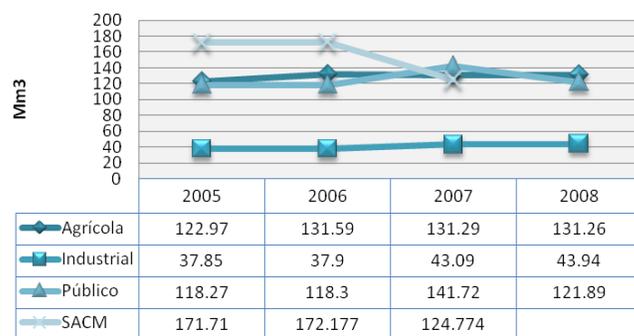
Para uso industrial se concesionó para ese mismo año 37 Mm³, lo que representaba tan sólo el 0,52% del volumen concesionado a nivel nacional (7083 Mm³) y casi el

7,94% del volumen concesionado para el Edo. de México (466 Mm³).

Para uso público se estimó un volumen de 118 Mm³, lo que representa tan sólo el 1,10% del volumen concesionado a nivel nacional (10 703 Mm³) y casi el 3,23% del volumen concesionado para el Edo. de México (3 659 Mm³).

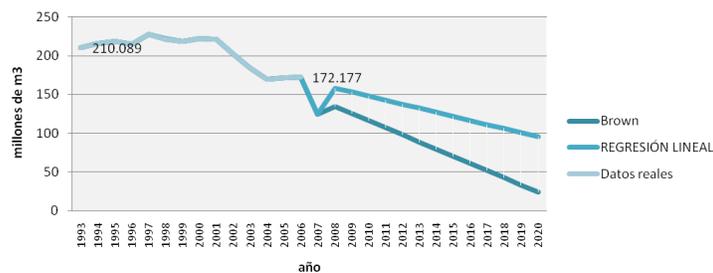
En lo que corresponde al año 2008, el mayor volumen concesionado fue para uso agrícola, doméstico e industrial respectivamente.

Usos del agua



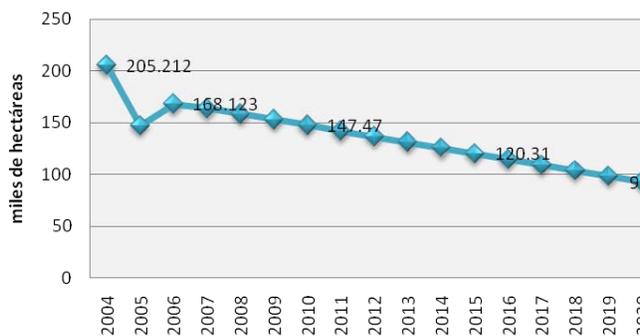
Volumen concesionado al Distrito Federal. El volumen concesionado por el Sistemas de Agua de la Ciudad de México (SACM) en el año de 2003 fue de 210.09 millones de m³, para 2006 fue de 172.17 m³.

Volúmenes extraídos por el SACM



Hectáreas cultivadas. En el año 2004, las hectáreas cultivadas se estimaron alrededor de 205.212 y para el año 2006 alrededor de 168.23 ha.

Hectáreas cultivadas



Contaminación. La mayor vulnerabilidad, en lo referente a contaminación, que afecta al acuífero es la que proviene de las descargas residuales provenientes del corredor industrial Lerma-Toluca, de zonas residenciales y agrícolas. El volumen de descarga generado por las aguas superficiales y subterráneas para el 2008 fue de alrededor de 111.7 Mm³. Los municipios más contaminantes son: Lerma, Metepec, Toluca y Xonacatlán.

El mayor volumen de descargas en aguas superficiales proviene del uso Público-Urbano (76.3% del total) seguido de la Acuicultura (22.1%) de acuerdo a los datos proporcionados por el REPDA 2008, en lo que se refiere a descargas en aguas subterráneas el 84.6% de las aguas residuales es de uso público urbano y el 7.8% de aguas industriales.

Los contaminantes más frecuentes en el área de estudio son: materia orgánica, microorganismos, desperdicios industriales, metales pesados, plaguicidas, productos químicos domésticos.

En promedio se han detectado los siguientes valores de los distintos cuerpos de agua fluctúa el pH alrededor del 6.86-7.6, el oxígeno disuelto en los rangos de 0.3-0.6 mg/L, el DQO de 280-352 mg/L, los sólidos suspendidos totales del 61-127 mg/L, los sólidos suspendidos variables del 21-47 mg/L, y los sólidos disueltos totales de 263-1405 mg/L; cabe destacar que dichos valores son globales promediados y cambian dependiendo de cada cuerpo de agua en particular, asimismo corresponden a

datos de los años 2006, 2007 y 2008 para aguas superficiales.

Plantas de tratamiento. En lo que respecta a las plantas de tratamiento de aguas residuales, dentro del Acuífero del Valle de Toluca desde el 2006 existen 19 plantas pero en el 2008 únicamente estaban operando 16 plantas. La capacidad instalada de las plantas de tratamiento en el 2007 es de 2 743,0 lts/seg y el caudal tratado es de 1 950,0 lts/seg para el año 2008 tan sólo se trataba el 20% del volumen total concesionado.

Normatividad. Los principales eventos detectados, en el lugar, en referencia al incumplimiento de la normatividad son: violación de veda, aprovechamientos clandestinos, acciones premeditadas para la desecación lagunar, falta de alineación con la normatividad internacional principalmente a lo correspondiente a la calidad del agua, el incumplimiento del ordenamiento territorial ya que se construye en zonas de inundaciones naturales y por tanto existe presencia de asentamientos humanos en zonas lagunares.

El 10 de agosto de 1965, se promulga un decreto presidencial que establece la veda en el acuífero, pero en ese mismo año la demanda de agua en la Ciudad de México no pudo ser cubierta firmándose un acuerdo entre el Departamento del Distrito Federal, la Secretaría de Recursos Hidráulicos y el Gobierno del Estado de México para aumentar las extracciones en la zona.

Niveles piezométricos. Los niveles piezométricos en promedio para el año 2006 se encontraban a una profundidad promedio de alrededor de 33.51 metros [6], aunque para el año 2009 en algunos lugares se han llegado a estimar abatimientos en los niveles de hasta de 100 m.

Biodiversidad. Con respecto a la biodiversidad hay presencia de plantas acuáticas de la familia Typhaceae (tifas), Cyperaceae (escobilla) y Juncaceae (tules), entre otras. Asimismo se cuenta con una gran diversidad de

aves, reptiles y anfibios, peces e insectos. Se tienen registros de la existencia de 116 especies de aves propias del área. Las ciénagas del Lerma son los humedales remanentes más extensos del Centro de México, especialmente de los Valles de México y Toluca que presentan diferentes hábitats, incluyendo zonas de aguas profundas.

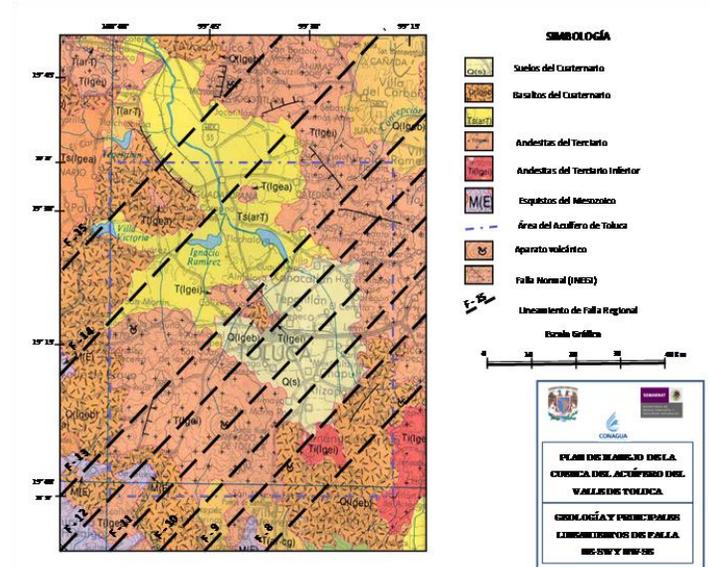
Fenómenos extremos. En la zona bajo estudio, se presentan básicamente dos tipos de fenómenos extremos: las inundaciones y los agrietamientos.

La existencia de agrietamientos en el suelo es un fenómeno de carácter sistémico, es decir, su aparición obedece a la combinación de diversos procesos de origen natural (dinámica tectónica y propiedades mineralógicas y mecánicas del suelo) y antropogénico por el proceso de urbanización que dispara la extracción de agua subterránea.

En el Acuífero Valle de Toluca, las unidades lacustres de las porciones bajas están afectadas por grietas de desecación (comunes en suelos arcillosos) y por fracturas relacionadas tanto con las grandes estructuras regionales mencionadas, como por la extracción del agua subterránea, mismas que les dieron origen.

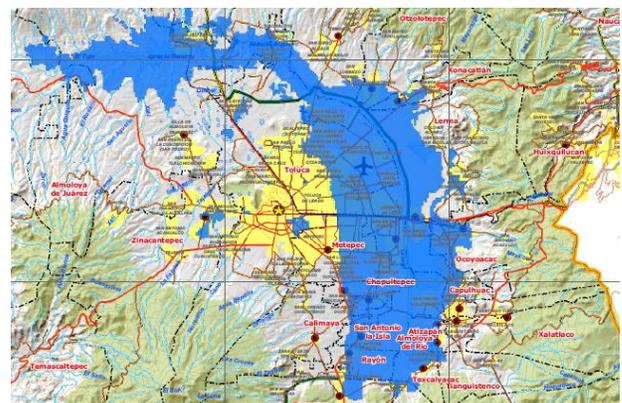
Se puede inferir que las estructuras geológicas mayores tienen una orientación NE-SW y NW-SE, que afectan al área del acuífero de Toluca. A estas estructuras se asocian la mayoría de los agrietamientos que han sido identificados en el área, los cuales han sido incrementados y son más notorios al afectar a diversas instalaciones de la infraestructura urbana e industrial.

Las fallas involucradas que más impactan sobre el AVT son de la F-9 a la F-14, siendo la F-12 la que más incide en la zona (fallas NE-SW).



Con las precipitaciones y escurrimientos pluviales, los terrenos arenosos y deforestados en la zona acarrean materiales diversos, azolvando cauces de ríos y sistemas de drenaje. Lo anterior, aunado a que los niveles de precipitación rebasan muchas veces la capacidad de infraestructura hidráulica instalada en las zonas bajas que generan las inundaciones.

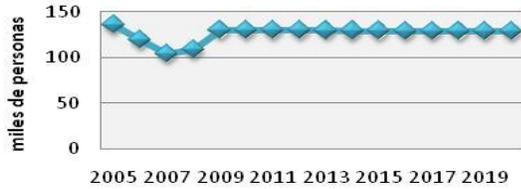
Algunos de los municipios que con mayor frecuencia presenta esta clase de fenómenos son: San Mateo Atenco, Lerma, Toluca y Tenango del Valle. A continuación se muestran las zonas propensas a inundación.



Enfermedades de origen hídrico. No se han realizado investigaciones que permitan enlazar un medio transmisor específico con las posibles enfermedades de origen hídrico. Se han detectado municipios con las llamadas zonas de conflicto, es decir con baja cobertura

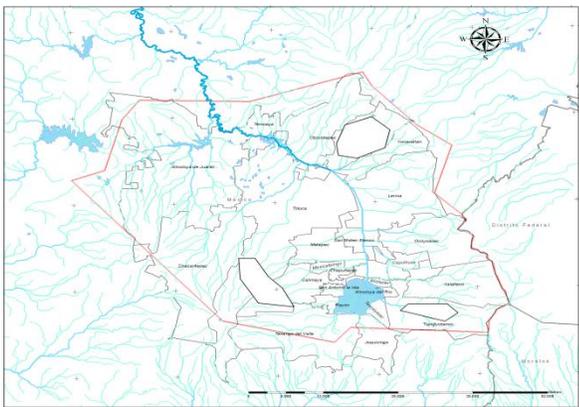
médica pero alto porcentaje de enfermedades de origen hídrico: Temoaya, Lerma, Capulhuac, Atizapán, San Mateo Atenco, Almoloya del Río y Texcalyac. Se han realizado investigaciones de genotoxicidad en vicia faba (o haba) en las que se encontraron indicios de actividad mutagénica.

Enfermos por padecimientos de origen hídrico



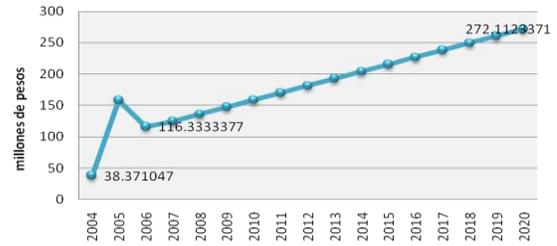
Zonas de recarga. Las principales zonas de recarga la constituyen el Nevado de Toluca y la Sierra de las Cruces. De forma más particular y con base en diferentes criterios técnicos, ambientales y sociales las principales zonas de recarga del AVT en las que es posible considerar el uso de recarga artificial son:

- Región 1. Nevado de Toluca
- Región 2. Santiago Tianguistenco
- Región 3. Santa María Zolotepec



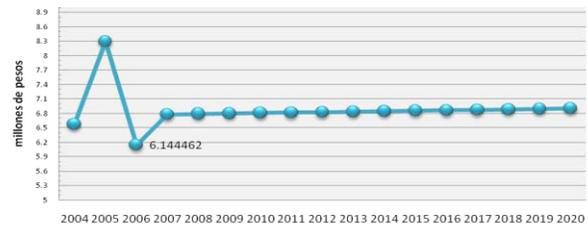
Inversiones. Las inversiones que se realizan en materia de agua, en el 2006 se estimaban alrededor de 176.33 millones de pesos, de acuerdo a datos oficiales del Estado de México.

Inversiones en agua



En lo que respecta a las inversiones en medio ambiente para el año 2006 se calculaban en 6.14 millones.

Inversiones en medio ambiente



Tarifas. No existe una estandarización de tarifas y criterios en los diferentes municipios del acuífero, lo que favorece la falta de control y contribuye a una subvaloración del agua. Para Toluca y Metepec las tarifas van variando dependiendo del volumen consumido, el menor rango para uso doméstico con medidor es el que va de 0-15m³ corresponden a 2.0461 y 1.3282 salarios mínimos respectivamente, para volúmenes de 1200 m³ para arriba la tarifa es de 494.36 y 441,9847 m³. En lo que corresponde al uso no doméstico con medidor 0-15m³ la tarifa es de 4.2702 y 3.021 para estos dos municipios, y si el consumo es mayor de 1800 m³ la tarifa corresponde a 341.466 y 1199.898 respectivamente.

Para Metepec, Toluca y Zinacantepec, el uso de agua doméstico sin medidor con una tubería de diámetro de 13mm para la categoría popular-urbana corresponde a 5.1432, 4.1712, 2.516 salarios mínimos y la residencial especial con tubería de diámetro 19-26 mm es de 17.7987 salarios mínimos.

Para uso no doméstico sin medidor las tarifas son para una tubería de 13 mm 10.0308 salarios mínimos y para una tubería de 75 mm 3326.9811.

Todo lo anterior corresponde a consumos bimestrales.

Material de Apoyo

El problema de la escasez del agua es sumamente serio en el territorio mexicano, en primer lugar por ser eminentemente semiárido y en segundo lugar, por su alta tasa de crecimiento demográfico. El acuífero Valle de Toluca (AVT) ha venido presentando problemas de explotación desde los años setenta del siglo pasado, sin que se hayan alcanzado logros de carácter significativo para subsanar esa situación, a pesar que representa uno de los principales cuerpos de agua que abastecen a los municipios del Estado de México así como al Distrito Federal; los mayores centros poblacionales de la República Mexicana y del mundo. Es a partir, de esta situación que surge la necesidad de construir escenarios para visualizar como sistema el futuro del acuífero.

Una manera de hacerlo es combinando el tratamiento de la información estadística existente con la opinión de expertos en el tema, empleando modelos de simulación, con ello se construyen escenarios que permiten a los decisores, valorar sus cursos de acción a la luz de los distintos futuros posibles y creíbles construidos.

¿Qué son los escenarios?

Un escenario es la descripción de un futuro posible y creíble. Son historias que narran los sucesos que probablemente pueden ocurrir, en este caso, para el AVT en un horizonte de tiempo de diez años. Su empleo, es básicamente, como una técnica que permite la reflexión y concientización tanto de los tomadores de decisiones o bien de cualquier persona que le interese saber qué puede ocurrir en un futuro.

Los escenarios en materia hídrica se utilizan continuamente en varios contextos a nivel mundial. Para la construcción de escenarios en este ejercicio se utilizarán las técnicas Delphi e Impactos cruzados que a continuación se describen.

¿Qué es la técnica Delphi?

Es una técnica que, mediante la aplicación de cuestionarios, permite estructurar la opinión de los expertos para obtener un nivel de acuerdo aceptable. Su proceso tiene tres características: a) ser anónimo, b)

realiza iteraciones con retroalimentación para cada participante y c) produce respuestas estadísticas.

Generalmente se realizan tres iteraciones de cuestionarios y se mantiene una comunicación continua con los expertos; lo único que ellos conocen de los otros participantes es su número.

Mediante esta técnica se obtendrán los posibles eventos que pueden presentarse en los próximos diez años y sus probabilidades de ocurrencia en el sistema AVT.

¿Qué es la técnica de impactos cruzados?

Es una técnica que permite simular y visualizar las tendencias de los eventos relevantes que probablemente pueden ocurrir en un sistema.

Requiere que un conjunto de expertos, mediante un arreglo matricial, valore los diversos impactos (las relaciones entre los eventos identificados) que pueden ocurrir en un horizonte de tiempo.

El experto podrá calificar una determinada relación de dos eventos de tres formas: (+) significa que la relación impulsará la dinámica del sistema, (-) significa que la relación frenará la dinámica del sistema y (0) significa que no impacta de manera significativa la dinámica del sistema.

Para (+,-) el experto podrá asignar valores en un rango de [1-4], siendo 1 el mínimo impacto y 4 el máximo.

Con el análisis de las tendencias de los probables eventos (impactos cruzados) y el análisis de las proyecciones de la información estadística (pronósticos), se procede a construir los escenarios del sistema.

¿Cuál es el objetivo de la actividad?

Determinar qué eventos futuros y sus posibles interacciones tendrán lugar en el Acuífero del Valle de Toluca en un horizonte de 10 años.

¿Quiénes participan?

Funcionarios de gobierno de diversas instituciones y expertos académicos en diversas disciplinas.

¿Qué funciones debemos asumir como expertos en esta actividad?

- 1) Tener la disponibilidad de tiempo y actitud para participar respondiendo a los cuestionarios en una plataforma electrónica y en los tiempos establecidos para ello.
- 2) Realizar el llenado de la matriz de impactos cruzados siguiendo las instrucciones correspondientes.
- 3) Esforzarse por ser lo más objetivo e imparcial en sus opiniones, sugerencias y comentarios.



Figura. Procedimiento Delphi

Anexo C: Técnica Delphi Ronda 2

Actividad 2. Escenarios Acuífero Valle de Toluca 2020

Instrucciones

- 1) A continuación se listan, 16 eventos posibles acerca del Acuífero Valle de Toluca para el 2020, que fueron mencionados por todos los expertos participantes de esta actividad. Los eventos marcados con color son los que provienen de su opinión personal (tabla 1).
- 2) Seleccione únicamente 7 de ellos, y ordénelos de mayor a menor importancia en la tabla correspondiente (tabla 2), siendo 1 el de mayor importancia y 7 el de menor importancia. Registre sólo un evento en cada renglón de la tabla.
- 3) Le solicito de favor, enviarme sus respuestas, a más tardar el día 21 de mayo, al correo ritav08@gmail.com (ritav cero-ocho).

ID	Evento	Porcentaje de expertos que mencionaron el evento (%)
1	El Plan de Desarrollo del Estado de México, y en particular de los municipios que integran el Valle de Toluca, impulsarán un fuerte crecimiento urbano-productivo y un mercado informal, ampliándose gradualmente la zona urbana del Valle.	45
2	Seguirá en aumento la tendencia de sobreexplotación del acuífero, básicamente por su uso ineficiente, y se traducirá en una pérdida significativa en la disponibilidad de agua para todos los usos.	45
3	Incremento de las inundaciones	36
4	Aparición continua de grietas con orientación predominante de Oriente - Poniente y en algunos casos de Norte - Sur) provocando situaciones de alta vulnerabilidad para la sociedad.	36
5	Habrà una reducción de agua de las ciénagas debido a fenómenos de desecación naturales y antropogénicos, reduciéndose la biodiversidad de la zona.	36
6	Se continuará con la falta de capacidad institucional y normativa para regular el manejo del Acuífero.	27
7	Se reducirá más la calidad del agua subterránea debido a la extracción a mayores profundidades y por el contacto con las aguas superficiales altamente contaminadas.	27
8	Las plantas de tratamiento para aguas urbanas e industriales no tendrán la capacidad suficiente, ni el diseño adecuado para atender los volúmenes y contaminación de las aguas residuales superficiales	27
9	Se incrementarán los conflictos sociales ante la escasez de agua y la desconfianza de la ciudadanía ante la reducida acción de los gobiernos	27
10	Se propiciarán programas y acciones para fomentar la recarga natural y artificial	18
11	Cada año se afectará más la salud de la población por los altos índices de contaminación del agua.	18
12	Se efectuará una fuerte inversión en investigación y requerimientos de personal altamente capacitado para tratar la problemática.	18
13	Debido a que el agua subterránea estará a una mayor profundidad, se dará un agotamiento de la vida útil de los pozos y un incremento en los costos de operación.	18
14	Se incrementará el conflicto político por el agua entre los gobiernos del Estado de México y la Ciudad de México y por la poca participación ciudadana.	9
15	La baja cobertura en la micromedición y la falta de tarifas realistas impedirán el control, ahorro y gestión eficiente del agua.	9
16	Se establecerá un sistema de tarifas de cobro de consumo de agua con base en la profundidad de extracción, el costo energético requerido y subsidios cruzados.	9

Tabla 1. Resultados ronda 1

Tabla 2.

Id.	Evento	Importancia
1		
2		
3		
4		
5		
6		
7		

Tabla 2. Formato clasificación de eventos

Anexo D: Técnica Delphi Ronda 3

Actividad 3. Escenarios Acuífero Valle de Toluca al 2020

Instrucciones

- a) Anteriormente, cada uno de ustedes, emitió diferentes eventos que podrían suceder en el Acuífero Valle de Toluca para el año 2020, como resultado se obtuvieron eventos de tipo tendencial.
- b) En esta actividad le solicitamos nos mencione tres eventos probables, que de suceder podrían cambiar las tendencias tanto de manera positiva como negativa. Se busca que los eventos que identifiquen sean de carácter poco visible, y por lo tanto únicamente perceptibles cuando se observa el sistema total.
- c) Los eventos deberán ser colocados en la tabla 1.
- d) Se les recuerda que su opinión es totalmente confidencial.
- e) Le solicito de favor, enviarme sus respuestas, a más tardar el día 21 de mayo, al correo ritav08@gmail.com (ritav cero-ocho).

Usted como participante podría proporcionar la siguiente respuesta:

- Se construirá un tren subterráneo que comunicará el Valle de Toluca con la Ciudad de México.

El tren es un evento externo al Acuífero que proviene de las políticas del D.F, sin embargo su construcción repercute en aumento de la migración a los municipios del AVT y produce alteraciones en los ecosistemas respectivos.

Por favor proponga tres eventos similares a continuación:

No.	Evento
1	
2	
3	

Tabla 1. Formato para selección de eventos

ACTIVIDAD 4. ESCENARIOS ACUÍFERO VALLE DE TOLUCA AL 2020

Instrucciones

Anteriormente, cada uno de ustedes, emitió diferentes eventos que podrían suceder en el Acuífero Valle de Toluca para el año 2020, como resultado se obtuvieron eventos de tipo tendencial y no tendencial. En esta actividad les pedimos:

- f) La probabilidad de ocurrencia de los eventos.
- g) El llenado de las matrices de impactos cruzados.
- h) Se les recuerda que su opinión es totalmente confidencial.
- i) Le solicito de favor, enviarme sus respuestas, a más tardar el día 7 de junio, al correo ritav08@gmail.com (ritav cero-ocho).

Primera Parte.

Por favor coloque la probabilidad de ocurrencia de cada evento en la tabla 1.

Donde los valores de probabilidad vienen dados por:

Valor de probabilidad	significado
0.1	Evento muy improbable
0.3	Evento improbable
0.5	Evento tanto probable como improbable
0.7	Evento probable
0.9	Evento muy probable

Evento	Probabilidad
1) Seguirá en aumento la tendencia de sobreexplotación del acuífero, básicamente por su uso ineficiente, y se traducirá en una pérdida significativa en la disponibilidad de agua para todos los usos.	
2) Se continuará con la falta de capacidad institucional y normativa para regular el manejo del Acuífero	
3) Habrá una reducción de agua de las ciénagas debido a fenómenos de desecación naturales y antropogénicos, reduciéndose la biodiversidad de la zona.	
4) Se reducirá más la calidad del agua subterránea debido a la extracción a mayores profundidades y por el contacto con las aguas superficiales altamente contaminadas.	
5) El Plan de Desarrollo del Estado de México, y en particular de los municipios que integran el Valle de Toluca, impulsarán un fuerte crecimiento urbano-productivo y un mercado informal, ampliándose gradualmente la zona urbana del Valle.	
6) Se incrementarán los conflictos sociales ante la escasez de agua y la desconfianza de la ciudadanía ante la reducida acción de los gobiernos	
7) Aparición continua de grietas con orientación predominante de Oriente-Poniente y en algunos casos de Norte-Sur) provocando situaciones de alta vulnerabilidad	
8) Se endurecerá la no cooperación con el gobierno y mayores movilizaciones de las comunidades indígenas-campesinas ubicadas en las partes altas del Valle de Toluca (pueblos mazahuas, otomíes y otros) por la defensa de los recursos naturales en su territorio, incluyendo el agua.	
9) Las dos ciénagas de Lerma se convertirán en parques recreativos y se construirán Chinampas para fomentar el uso agrícola sustentable.	
10) La instalación de un sistema de transporte colectivo en la región (metro) causará un aumento de la migración hacia la zona.	
11) El cambio climático producirá el descenso de temperatura y aumento de los niveles de precipitación en el AVT y la reducción de la producción hídrica en el sistema Cutzamala	
12) La elección de Enrique Peña Nieto presidente, favorecerá los arreglos institucionales entre el gobierno del D.F y el Gobierno del Estado principalmente en relación a las políticas de importación de agua.	
13) La construcción y operación de la planta de tratamiento de la ciudad de México (Atotonilco de Tula) la cual favorecerá una recirculación de agua al D.F y disminuirá la extracción de agua en el Acuífero.	
14) La modificación de oferta y la demanda por la privatización del agua	

Tabla 1.

SEGUNDA PARTE.

Esta sección consiste básicamente en el llenado de **dos** matrices, la primera en la que se comparan los eventos tendenciales y la segunda en la que se comparan eventos tendenciales con eventos no tendenciales.

El objetivo de estas matrices es saber la interacción entre los eventos.

La palabra **fomenta** indica que un evento A contribuye a que se realice o se impulse la tendencia de un evento B.

La palabra **inhibe** indica que un evento A impide la realización o inhibe la tendencia de un evento B.

La palabra **neutro** indica que el evento A no tiene relación o es indiferente con el evento B.

Los números indican el grado de influencia.

1= influencia baja

2= influencia moderada

3=influencia mediana

4=influencia alta

A manera de ejemplo, el llenado de las matrices se debe hacer de la siguiente manera:

- a) Los eventos horizontales son los que afectan a los verticales (los de A en B).
- b) Por ejemplo, si el evento **"Se continuará con la falta de capacidad institucional y normativa para regular el manejo del Acuífero A"** (segunda columna) contribuye al **"Seguirá en aumento la tendencia de sobreexplotación del acuífero, básicamente por su uso ineficiente, y se traducirá en una pérdida significativa en la disponibilidad de agua para todos los usos."** (segundo renglón **B**) entonces se debe marcar **fomenta** y la magnitud en que el primer evento influye en el segundo **4**.

¿Cómo afecta este evento?



<p>En este evento</p>	<p>Seguirá en aumento la tendencia de sobreexplotación del acuífero, básicamente por su uso ineficiente, y se traducirá en una pérdida significativa en la disponibilidad de agua para todos los usos.</p>	<p>A</p> <p>Se continuará con la falta de capacidad institucional y normativa para regular el manejo del Acuífero.</p>	<p>Habrà una reducción de agua de las ciénagas debido a fenómenos de desecación naturales y antropogénicos, reduciéndose la biodiversidad de la zona.</p>
<p>Seguirá en aumento la tendencia de sobreexplotación del acuífero, básicamente por su uso ineficiente, y se traducirá en una pérdida significativa en la disponibilidad de agua para todos los usos.</p>	<p>X</p>	<p>Fomenta</p> <p>Inhibe</p> <p>Neutro</p> <p>1-2-3-4</p>	<p>Fomenta</p> <p>Inhibe</p> <p>Neutro</p> <p>1-2-3-4</p>
<p>Se continuará con la falta de capacidad institucional y normativa para regular el manejo del Acuífero.</p>	<p>Fomenta</p> <p>Inhibe</p> <p>Neutro</p> <p>1-2-3-4</p>	<p>X</p>	<p>Fomenta</p> <p>Inhibe</p> <p>Neutro</p> <p>1-2-3-4</p>

MATRIZ A. ¿Cómo afecta este evento?



<p>En este evento</p>	<p>Seguirá en aumento la tendencia de sobreexplotación del acuífero, básicamente por su uso ineficiente, y se traducirá en una pérdida significativa en la disponibilidad de agua para todos los usos.</p>	<p>Se continuará con la falta de capacidad institucional y normativa para regular el manejo del Acuífero.</p>	<p>Habrà una reducción de agua de las ciénagas debido a fenómenos de desecación naturales y antropogénicos, reduciéndose la biodiversidad de la zona.</p>	<p>Se reducirá más la calidad del agua subterránea debido a la extracción a mayores profundidades y por el contacto con las aguas superficiales altamente contaminadas.</p>	<p>El Plan de Desarrollo del Estado de México, y en particular de los municipios que integran el Valle de Toluca, impulsarán un fuerte crecimiento urbano-productivo y un mercado informal, ampliándose gradualmente la zona urbana del Valle.</p>	<p>Se incrementarán los conflictos sociales ante la escasez de agua y la desconfianza de la ciudadanía ante la reducida acción de los gobiernos</p>	<p>Aparición continúa de grietas con orientación predominante de Oriente-Poniente y en algunos casos de Norte-Sur) provocando situaciones de alta vulnerabilidad para la sociedad.</p>															
<p>Seguirá en aumento la tendencia de sobreexplotación del acuífero, básicamente por su uso ineficiente, y se traducirá en una pérdida significativa en la disponibilidad de agua para todos los usos.</p>	<p>X</p>	<table border="1"> <tr><td>Fomenta</td></tr> <tr><td>Inhibe</td></tr> <tr><td>Neutro</td></tr> </table>	Fomenta	Inhibe	Neutro	<p>1-2-3-4</p>	<table border="1"> <tr><td>Fomenta</td></tr> <tr><td>Inhibe</td></tr> <tr><td>Neutro</td></tr> </table>	Fomenta	Inhibe	Neutro	<p>1-2-3-4</p>	<table border="1"> <tr><td>Fomenta</td></tr> <tr><td>Inhibe</td></tr> <tr><td>Neutro</td></tr> </table>	Fomenta	Inhibe	Neutro	<table border="1"> <tr><td>Fomenta</td></tr> <tr><td>Inhibe</td></tr> <tr><td>Neutro</td></tr> </table>	Fomenta	Inhibe	Neutro			
Fomenta																						
Inhibe																						
Neutro																						
Fomenta																						
Inhibe																						
Neutro																						
Fomenta																						
Inhibe																						
Neutro																						
Fomenta																						
Inhibe																						
Neutro																						
<p>Se continuará con la falta de capacidad institucional y normativa para regular el manejo del Acuífero.</p>	<table border="1"> <tr><td>Fomenta</td></tr> <tr><td>Inhibe</td></tr> <tr><td>Neutro</td></tr> </table>	Fomenta	Inhibe	Neutro	<p>1-2-3-4</p>	<p>X</p>	<table border="1"> <tr><td>Fomenta</td></tr> <tr><td>Inhibe</td></tr> <tr><td>Neutro</td></tr> </table>	Fomenta	Inhibe	Neutro	<p>1-2-3-4</p>	<table border="1"> <tr><td>Fomenta</td></tr> <tr><td>Inhibe</td></tr> <tr><td>Neutro</td></tr> </table>	Fomenta	Inhibe	Neutro	<table border="1"> <tr><td>Fomenta</td></tr> <tr><td>Inhibe</td></tr> <tr><td>Neutro</td></tr> </table>	Fomenta	Inhibe	Neutro			
Fomenta																						
Inhibe																						
Neutro																						
Fomenta																						
Inhibe																						
Neutro																						
Fomenta																						
Inhibe																						
Neutro																						
Fomenta																						
Inhibe																						
Neutro																						
<p>Habrà una reducción de agua de las ciénagas debido a fenómenos de desecación naturales y antropogénicos, reduciéndose la biodiversidad de la zona.</p>	<table border="1"> <tr><td>Fomenta</td></tr> <tr><td>Inhibe</td></tr> <tr><td>Neutro</td></tr> </table>	Fomenta	Inhibe	Neutro	<table border="1"> <tr><td>Fomenta</td></tr> <tr><td>Inhibe</td></tr> <tr><td>Neutro</td></tr> </table>	Fomenta	Inhibe	Neutro	<p>1-2-3-4</p>	<p>X</p>	<table border="1"> <tr><td>Fomenta</td></tr> <tr><td>Inhibe</td></tr> <tr><td>Neutro</td></tr> </table>	Fomenta	Inhibe	Neutro	<table border="1"> <tr><td>Fomenta</td></tr> <tr><td>Inhibe</td></tr> <tr><td>Neutro</td></tr> </table>	Fomenta	Inhibe	Neutro	<table border="1"> <tr><td>Fomenta</td></tr> <tr><td>Inhibe</td></tr> <tr><td>Neutro</td></tr> </table>	Fomenta	Inhibe	Neutro
Fomenta																						
Inhibe																						
Neutro																						
Fomenta																						
Inhibe																						
Neutro																						
Fomenta																						
Inhibe																						
Neutro																						
Fomenta																						
Inhibe																						
Neutro																						
Fomenta																						
Inhibe																						
Neutro																						
<p>Se reducirá más la calidad del agua subterránea debido a la extracción a mayores profundidades y por el contacto con las aguas superficiales altamente contaminadas.</p>	<table border="1"> <tr><td>Fomenta</td></tr> <tr><td>Inhibe</td></tr> <tr><td>Neutro</td></tr> </table>	Fomenta	Inhibe	Neutro	<table border="1"> <tr><td>Fomenta</td></tr> <tr><td>Inhibe</td></tr> <tr><td>Neutro</td></tr> </table>	Fomenta	Inhibe	Neutro	<p>1-2-3-4</p>	<table border="1"> <tr><td>Fomenta</td></tr> <tr><td>Inhibe</td></tr> <tr><td>Neutro</td></tr> </table>	Fomenta	Inhibe	Neutro	<p>X</p>	<table border="1"> <tr><td>Fomenta</td></tr> <tr><td>Inhibe</td></tr> <tr><td>Neutro</td></tr> </table>	Fomenta	Inhibe	Neutro	<table border="1"> <tr><td>Fomenta</td></tr> <tr><td>Inhibe</td></tr> <tr><td>Neutro</td></tr> </table>	Fomenta	Inhibe	Neutro
Fomenta																						
Inhibe																						
Neutro																						
Fomenta																						
Inhibe																						
Neutro																						
Fomenta																						
Inhibe																						
Neutro																						
Fomenta																						
Inhibe																						
Neutro																						
Fomenta																						
Inhibe																						
Neutro																						
<p>El Plan de Desarrollo del Estado de México, y en particular de los municipios que integran el Valle de Toluca, impulsarán un fuerte crecimiento urbano-productivo y un mercado informal, ampliándose gradualmente la zona urbana del Valle.</p>	<table border="1"> <tr><td>Fomenta</td></tr> <tr><td>Inhibe</td></tr> <tr><td>Neutro</td></tr> </table>	Fomenta	Inhibe	Neutro	<table border="1"> <tr><td>Fomenta</td></tr> <tr><td>Inhibe</td></tr> <tr><td>Neutro</td></tr> </table>	Fomenta	Inhibe	Neutro	<p>1-2-3-4</p>	<table border="1"> <tr><td>Fomenta</td></tr> <tr><td>Inhibe</td></tr> <tr><td>Neutro</td></tr> </table>	Fomenta	Inhibe	Neutro	<p>1-2-3-4</p>	<p>X</p>	<table border="1"> <tr><td>Fomenta</td></tr> <tr><td>Inhibe</td></tr> <tr><td>Neutro</td></tr> </table>	Fomenta	Inhibe	Neutro			
Fomenta																						
Inhibe																						
Neutro																						
Fomenta																						
Inhibe																						
Neutro																						
Fomenta																						
Inhibe																						
Neutro																						
Fomenta																						
Inhibe																						
Neutro																						
<p>Se incrementarán los conflictos sociales ante la escasez de agua y la desconfianza de la ciudadanía ante la reducida acción de los gobiernos</p>	<table border="1"> <tr><td>Fomenta</td></tr> <tr><td>Inhibe</td></tr> <tr><td>Neutro</td></tr> </table>	Fomenta	Inhibe	Neutro	<table border="1"> <tr><td>Fomenta</td></tr> <tr><td>Inhibe</td></tr> <tr><td>Neutro</td></tr> </table>	Fomenta	Inhibe	Neutro	<p>1-2-3-4</p>	<table border="1"> <tr><td>Fomenta</td></tr> <tr><td>Inhibe</td></tr> <tr><td>Neutro</td></tr> </table>	Fomenta	Inhibe	Neutro	<p>1-2-3-4</p>	<table border="1"> <tr><td>Fomenta</td></tr> <tr><td>Inhibe</td></tr> <tr><td>Neutro</td></tr> </table>	Fomenta	Inhibe	Neutro	<table border="1"> <tr><td>Fomenta</td></tr> <tr><td>Inhibe</td></tr> <tr><td>Neutro</td></tr> </table>	Fomenta	Inhibe	Neutro
Fomenta																						
Inhibe																						
Neutro																						
Fomenta																						
Inhibe																						
Neutro																						
Fomenta																						
Inhibe																						
Neutro																						
Fomenta																						
Inhibe																						
Neutro																						
Fomenta																						
Inhibe																						
Neutro																						
<p>Aparición continúa de grietas con orientación predominante de Oriente-Poniente y en algunos casos de Norte-Sur) provocando situaciones de alta vulnerabilidad para la sociedad.</p>	<table border="1"> <tr><td>Fomenta</td></tr> <tr><td>Inhibe</td></tr> <tr><td>Neutro</td></tr> </table>	Fomenta	Inhibe	Neutro	<table border="1"> <tr><td>Fomenta</td></tr> <tr><td>Inhibe</td></tr> <tr><td>Neutro</td></tr> </table>	Fomenta	Inhibe	Neutro	<p>1-2-3-4</p>	<table border="1"> <tr><td>Fomenta</td></tr> <tr><td>Inhibe</td></tr> <tr><td>Neutro</td></tr> </table>	Fomenta	Inhibe	Neutro	<p>1-2-3-4</p>	<table border="1"> <tr><td>Fomenta</td></tr> <tr><td>Inhibe</td></tr> <tr><td>Neutro</td></tr> </table>	Fomenta	Inhibe	Neutro	<p>X</p>			
Fomenta																						
Inhibe																						
Neutro																						
Fomenta																						
Inhibe																						
Neutro																						
Fomenta																						
Inhibe																						
Neutro																						
Fomenta																						
Inhibe																						
Neutro																						

MATRIZ B. ¿Cómo afecta este evento?



<p>En este evento</p>	Se endurecerá la no cooperación con el gobierno y mayores movilizaciones de las comunidades indígenas-campesinas ubicadas en las partes altas del Valle de Toluca (pueblos mazahuas, otomíes y otros) por la defensa de los recursos naturales en su territorio, incluyendo el agua.		Las dos ciénagas de Lerma se convertirán en parques recreativos y se construirán Chinampas para fomentar el uso agrícola sustentable.		La instalación de un sistema de transporte colectivo en la región (metro) causará un aumento de la migración hacia la zona.		El cambio climático producirá el descenso de temperatura y aumento de los niveles de precipitación en el AVT y la reducción de la producción hídrica en el sistema Cutzamala		La elección de Enrique Peña Nieto presidente, favorecerá los arreglos institucionales entre el gobierno del D.F. y el Gobierno del Estado principalmente en relación a las políticas de importación de agua.		La construcción y operación de la planta de tratamiento de la ciudad de México (Atotonilco de Tula) la cual favorecerá una recirculación de agua al D.F. y disminuirá la extracción de agua en el Acuífero.		La modificación de oferta y la demanda por la privatización del agua.	
Seguirá en aumento la tendencia de sobreexplotación del acuífero, básicamente por su uso ineficiente, y se traducirá en una pérdida significativa en la disponibilidad de agua para todos los usos.	Fomenta Inhibe Neutro	1-2-3-4	Fomenta Inhibe Neutro	1-2-3-4	Fomenta Inhibe Neutro	1-2-3-4	Fomenta Inhibe Neutro	1-2-3-4	Fomenta Inhibe Neutro	1-2-3-4	Fomenta Inhibe Neutro	1-2-3-4	Fomenta Inhibe Neutro	1-2-3-4
Se continuará con la falta de capacidad institucional y normativa para regular el manejo del Acuífero.	Fomenta Inhibe Neutro	1-2-3-4	Fomenta Inhibe Neutro	1-2-3-4	Fomenta Inhibe Neutro	1-2-3-4	Fomenta Inhibe Neutro	1-2-3-4	Fomenta Inhibe Neutro	1-2-3-4	Fomenta Inhibe Neutro	1-2-3-4	Fomenta Inhibe Neutro	1-2-3-4
Habrá una reducción de agua de las ciénagas debido a fenómenos de desecación naturales y antropogénicos, reduciéndose la biodiversidad de la zona.	Fomenta Inhibe Neutro	1-2-3-4	Fomenta Inhibe Neutro	1-2-3-4	Fomenta Inhibe Neutro	1-2-3-4	Fomenta Inhibe Neutro	1-2-3-4	Fomenta Inhibe Neutro	1-2-3-4	Fomenta Inhibe Neutro	1-2-3-4	Fomenta Inhibe Neutro	1-2-3-4
Se reducirá más la calidad del agua subterránea debido a la extracción a mayores profundidades y por el contacto con las aguas superficiales altamente contaminadas.	Fomenta Inhibe Neutro	1-2-3-4	Fomenta Inhibe Neutro	1-2-3-4	Fomenta Inhibe Neutro	1-2-3-4	Fomenta Inhibe Neutro	1-2-3-4	Fomenta Inhibe Neutro	1-2-3-4	Fomenta Inhibe Neutro	1-2-3-4	Fomenta Inhibe Neutro	1-2-3-4
El Plan de Desarrollo del Estado de México, y en particular de los municipios que integran el Valle de Toluca, impulsarán un fuerte crecimiento urbano-productivo y un mercado informal, ampliándose gradualmente la zona urbana del Valle.	Fomenta Inhibe Neutro	1-2-3-4	Fomenta Inhibe Neutro	1-2-3-4	Fomenta Inhibe Neutro	1-2-3-4	Fomenta Inhibe Neutro	1-2-3-4	Fomenta Inhibe Neutro	1-2-3-4	Fomenta Inhibe Neutro	1-2-3-4	Fomenta Inhibe Neutro	1-2-3-4
Se incrementarán los conflictos sociales ante la escasez de agua y la desconfianza de la ciudadanía ante la reducida acción de los gobiernos	Fomenta Inhibe Neutro	1-2-3-4	Fomenta Inhibe Neutro	1-2-3-4	Fomenta Inhibe Neutro	1-2-3-4	Fomenta Inhibe Neutro	1-2-3-4	Fomenta Inhibe Neutro	1-2-3-4	Fomenta Inhibe Neutro	1-2-3-4	Fomenta Inhibe Neutro	1-2-3-4
Aparición continua de grietas con orientación predominante de Oriente-Poniente y en algunos casos de Norte-Sur) provocando situaciones de alta vulnerabilidad para la sociedad.	Fomenta Inhibe Neutro	1-2-3-4	Fomenta Inhibe Neutro	1-2-3-4	Fomenta Inhibe Neutro	1-2-3-4	Fomenta Inhibe Neutro	1-2-3-4	Fomenta Inhibe Neutro	1-2-3-4	Fomenta Inhibe Neutro	1-2-3-4	Fomenta Inhibe Neutro	1-2-3-4

Anexo E: Técnica Delphi Ronda 4

Resultados individuales de los expertos. La letra E denota a cada experto, las mayúsculas representas a los eventos y los números son las valorizaciones de los expertos.

		A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N			A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	
A	E1	x	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	E	E1	4	4	0	0	X	0	0	0	-4	4	0	0	0	0	4
	E2	x	4	3	4	0	2	1	4	2	4	4	0	0	0		E2	0	0	0	0	X	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	E3	x	2	-2	-2	-1	-2	-4	-3	-3	-3	3	-3	0	-1		E3	0	-2	2	4	X	2	-2	-1	3	4	2	4	2	-1	
	E4	x	4	0	0	-4	0	0	4	-4	3	-2	1	-1	4		E4	0	0	4	4	X	4	4	-3	4	4	4	4	1	4	
	E5	x	-2	-2	-4	4	-2	-1	0	0	-1	0	0	0	0		E5	0	-3	-3	0	X	0	0	-3	-2	-2	0	-1	0	-1	
	E6	x	4	0	-3	4	0	-3	-3	-2	4	4	-2	-2	-3		E6	0	0	0	0	X	-3	0	-3	0	4	0	2	0	-3	
	E7	x	0	0	0	4	-3	-2	4	0	4	4	-2	-1	0		E7	-4	4	4	3	X	-2	-1	4	3	4	0	4	0	0	
	E8	x	4	3	4	-3	4	4	4	1	0	0	-3	2	1		E8	4	-4		0	X	4	3	0	0	2	0	1	0	3	
	E9	x	-2	2	2	-2	0	2	3	2	2	3	2	-2	2		E9	-2	-2	2	-2	X	0	0	-2	0	-2	-2		0	0	
	E10	x	3	0		4	-4	0	-4	1	3	0	1	-4	0		E10	-4	0	0	-3	X	-4	-3	-3	0	4	-3	4	0	-1	
	E11	x	4	0	3	4	0	0	0	4	4	-4	0	-3	-4		E11	-4	-4	3	-3	X	4	-4	4	-3	4		0	3	3	
	E12	x	3	3	-3	3	-2	-4	-2	-2	0	-3	0	-2	2		E12	0	3	0	-2	X	-2	-2	0	2	3	0	0	0	-2	
B	E1	4	x	0	0	4	0	0	2	0	0	0	0	0	F	E1	4	4	4	0	4	X	2	4	-4	1	0	0	0	1		
	E2	-4	x	3	3	0	4	0	-2	0	4	4	0	0		E2	4	3		4	0	X		4	-3	4	-1	0	0	0		
	E3	-3	x	-3	-2	-2	-2	-2	-1	-2	-1	-2	-2	0		-1	E3	-1	3	3	3	-1	X	4	3	-3	2	-1	-3	0	-1	
	E4	2	x	-2	0	0	-4	0	4	0	1	3	1	0		4	E4	4	1	4	3	-4	X	4	4	-3	3	-1	-3	0	4	
	E5	-4	x	0	-1	-1	-1	0	-2	0	0	0	0	0		-1	E5	4	-2	-3	-3	4	X	0	-3	0	2	1	-1	0	0	
	E6	4	x	0	0	4	-3	0	-3	0	4	0	2	0		4	E6	4	4	3	4	2	X	0	4	-3	3	1	-1	-2	4	
	E7	0	x	0	0	4	0	-1	3	0	4	2	-1	0		0	E7	4	4	4	3	4	X	3	4	0	4	4	-1	0	0	
	E8	4	x	4	4	4	4	0	4	-4	0	0	-4	-4		4	E8	-3	-2	-1	0	-1	X	0	4	1	0	0	-4	1	0	
	E9	3	x	2	2	-2	0	3	2	3	-3	3	2	-2		2	E9	0	0	0	0	0	X	0	0	0	0		0	0	0	
	E10	0	x	0	-3	0	-4	0	-4	0	0	-3	1	-4		0	E10	4	4	4	3	4	X	3	3	-3	0	2	4	-2	0	
	E11	4	x	0	3	4	2	0	4	4	4	-2	0	0		-4	E11	4	4	0	0	3	X	4	4	4	4		0	-2	-4	
	E12	3	x	0	-4	-3	-3	-2	-2	-3	-2	-2	-2	-2		-2	E12	4	3	3	3	3	X	3	2	-2	0	-2	-2	0	2	

