

# UNIVERSIDAD DE GUADALAJARA

CENTRO UNIVERSITARIO DE CIENCIAS  
BIOLÓGICAS Y AGROPECUARIAS  
DIVISIÓN DE CIENCIAS BIOLÓGICAS Y  
AMBIENTALES



## **Estrategias de protección de aguas subterráneas para el abastecimiento de la zona metropolitana de Guadalajara**

Trabajo de titulación en la modalidad de:

**Tesis profesional**

Para obtener el título de:

**Licenciado en Biología**

Presenta: **Fabián Leonardo Macías**

Director de Tesis: **Miguel Enrique Magaña Virgen**

Asesor: **Nélida Barajas Acosta**

Las Agujas, Zapopan, Jalisco. México.

Julio, 2015

## Dedicatorias

A mi etérea Abuela Guadalupe, icono irreductible de honestidad, valor y esfuerzo, principio  
de la lluvia, del fuego y el mañana.

A mi Madre Imelda, por su apoyo incondicional, su fortaleza y claro ejemplo de constancia  
y sencillez, mezcla de silencio y valentía.

A mi Tía Aurora, que destinó su tiempo para darme pensamiento y creatividad, a ella, que  
paso a paso me enseñó que no es necesario tener para ayudar, basta ser para hacer.

A mis sobrinas que, llenas de sabiduría me alientan a perseguir y diseñar un mundo mejor,  
un mundo idéntico a sus sonrisas, a sus preguntas, sus miradas y silencios.

A mi sangre, y a mi gente que pusieron en mi infante caminar un digno destino y porvenir.

A todos aquellos que en el vaivén del tiempo me impregnaron de ilusión y conocimiento,  
para así creer que otro mundo es posible,  
para aquellos que aún se despeinan con la brisa,  
para aquellos que gustan del olor a tierra mojada,  
para aquellos que se emocionan con trepar a un árbol,  
para aquellos que aman la lluvia, su arcoíris y su tormenta.

## **Agradecimientos**

Agradezco al M.C. Miguel Magaña, por su valor y entrega, por la sonrisa sincera y la paciencia que tuvo para rescatar ideas, por la sencillez de sus palabras, la creación de historias y la pasión que va heredando en aulas. Le agradezco por aceptar ser el director de esta tesis con mis ideas y solo ellas, siendo proyecciones mías y de nadie más.

Agradezco a la Dra. Nélide Barajas, por aceptar ser aliada sin conocerme, por arriesgarse con esta mente vaga llena de preguntas, por enseñarme que aún existen voluntades y maneras de trabajar, directas y con muchas escalas. Recuerdo la respuesta a ese primer correo, siempre agradeceré su atención, su ánimo y entera disposición.

Agradezco al Dr. Pedro Topete, por sus atinados consejos, las discusiones, las charlas del camino y las observaciones matutinas.

Agradezco a los sinodales por la certeza de sus opiniones y mejoras puntuales del proyecto: Dra. Alicia Loeza, Dr. Roberto Maciel, M.C. Héctor Frías, gracias por su apoyo, conocimiento y accesibilidad.

Agradezco al Dr. Miguel Vásquez por su amistad y bondad incalculable. Al M.C. Rodrigo Castellanos<sup>†</sup> primer biólogo que me hizo creer en esta carrera y estilo de vida. Al Biólogo Francisco Javier Jacobo y al Médico Veterinario Librado Magdaleno por su amistad y disfrute de los días. A mis amigos de la vida, que con peculiar tono aún cuestionan mi decisión de ser biólogo, sin saber que se nace siendo biólogo, y al tiempo se decora con papeles y notas. A mis amigos y compañeros de andanza, los que se perdieron con el viento, los que quedan, y los que han llegado a través de estas letras. A Laura, Giovana, Yaneli, Saraí, Estefanía y Daniela, por su presencia, por ser libertarias y cómplices involuntarias. A mi Alma Mater donde he dejado y he obtenido los principios más enriquecedores de mi presente y su futuro.

"Dejen que el futuro diga la verdad y evalúe a cada uno de acuerdo a sus trabajos y logros:  
El presente es de ellos... Pero el futuro,  
por el cual trabajé tanto, es mío"

Nikola Tesla

"La vida es una unión simbiótica y cooperativa que permite triunfar a los que se asocian"

Lynn Margulis

En sus 10 mandamientos, Dios olvidó mencionar a la naturaleza. Entre las órdenes que nos  
envió desde el monte Sinaí, el Señor hubiera podido agregar, pongamos por caso:  
"Honrarás a la naturaleza de la que formas parte" Pero no se le ocurrió.

Eduardo Galeano

Cómo voy a creer / dijo el fulano que el mundo se quedó sin utopías, cómo voy a creer que la  
esperanza es un olvido o que el placer una tristeza.

Mario Benedetti

Utopías

Un poema es una ciudad llena de calles y cloacas, llena de santos, héroes, pordioseros, locos,  
banalidad, y embriaguez llena de lluvia, truenos y períodos de ahogo,  
un poema es una ciudad preguntando por qué a un reloj.

Charles Bukowski

Un poema es una Ciudad

Unos cuantos metros cúbicos más en mi cisterna contra un verano Leonino, estableciendo  
prioridades, miles han vivido sin amor, nadie sin agua.

Wystan Hugh Auden

Lo primero es lo primero

## Índice

1.	Introducción .....	1
2.	Antecedentes .....	4
3.	Planteamiento del problema .....	7
4.	Justificación.....	8
5.	Objetivos .....	9
5.1	Objetivo General.....	9
5.2	Objetivos Específicos .....	9
6.	Hipótesis.....	10
7.	Marco Teórico .....	11
7.1	Gestión Integrada de los Recursos Hídricos .....	11
7.2	Área Natural Protegida .....	12
7.3	Servicios Ecosistémicos.....	12
7.4	Gestión Integral de Cuencas .....	13
7.4.1	Manejo de Cuencas.....	14
7.4.2	Impermeabilización de Cuencas.....	14
7.4.3	Morfometría de Cuencas .....	15
7.5	Hidrología e Hidrogeología .....	15
7.6	Agua subterránea .....	15
7.6.1	Importancia de las aguas subterráneas .....	16
7.6.2	Acuífero .....	16
7.6.3	Zonas de Recarga Hídrica.....	17
7.6.4	Sistemas de Flujo.....	18
7.7	Ciclo Hidrológico .....	19
7.8	Balance Hídrico .....	20
7.9	Sequía.....	21
7.10	Escasez de agua .....	21
7.11	Marco Legal.....	21
8.	Materiales y Métodos .....	24
8.1	Caracterización y descripción territorial del área de estudio .....	24

8.2	Metodología .....	32
8.2.1	Delimitación del área de estudio .....	32
8.2.2	Identificación Zonas de Recarga Hídrica .....	35
8.2.3	Delimitación de Microcuencas .....	36
9.	Resultados.....	37
10.	Discusión .....	65
11.	Conclusiones.....	74
12.	Propuestas.....	77
13.	Bibliografía.....	80
14.	Anexos.....	87

## Índice de Figuras

Figura 1. Relación impermeabilización de cuencas urbanas .....	14
Figura 2. Sistemas de Flujo .....	18
Figura 3. Acuíferos Toluquilla y Atemajac .....	24
Figura 4. Distribución de pozos REDPA .....	26
Figura 5. Disponibilidad de agua acuíferos Toluquilla-Atemajac.....	27
Figura 6. Tendencia poblacional ZMG. ....	28
Figura 7. Tendencia de crecimiento ZMG.....	29
Figura 8. Crecimiento ZMG .....	29
Figura 9. Red hídrica acuíferos.....	37
Figura 10. Red hídrica y urbanización.....	37
Figura 11. Clasificación de pendientes.....	38
Figura 12. Porcentaje de texturas. ....	39
Figura 13. Tipo de Rocas (litología.....	40
Figura 14. Unidades Geohidrológicas. ....	41
Figura 15. Uso de Suelo .....	42
Figura 16. Urbanización Zona Metropolitana de Guadalajara. ....	43
Figura 17. Dinámica crecimiento poblacional y zona urbana .....	44
Figura 18. Relación impermeabilización acuíferos. ....	45
Figura 19. Precipitación zona de estudio.....	46
Figura 20. Evapotranspiración potencial.....	47
Figura 21. Evapotranspiración real.....	47
Figura 22. Escorrentía método Pervert. ....	48
Figura 23. Coeficiente de Infiltración.....	50
Figura 24. Zonas de infiltración. ....	51
Figura 25. Microcuencas Acuíferos Toluquilla Atemajac.....	52
Figura 26. Microcuencas prioritarias.....	53
Figura 27. Ciclo hidrológico natural y urbano. ....	59
Figura 28. Infiltración potencial. ....	60
Figura 29. Escorrentía potencial.....	60

Figura 30. Balance hídrico.....	61
Figura 31. Microcuencas prioritarias, protección de zonas de recarga hídrica. ....	62
Figura 32. Representación uso de la protección de ZRH. ....	63

## Índice de Cuadros

Cuadro 1. Distribución de usuarios del SIAPA.....	30
Cuadro 2. Distribución por fuente de abastecimiento. ....	31
Cuadro 3. Manejo del agua por parte del SIAPA. ....	31
Cuadro 4. Coeficiente de escorrentía.....	34
Cuadro 5. Ponderación de recarga hídrica.....	35
Cuadro 6. Clasificación de pendientes ....	39
Cuadro 7. Porcentaje de texturas ....	40
Cuadro 8. Porcentaje tipo de Rocas.....	41
Cuadro 9. Unidades Geohidrológicas.....	42
Cuadro 10. Porcentaje uso de suelo.....	43
Cuadro 11. Relación Zona Urbana, Acuíferos y Población ....	44
Cuadro 12. Coeficientes de escorrentía.....	49
Cuadro 13. Coeficiente de infiltración. ....	50
Cuadro 14. Resumen valores de parámetros morfométricos microcuencas. ....	55
Cuadro 15. Lineamientos y Características de las microcuencas prioritarias ....	57

## Índice de Anexos

Anexo 1. Sistematización, Valoración y Cosmovisión del Agua.....	87
Anexo 2. Parámetros Morfométricos.....	94
Anexo 3. Marco Legal.....	98
Anexo 4. Extracción y distribución del agua en la ZMG. ....	105

## **1. Introducción**

El agua es la base para la vida, de tal manera que la humanidad se ha desarrollado y establecido en lugares con abundante recurso, históricamente siempre estará relacionada con la distribución de asentamientos humanos. El agua es un bien que utilizamos no solo para satisfacer nuestras necesidades básicas, también forma parte esencial de los procesos productivos y en la generación de energía, siendo esta fundamental en la economía mundial. El manejo integral así como la gestión individual de cada actividad tienen un dinamismo directo sobre la calidad y cantidad de agua disponible para el suministro del recurso, limitando o potencializando el uso según sea el caso.

Los recursos hídricos y su gestión afectan prácticamente a todos los aspectos de la sociedad y de la economía; en particular, la salud, la producción y la seguridad alimentaria, el abastecimiento doméstico de agua y el saneamiento, la energía, la industria y el funcionamiento de los ecosistemas (UNWATER, 2011).

El agua superficial como subterránea hoy ha tomado un precio económico, olvidando a conciencia el valor como gestor de vida, las diversas actividades dentro de las grandes ciudades han menguado el valor intrínseco, los servicios ecosistémicos de ríos, lagos y lagunas han sido relegados de la vida cotidiana, y de los sistemas político y económico. Hoy se habla de escasez, disponibilidad, contaminación y calidad del agua, mismos términos que son utilizados para gestionar unilateralmente los recursos hídricos, que como tal el agua es mucho más que un recurso.

Anualmente, México recibe del orden de 1.489 Miles de Millones de metros cúbicos de agua en forma de precipitación (CONAGUA, 2012). De esta agua, el 73.1% se evapotranspira y regresa a la atmósfera; el 22.1% escurre por los ríos o arroyos y el 4.8% restante se infiltra al subsuelo y recarga los acuíferos, de tal forma que los acuíferos del país reciben 78.5 mil millones de metros cúbicos de agua dulce renovable y se les extraen por medio de pozos, norias, galerías filtrantes y manantiales 27.5 mil millones de metro cúbicos. En México se estima que el 95% del agua disponible para uso humano está en los acuíferos (CONAGUA, 2010).

Para comprender la situación y la importancia del cuidado y manejo integral del agua es necesario conocer la dinámica hídrica o el ciclo hidrológico, que básicamente inicia por la actividad solar, la radiación acciona aguas continentales y oceánicas, generando vapor que se eleva y forma parte de la atmosfera, se enfría y adquiere la forma típica de nubes hechas de partículas de agua, se condensan, y esas partículas se agrupan llegando a un peso que no pueden sostenerse en el aire y por gravedad caen a la superficie, precipitándose, una vez tocando superficie la mayoría del líquido se ve forzado a tomar dos rutas; escurrir a través de ríos, arroyos que posteriormente llegaran a lagos lagunas o directamente al océano, otro camino es la infiltración o absorción de agua, una porción constituye la absorción de las raíces de la cubierta vegetal, que será transpirada por las hojas y la humedad del suelo que gradualmente se evaporara, la mayor cantidad de agua cae directamente a lagos y el mismo océano (Toledo, 2006).

Geográficamente el área donde ocurre la filtración es denominada zona de recarga hídrica (ZRH), técnicamente se diferencian dos zonas; de recarga hídrica (ZRH) y de descarga hídrica (ZDH), que generalmente se encuentra en otro espacio geográfico que obedece a instancias geológicas y de gravedad, así mismo se puede hablar de una tercera zona; zona de transición hidrológica (ZTH), esta zona comprende los movimientos del agua desde la ZRH hasta la ZDH. Dependiendo la geomorfología los acuíferos se clasifican en abiertos (donde hay entrada y salida) y cerrados o conocidas como aguas fósiles, de acuerdo a la dirección y dimensiones espaciales los acuíferos se definen como: local, intermedio y regional (Carrillo, 2005).

Estas aguas subterráneas tienen importante papel en la naturaleza y sustentan de los servicios que se derivan de su manifestación en manantiales ríos, lagos humedales y áreas de freáticas (Younger et al., 2001).

En muchos países, particularmente en zonas áridas, las aguas subterráneas son de vital importancia tanto para el mantenimiento de los ecosistemas como para el sustento y la salud de la mayoría de la población, pues proporcionan casi toda el agua necesaria para uso doméstico, agrícola e industrial (Dinerstein et al., 2003).

Los mecanismos por los que el agua se infiltra son diversos y están relacionados con zonas de recarga hídrica, las que por sus características físicas y orográficas, con la adecuada cobertura vegetal se incrementa la absorción superficial y se evita la erosión.

Las actividades que interfieren en los procesos hídricos, como la remoción de cobertura vegetal, facilita la compactación del suelo, la construcción de infraestructuras que impermeabilizan zonas de recarga y modifican los patrones de escorrentía, generan conflictos a las poblaciones cercanas y a la postre a poblaciones cercanas aguas abajo (UEPC, 2010).

La deforestación, los cambios en la cobertura vegetal, el cambio de uso de suelo, el crecimiento desordenado, la urbanización y construcción de obras civiles, entre otras, son las principales amenazas humanas a las ZRH cuyos efectos indirectos tienen como resultado la disminución de la recarga y consecuentemente la incapacidad de abastecer la ciudad con recurso hídricos cercanos a la misma.

Actualmente, los estudios de hidrológicos en zonas urbanas están motivados por la importante interacción entre las aguas subterráneas (AS) y el desarrollo socioeconómico de las ciudades. La progresiva urbanización afecta la disponibilidad del agua así como su calidad, lo cual tiene importantes implicaciones sociales, ambientales, económicas y políticas (Vázquez, 1999).

En el medio urbano las aguas subterráneas son casi siempre el primer recurso que se utiliza con fines de abastecimiento de agua, porque poseen los siguientes beneficios: a) son de excelente calidad natural; b) son más seguras como fuente de abastecimiento en época de sequías; c) pueden utilizarse para el abastecimiento público y la utilización privada independientemente; y d) son atractivas en términos de inversiones de capital. Razones por las cuales contribuyen al desarrollo integral de las ciudades (Foster et al., 2001).

El presente estudio abordará el tema de la urbanización y las ZRH de la Zona Metropolitana de Guadalajara, priorizando las estrategias para su protección, a través de áreas naturales protegidas interactuando con zonas urbanas.

## 2. Antecedentes

La Ciudad de Guadalajara se asentó en el valle de Atemajac, después de haber sido una ciudad itinerante en el occidente de México. En 1531 ocupaba lo que hoy es la ciudad de Nochistlán, Zacatecas, en el año 1535 se ubicó en Tacotán al otro lado del río Grande Santiago, donde ascendió a la categoría de ciudad por lo que el 8 de noviembre de 1539 se le otorgó escudo de armas. En 1541 tras ser arrasada de manera natural, se decidió el traslado a su punto definitivo, El Valle de Atemajac, de forma casi circular, provista de un “buen arroyo y muchos manantiales”. El río de San Juan de Dios lo dividía por el centro de Sur a Norte, según Thomas Calvos, el hecho de establecer Guadalajara en el centro de la circunferencia, era “apostar al porvenir” de una futura ciudad metrópoli” (López, 2002).

Para 1600 el Presidente D. Santiago de Vera, encargó los primeros estudios para traer agua de los Colomos. En 1640 se desata la necesidad de traer más agua, esta vez del cerro de Toluquilla, Tesistán y San Agustín. Entre 1731 y 1740 Pedro Buzeta construyó tres acueductos subterráneos. Para 1778 las obras estaban dañadas por temblores y malos trabajos de restauración. El Fraile Diego Martín de Moya estudió las alternativas de Colomos y Toluquilla, posteriormente aumentó la distancia a San Pedro, Río Grande, Lago de Chapala y la Laguna de Cajititlán, su conclusión junto con Manuel Conique fue contundente, había que dar mantenimiento a los colectores de Buzeta y procurar los manantiales; más no fue aceptado, se buscaron alternativas para crear obras y aprovechar el otros lugares, fomentando la capitalización del gobierno con grandes obras (López, 2002).

Para 1888 se aprovechaban las aguas de El Collí y Agua Azul, logrando una distribución de 52 lps. En 1947 Guadalajara suministraban 133 litros por persona, durante ese lapso se perforaron pozos en el Valle de Tesistán aportando 300 lps.

En 1952 se crea el Patronato de los Servicios de Agua Potable y Alcantarillado (Martínez, 1994) y en 1958 se firma un convenio intergubernamental para aprovechar el agua del río Santiago; El consejo de Cuenca Lerma-Chapala otorgó  $240 \text{ Mm}^3$ , sin embargo, la ciudad conducía por el sistema viejo (1956) del río Santiago-canal de Atequiza,  $380 \text{ Mm}^3$ , de los cuales las pérdidas de conducción eran cercanas a  $190 \text{ Mm}^3$  (López, 2002).

El 27 de Marzo de 1978, el Congreso del Estado de Jalisco emitió el decreto número 9,765 a través del cual crea el Sistema Intermunicipal de Agua Potable y Alcantarillado (SIAPA) quien tiene como misión dotar servicios de agua potable, alcantarillado y saneamiento en cantidad y calidad, contribuyendo a la salud y bienestar (SIAPA, 2008).

Para 1986 se realiza la entrega del acueducto de Chapala, con una capacidad máxima de 7.5 m<sup>3</sup>. La omisión de planes para proteger los recursos existentes dentro de la ciudad y la carencia de un proyecto visionario, trajo una vorágine de malas decisiones apuntadas a la construcción y consigo el decremento de ecosistemas y ciclos hidrológicos en diferentes regiones cada vez más alejadas de Guadalajara (Martínez, 1994). Visto esto, la ZMG desde 1778 ha procurado traer agua de sitios cada vez más lejanos, denostando los cuerpos de agua y manantiales propios de la ciudad, con ello, las zonas potenciales de recarga hídrica.

Por otro lado, en 1980 Arizona realiza un acuerdo entre usuarios urbanos, mineros y agrarios; esto después de que el Secretario de Estado del Gobierno Federal de los Estados Unidos decidiera no apoyar el trasvase de aguas del río Colorado, sino se llegaba a un acuerdo sobre la gestión del agua subterránea en Arizona Connall (1982). Siendo la primera ocasión que se anteponían las condiciones del agua subterránea para la previsión de proyectos hidráulicos en América.

El grado de deterioro de las ZRH está determinado por el grado de erosión del suelo, la compactación y la deforestación. Esta situación es causada por actividades agrícolas, industriales, y construcción de viviendas en sitios no apropiados (Faustino, 2006). Para Gutiérrez (2012), la característica principal de las cuencas urbanas está representada por el incremento de la impermeabilización y la reducción de la infiltración. Estos factores incrementan el volumen y la velocidad de escorrentía produciendo mayores caudales en comparación con las cuencas no intervenidas.

La urbanización irregular en suelo de valor ambiental acelera el deterioro y la pérdida de áreas que desempeñan importantes funciones ambientales (recarga de acuíferos y captación de bióxido de carbono), esto muy evidente en la Zona Metropolitana del Valle de México (Carbone, 2008), por ello nace la propuesta de cuencas y ciudades, con financiamiento del Fondo Mexicano para la Conservación de la Naturaleza, y la fundación Gonzalo Río

Arronte. La conservación, protección y gestión del agua subterránea (AS) son de suma necesidad en la mayoría de las ciudades del mundo (Shanahan, 2009), motivo por el cual la Asociación Internacional de Hidrogeólogos creó en 1993 la Comisión de Aguas Subterráneas en Áreas Urbanas (Vázquez et al., 2005), con el objetivo de investigar el comportamiento y problemática del AS en las megaciudades, realizando estudios de impacto del medio urbano sobre la calidad y la cantidad de AS (Morris et al., 2006).

En este momento faltan instrumentos legales para delimitar y proteger las zonas de recarga de su posible impermeabilización; y para restringir las actividades a desarrollar en su superficie, de modo que no afecten la cantidad o calidad del agua infiltrada. Falta asimismo, asegurar que el cuidado de las zonas de recarga sea un factor determinante en la asignación de usos del suelo (Burns, 2013).

Peñuela et al., (2012), publica ZRH y descarga de la Zona Centro-Sur de la Mesa Central de México, basándose en el análisis de mapas sobre el tipo de suelo, vegetación, elevación topográfica, dirección del flujo subterráneo, manantiales y presencia de cuerpos naturales de agua. Galindo et al., (2011), realiza un balance hídrico para la acuífero Cuautitlan–Pachuca, generado a partir de; precipitación, evapotranspiración, escorrentía e infiltración, definiendo zonas de infiltración usando la textura y el uso de suelo.

Los estudios para la protección de aguas subterráneas en su mayoría se caracterizan por ser en zonas libres de urbanización. Una manera de protección de zonas de recarga pudiera ser la creación de áreas naturales protegidas (ANP). En Jalisco se tienen Áreas de protección hidrológica las cuales son; Sierra del Águila, Cerro Viejo-Chupinaya-Los Sabinos Carácter Estatal y, La Barranca del Río Santiago, Bosque Los Colomos, Bosque El Nixticuil - San Esteban - El Diente, de Carácter Municipal.

Cada ANP es única por su combinación de características biológicas, ecológicas y culturales. Mientas que en el pasado eran consideradas como entidades separadas, actualmente se recomienda su planeación y manejo dentro de un sistema o red, de acuerdo a la Convención de la Diversidad Biológica (WCPA, 2000). La eficiencia de las ANP es muy variable ya que depende de las situaciones socio-políticas particulares de cada nación (Bruner, 2001).

### **3. Planteamiento del problema**

La Zona Metropolitana de Guadalajara (ZMG), está constituida por ocho Municipios de estos; Zapopan, Guadalajara, Tlajomulco de Zúñiga y Tlaquepaque están situados en la delimitación administrativa de los acuíferos Toluquilla y Atemajac.

El crecimiento de la Zona Metropolitana de Guadalajara, como el de otras ciudades en el mundo ha sido de forma desordenada, asociada a intereses político-económicos, esto ha incrementado la demanda de agua, en la misma forma, la cual ha obligado a una vorágine de planes de infraestructura y selección de sitios para asegurar el abastecimiento de agua para la ciudad, sin considerar la importancia de la conservación de zonas de filtración natural dentro de la misma. La ZMG concentra una población cercana al 60% de la totalidad del Estado. Como resultado de este crecimiento sin orden ni condicionamiento a la gestión del agua, prevalece la falta de gobernabilidad del recurso, es evidente la desigualdad social y la degradación paulatina del paisaje sub-urbano, así como el empobrecimiento de los ecosistemas y sus servicios.

Existe una relación intrínseca entre el crecimiento urbano, el aumento de la población, su distribución y, la demanda de agua. No existen planes o programas donde se prioricen las zonas potenciales de recarga y estratégicas para la planeación de desarrollo urbano-territorial. Dado el crecimiento poblacional, la demanda de agua, y la disponibilidad conforme el balance hídrico de los acuíferos Toluquilla y Atemajac, se requieren de políticas de gestión integral donde participen los Municipios involucrados en la delimitación geohidrológica de los acuíferos.

Actualmente las políticas implementadas, promueven la creación de grandes obras en diferentes regiones del Estado, para así complementar el suministro, situación que es atendida en los tres órdenes de gobierno: Municipal, Estatal y Federal, a través de; Programa hídrico visión 2030, Plan Estatal de desarrollo 2013-2033, Programa nacional hídrico 2014-2018.

#### **4. Justificación**

El acuífero Toluquilla y el acuífero Atemajac proveen un promedio anual de 31% de agua potable a la Zona Metropolitana de Guadalajara. La ZMG se encuentra establecida dentro de la delimitación geopolítica de los acuíferos, por lo cual impermeabiliza zonas que pudieran ser óptimas para la infiltración, dadas las condiciones orográficas, edafológicas, y tipo de vegetación.

Por lo que es de suma importancia y necesidad; la protección, conservación y restauración de las zonas potenciales de alta recarga y la prevención de los impactos negativos sobre estas, ya que a largo plazo no es solo cuestión de suministro de agua para uso humano, sino que es imperante la conservación de los ecosistemas hídricos para garantizar el suministro de bienes y servicios ecosistémicos (MEA, 2005).

Como medida de protección de los acuíferos de la ZMG, se ha realizado un par de vedas, restringiendo nuevas concesiones para la extracción para los diversos usos de la ciudad. En el 2009 la Secretaría de Medio Ambiente y Desarrollo Sustentable (SEMADES) desarrollo un Estudio Técnico Justificativo para la creación del Área Estatal de Protección Hidrológica Subcuenca Arroyo Atemajac, propuesta que no llegó a materializarse.

Las actividades antropogénicas han detonado cambios en el funcionamiento de los ecosistemas y en los servicios que suministran. Las áreas naturales protegidas (ANP), surgen como medida política para subsanar dicho decremento ambiental, coadyuvando a la conservación de recursos naturales.

Este proyecto permite sumarse dentro de la legislación vigente a las medidas de adaptación al cambio climático por su inmediata factibilidad al proporcionar protección, suministro y reserva de agua, así mismo, el marco jurídico en materia de agua ofrece los argumentos adecuados para que las zonas de recarga hídrica de los acuíferos Toluquilla y Atemajac sean decretadas como; Área de Protección de Hidrológica

## **5. Objetivos**

### **5.1 Objetivo General**

Proponer la protección y conservación de las zonas potenciales de recarga hídrica de los Acuíferos Toluquilla y Atemajac, bajo el modelo de Área Natural Protegida en su modalidad; Área Estatal de Protección Hidrológica, con énfasis en la recarga.

### **5.2 Objetivos Específicos**

Identificar las zonas estratégicas de recarga hídrica de los acuíferos Toluquilla y Atemajac.

Proponer un Plan Integral de Manejo de Zonas potenciales de recarga hídrica.

Propuesta de ordenación territorial de la delimitación de los acuíferos.

## **6. Hipótesis**

La Zona Metropolitana de Guadalajara urbaniza las zonas preponderantes para la sustentabilidad de la misma, como son las zonas de recarga hídrica, particularmente para el acuífero Toluquilla y el acuífero Atemajac. Este crecimiento urbano impermeabiliza las zonas de recarga de los acuíferos, limitando la infiltración y el abastecimiento de la ZMG.

## **7. Marco Teórico**

### **7.1 Gestión Integrada de los Recursos Hídricos**

El agua de manera inequívoca actúa como factor determinante en la integración del desarrollo económico, social, y ecosistémico. Visto esto los temas hídricos no pueden ser tratados de forma aislada. El tradicional enfoque expansionista, económico ya no resulta válido para la toma de decisiones, se requiere una visión holística para la gestión del agua

Por ello se hace pertinente la inclusión de un término naciente de la experiencia en campo propuesto la conferencia global En Mar del Plata 1977, reafirmado en la cumbre de Mundial en 1992, en México; La Ley de Aguas Nacionales (LAN) incorporó el término y lo define de la siguiente manera; "Gestión Integrada de los Recursos Hídricos": Proceso que promueve la gestión y desarrollo coordinado del agua, la tierra, los recursos relacionados con éstos y el ambiente, con el fin de maximizar el bienestar social y económico equitativamente sin comprometer la sustentabilidad de los ecosistemas vitales. Dicha gestión está íntimamente vinculada con el desarrollo sustentable. Para la aplicación de esta Ley en relación con este concepto se consideran primordialmente agua y bosque.

La Gestión Integrada de los Recursos Hídricos (GIRH), de acuerdo a La Asociación Mundial del Agua (GWP, por sus siglas en inglés), ayuda a administrar los recursos hídricos en forma sostenible y equilibrada, teniendo en cuenta los intereses sociales, económicos y ambientales. Así mismo la GWP (2009), considera la gobernabilidad de agua como una serie de sistemas políticos, sociales, económicos y administrativos apropiados para desarrollar y gestionar los recursos hídricos y los servicios de agua a los diferentes niveles de la sociedad. La gobernanza del agua subterránea comprende la promoción de acciones colectivas responsables para asegurar un uso socialmente sostenible y la protección efectiva del recurso hídrico subterráneo para el beneficio de la humanidad y de los ecosistemas dependientes (Garduño, 2013).

De acuerdo con Arrojo (2006), es preciso distinguir categorías priorizadas, como derechos y criterios de gestión, ejecutando la Nueva Cultura del Agua, trascendiendo la gestión ecosistémica del recurso. Para ello en el Anexo [1](#) se muestra una selección de diferentes conceptos y visiones para una gestión integral del agua.

## 7.2 Área Natural Protegida

Las Áreas Naturales Protegidas (ANP) representan una de las principales estrategias de conservación a nivel mundial, se caracterizan por su gestión a través de medios legales, que buscan mantener la integridad ecológica de los ecosistemas (Sánchez et al., 2008). De acuerdo con la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente las ANP son las zonas del territorio nacional y aquéllas sobre las que la Nación ejerce soberanía y jurisdicción, en las que los ambientes originales no han sido significativamente alterados por la actividad del ser humano, o que requieren ser preservadas y restauradas.

Beneficios de las ANP:

- Captación e infiltración de agua
- Hábitat de flora y fauna
- Control biológico de plagas
- Protección al suelo
- Regulación del clima
- Mantienen la biodiversidad
- Protección de cuencas
- Aportan recursos genéticos, medicinales, bioquímicos, ornamentales, combustibles.
- Recreación y turismo
- Educación e investigación científica
- Mejoran la calidad del aire

De acuerdo al Artículo 46, de la LGEEPA se consideran áreas naturales protegidas:

- Reservas de la biosfera;
- Parques nacionales;
- Monumentos naturales;
- Áreas de protección de recursos naturales;
- Áreas de protección de flora y fauna;
- Santuarios;
- Parques y Reservas Estatales;
- Zonas de conservación ecológica municipales;
- Áreas destinadas voluntariamente a la conservación;

## 7.3 Servicios Ecosistémicos

Como los servicios de los ecosistemas están interrelacionados y no pueden ser tratados separadamente, el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) promueve una perspectiva holística para enfrentar a paquetes de servicios relacionados entre sí para revertir su declive a través de la mejora del funcionamiento del ecosistema y una resistencia creciente, definiéndolos de la siguiente manera;

*Servicios de regulación:* el clima, el agua, los peligros naturales y las enfermedades, la purificación del agua y tratamiento de residuos, los cuales son fuertemente afectados por el uso excesivo de los servicios de aprovisionamiento;

*Servicios de aprovisionamiento:* agua dulce, energía (especialmente las cuestiones emergentes de la producción de biocombustibles) y la pesca de captura;

*Servicios culturales:* Actividades recreativas y de servicios de ecoturismo;

*Servicios de apoyo:* el ciclo de nutrientes y producción primaria que subyacen en la entrega de todos los demás servicios, pero no son directamente accesibles a la gente.

#### **7.4 Gestión Integral de Cuencas**

La visión integral de la gestión de cuencas conlleva dos tipos de acciones: una orientado a aprovechar los recursos naturales (usarlos, transformarlos, consumirlos) existentes en la cuenca para fines de mejoramiento social y crecimiento económico, el otro grupo orientado a manejar (conservarlos, recuperarlos, protegerlos), con fin de asegurar la sostenibilidad ambiental (Dourojeanni (1994),

Según Dourojeanni (1994), la gestión de cuencas es un proceso donde el ser humano realiza un conjunto de acciones planificadas, coordinadas y consensuadas, para manejar, proteger, conservar y administrar adecuadamente la unidad hidrográfica, considerando su efecto y que la dinámica de dicho sistema, tienen diferentes connotaciones.

García (2005), refiere cinco enfoques para el manejo y gestión de los recursos naturales: *a) La cuenca como sistema. b) La cuenca como enfoque Socioambiental o Antrópico. c) La cuenca como unidad de planificación y evaluación de impactos. d) El Agua como recurso integrador de la cuenca y, e) Manejo de recursos naturales para la reducción de la vulnerabilidad y riesgos de desastres naturales.*

La cogestión de cuencas se conceptúa como la gestión compartida, mediante los diferentes actores locales, gobierno, empresa privada, organizaciones no gubernamentales, integran experiencias y conocimientos desarrollando procesos dirigidos a lograr impactos favorables en el manejo de recursos, en el corto, mediano y largo plazo (Jiménez et ál., 2006).

### 7.4.1 Manejo de Cuencas

Faustino (2000), refiere el manejo de cuencas como una ciencia o arte que trata de lograr el uso apropiado de los recursos naturales en función de la intervención antrópica y sus necesidades, propiciando al mismo tiempo la sostenibilidad, la calidad de vida, el desarrollo y el equilibrio ambiental. Para el INECC (2012), el manejo integral de cuencas requiere la comprensión sistémica de las interacciones entre el medio biofísico, los modos de apropiación del territorio y las instituciones existente.

### 7.4.2 Impermeabilización de Cuencas

La característica principal de las cuencas urbanas está representada por el incremento de la impermeabilización y la reducción de la infiltración debido al revestimiento del suelo como consecuencia de la construcción de nuevos edificios, pavimentación de veredas, calles y avenidas, y la remoción de la cobertura vegetal (García, 2009). La figura 1 muestra la relación existente entre la impermeabilización y la calidad del cauce o ambiente, esta relación es nombrada como Áreas Totales de Impermeabilización (ATI). De acuerdo a Kraimer (2007), los niveles de infiltración y escorrentía oscilan en 90-95% y 5-10% en condiciones naturales, mientras para ciclos urbanos 5-10% y 90-95% respectivamente.

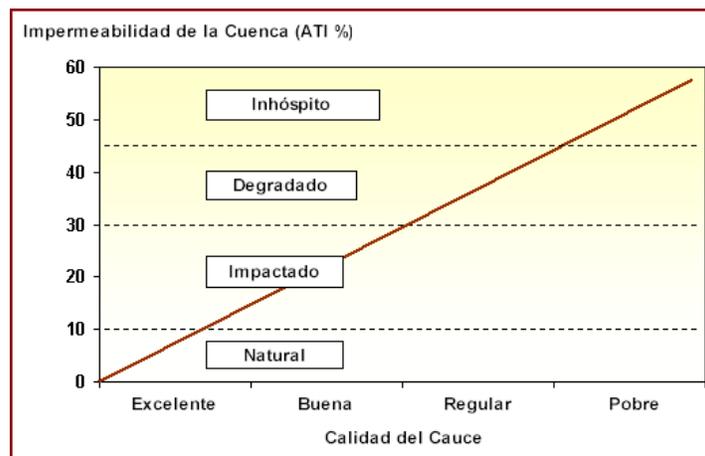


Figura 1. Relación impermeabilización de cuencas urbanas, según Zandbergen, 2000.

Según la FAO (2006), la evapotranspiración es la combinación de dos procesos separados por los que el agua se pierde a través de la superficie del suelo por evaporación y por otro lado la transpiración: *Evaporación*: Transformación física de agua líquida a vapor de agua, o la sublimación, sólido a vapor y la *Transpiración*: La transpiración es el fenómeno biológico por el que las plantas pierden agua a la atmósfera.

### **7.4.3 Morfometría de Cuencas**

Una de las herramientas más importantes en el análisis hídrico es la morfometría de cuencas (Maidment et al., 1985), ya que nos permite establecer parámetros de evaluación del funcionamiento del sistema hidrológico de una región. Los parámetros morfométricos permiten el análisis espacial, generando bases para el manejo y planeación de los recursos naturales, llámese hídricos tanto como servicios ecosistémicos; en el Anexo [2](#) se caracterizan los principales parámetros morfométricos.

### **7.5 Hidrología e Hidrogeología**

La hidrología es la ciencia que trata de las aguas terrestres, de sus maneras de aparecer, su circulación y distribución en la tierra, sus propiedades físicas y químicas, sus interacciones físicas, biológicas, y las acciones del hombre (Devie, 2002). Por tanto, la hidrología comprende dos ramas: a) hidrología de superficie y, b) hidrología subterránea o hidrogeología. La hidrogeología comenzó hace tres o cuatro decenios, debido a la importancia que el agua subterránea tiene en relación con el abastecimiento de agua a gran parte de la humanidad (Custodio, 1983).

### **7.6 Agua subterránea**

Jones (1997), define el agua subterránea como aquella que se encuentra naturalmente por debajo de la superficie de la tierra. El agua procedente de las precipitaciones atmosféricas penetra en el terreno por gravedad, favorecida por la existencia de grietas o fisuras en las rocas, y por la misma porosidad de los materiales que forman el subsuelo, constituyendo así el agua subterránea también llamada “freática” (Meléndez, 1972). Según Astorga (2003), el agua que se infiltra llega al suelo y llena los poros que hay en este y las rocas, abasteciendo así la demanda de humedad del suelo, cuando esto ocurre se da la filtración profunda, y forma la recarga de acuíferos. El agua se mueve lentamente en un acuífero, forma el nivel mínimo de agua no vinculado a un evento de lluvia. Por ello aun sin precipitación, podemos encontrar flujos de agua en manantiales y ríos (Davie, 2002).

### **7.6.1 Importancia de las aguas subterráneas**

En la actualidad el consumo de agua subterránea se ha incrementado de manera sustancial dotando agua potable en las grandes ciudades hasta un 40% del total anual. El agua subterránea es la principal fuente de abastecimiento de agua en México, el 70% de ésta abastece a la agricultura, industria y ciudades, asimismo, es la componente hídrico mayoritario superior al 95% en el ambiente. Los acuíferos aportan entre el 25% y el 40% del agua para uso doméstico a nivel global y son una fuente muy importante de suministro de agua para la mitad de las megaciudades en todos los continentes (Gun, 2004).

Este almacenamiento sensiblemente mayor del agua subterránea en los acuíferos concede a este recurso una gran inercia, de modo que los acuíferos o embalses subterráneos sufren menos la variabilidad del clima. Esta característica de las aguas subterráneas es muy importante desde el punto de vista práctico, especialmente al programar acciones para mitigar los efectos de la sequía (Brumbaugh et al., 1994).

Las aguas subterráneas no son más que una de las fases o etapas del ciclo del agua, no tienen necesariamente un origen magmático o profundo. A veces se olvida esta obviedad y se explotan las aguas de una cuenca hidrológica como si nada tuviera que ver con las precipitaciones o la escorrentía superficial, con resultados indeseables (Faustino, 2006). La gobernanza del agua subterránea comprende la promoción de acciones colectivas responsables para asegurar un uso socialmente sostenible y la protección efectiva del recurso hídrico subterráneo para el beneficio de la humanidad y de los ecosistemas dependientes (Garduño, 2013).

### **7.6.2 Acuífero**

Acuífero (Del latín *fero*, llevar) es una formación geológica que contiene agua en cantidad apreciable y que permite su circulación a través de ella. Un acuífero se define como un estrato, formación o unidad geológica porosa y con permeabilidad, capaz de almacenar y transmitir agua por medio de sus poros, grietas o fracturas (Custodio y Llamas, 1976). La capacidad de almacenamiento y transmisión de agua, requiere de una resistencia baja para que fluya, o una alta permeabilidad (Pinder, 2006).

De acuerdo a características litológicas se clasifica en: a) *Detríticos*. b) *Carbonatados* c) *Aluviales*. d) *Volcánicos*. De acuerdo a la porosidad se clasifican en: a) *Acuíferos porosos*. b) *Acuíferos fisurados*. De acuerdo a la estructura geológica (presión hidrostática) de los materiales que conforman a los acuíferos y las condiciones hidráulicas pueden ser acuíferos: a) libres. b) confinados. c) semiconfinados. d) colgado.

### **7.6.3 Zonas de Recarga Hídrica**

Orozco (2003), denomina recarga hídrica al proceso por el cual el agua se incorpora a un acuífero, agua procedente del exterior del contorno que lo limita. Son varias las procedencias de esa recarga, desde la infiltración de la lluvia y las aguas superficiales, hasta la transferencia de agua desde otro acuífero (Faustino, 2007).

Las condiciones que determinan la velocidad y el caudal de recarga de aguas subterráneas, se relacionan con la precipitación y la facilidad de filtración (Benítez, 1972). Para Linsley (1977), la velocidad de flujo de las aguas subterráneas es regularmente muy baja, por ello el ritmo de renovación es muy lento, el agua subterránea puede fluir entre 1 y 100m al año, del tal modo que a un acuífero se le extrae más agua de la que se recarga. Los acuíferos recargan en cualquier área que: a) exista suelo o roca permeable, b) este en comunicación hidráulica con los acuíferos y, c) este temporalmente en contacto con agua. Estos factores definen la recarga y ocurren en diferentes grados relativos a las capas que sobre yacen a los acuíferos (Fetter, 2001).

Las áreas de recarga de los acuíferos pueden o no estar a grandes distancias de donde son explotados (Faustino, 2007), además de las ZRH se definen dos zonas las cuales son: 1) *Zona de Circulación*: fracción que comprende el tránsito del agua dentro del acuífero, la altura piezométrica apenas varía con la profundidad (Peñuela, 2007). 2) *Zona de Descarga Hídrica*: zona donde el agua sale del acuífero, puede ser a un manantial o descarga al Mar, o a un Río. Aquí el valor del nivel piezométrico aumenta con la profundidad, el flujo es vertical ascendente y convergente (Peñuela, 2007).

## 7.6.4 Sistemas de Flujo

El concepto de los sistemas de flujo de agua subterránea ayuda al entendimiento del comportamiento químico o hidráulico del agua subterránea, también explica fenómenos ambientales que están relacionados con la extracción de agua (Tóth, 2000).

Tóth (1970), define ambiente hidrogeológico como un modelo conceptual de parámetros morfológicos, geológicos y climáticos que determinan los atributos principales de un régimen de agua subterránea. Los atributos que definen un régimen de agua subterránea son: 1) *el contenido de agua en las rocas*, 2) *la geometría de los sistemas de flujo*, 3) *la descarga*, 4) *la composición química del agua*, 5) *la temperatura* y, 6) *la variación temporal de todos los anteriores*.

La forma básica de los sistemas de flujo proviene del concepto de la continuidad hidráulica, una cuenca donde se definen una zona de recarga, de tránsito, y de descarga (Tóth, 1995). Las dimensiones espaciales del acuífero y su estructura condicionan la formación de diferentes sistemas de flujo (Maderey, 2005).

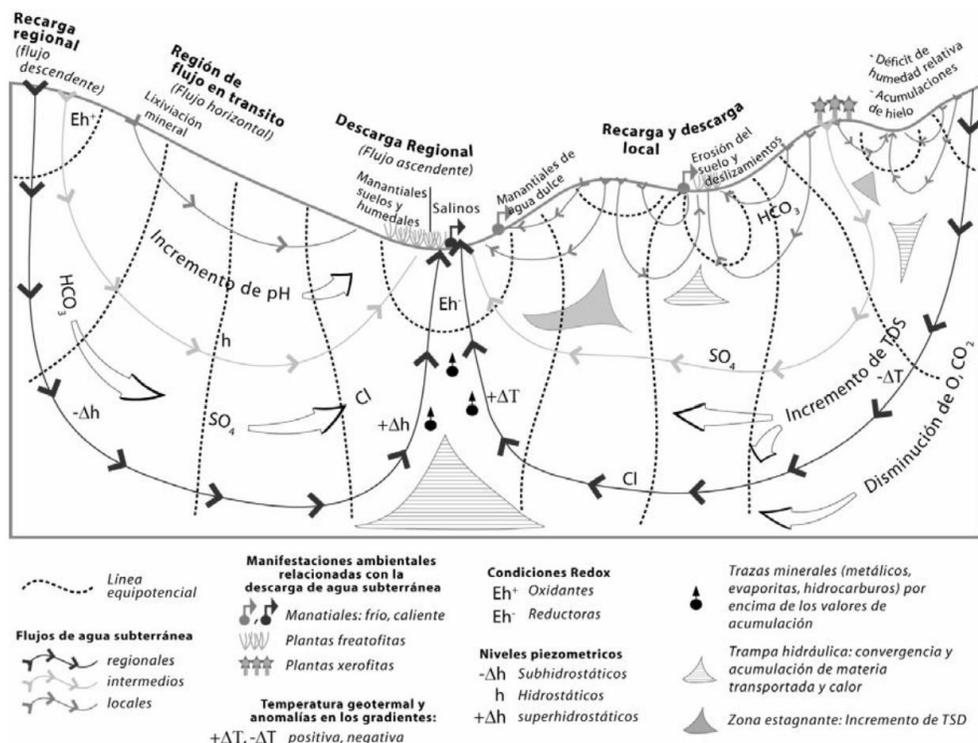


Figura 2. Sistemas de flujo, Tóth, 1999, modificada por Peñuela, 2007.

Tóth (1963), define los sistemas de flujo (ver figura 2), como; a) *local*: aquel donde su zona de recarga y descarga se encuentran a corta distancia, el agua tiene poca profundidad,

puede variar cuando cambian las estaciones del año. La presencia del flujo local se limita a una cuenca (Peñuela, 2007). b) *intermedio*: recorrido profundo, pasa el límite de descarga a una cuenca más baja, incluyen dentro de su extensión varios flujos locales, este sistema presentar movimiento vertical, el flujo lateral se lleva a cabo a mayor profundidad y mayor distancia, (Peñuela, 2007). c) *regional*: Circula a mayor profundidad, iniciando en los terrenos de mayor altitud y finalizando en zonas bajas de descarga, por lo que se pueden encontrar varios sistemas de flujo local y al menos uno de tipo intermedio (Hergt, 2009).

## **7.7 Ciclo Hidrológico**

De acuerdo con Chow (1994), el ciclo hidrológico es aquel que se genera en la hidrosfera que se extiende desde unos 15km arriba en la atmósfera hasta un kilómetro por debajo de la litosfera o corteza terrestre, por la cual el agua circula en la hidrosfera a través de una serie de laberintos interconectados. El ciclo hidrológico es el movimiento general del agua que asciende por evaporación y desciende por medio de la precipitación, para después ser parte de la esorrentía superficial o subterránea (Sánchez 2004).

### **7.7.1 Precipitación**

García (2011), define a la precipitación como la fase del ciclo hidrológico que da origen a todas las corrientes superficiales y profundas, debido a lo cual su evaluación y conocimiento de su distribución tanto en el tiempo como en el espacio son cuestiones básicas para el balance hidrológico. De acuerdo con Villón (2004), las precipitaciones se clasifican en: *Convectiva*: producto del ascenso de masas de aire caliente; de corta duración y gran intensidad. *Ciclónica*; asociadas a contacto entre masas de aire de diferente temperatura y humedad; precipitaciones prolongadas. *Orográficas*: Masas de aire húmedo son obligadas a ascender al encontrarse con barreras montañosas; lluvias copiosas.

### **7.7.2 Evapotranspiración**

Según la FAO (2006), la evapotranspiración es la combinación de dos procesos separados por los que el agua se pierde a través de la superficie del suelo por evaporación y por otro lado la transpiración: *Evaporación*: Transformación física de agua líquida a vapor de agua, o la sublimación, solido a vapor y la *Transpiración*: La transpiración es el fenómeno biológico por el que las plantas pierden agua a la atmósfera.

### 7.7.3 Escorrentía

De acuerdo con García (2011), la escorrentía corresponde a la parte proporcional de la precipitación que se dirige en forma de flujo superficial pendiente abajo normalmente fluye hacia cuerpos de agua (canales, ríos, lagos y océanos). El trayecto que sigue una gota de agua de lluvia hasta alcanzar un cauce de alguna corriente es técnicamente incierto, ya que pueden darse tres situaciones diferentes; escorrentía superficial, subsuperficial y subterránea (Orozco et al., 2003). Villón (2004), los define como: *Superficial*: proviene de la precipitación no infiltrada. *Subsuperficial*: proviene de una parte de la precipitación infiltrada. El efecto sobre el escurrimiento puede ser inmediato o retardado. *Subterráneo*: proveniente del agua subterránea.

### 7.7.4 Infiltración

La infiltración es el proceso mediante el cual el agua penetra desde la superficie del terreno hacia el suelo. La conductividad hidráulica, la porosidad del suelo, la condición de la superficie y la capa vegetal son factores que afectan la tasa de infiltración (Faustino, 2006). El agua infiltrada provee casi a todas las plantas terrestres, alimenta al agua subterránea y a la vez a la mayoría de las corrientes en el período de estiaje, reduce las inundaciones y la erosión del suelo (Maderey, 2005). La infiltración es dependiente directa de: a) Permeabilidad del Suelo, b) Humedad potencial c) Cubierta vegetal, d) Intensidad y duración de la lluvia, e) Pendiente del terreno, f) Uso del Suelo, g) Estratigrafía, h) Nivel de Escorrentía (Aparicio, 1989).

## 7.8 Balance Hídrico

El balance hídrico ayuda a determinar la disponibilidad de agua en el tiempo y espacio, se utiliza para identificar el conflicto de déficit de agua ante la necesidad que tiene el ser humano de utilizarla (Faustino, 2007).

La ecuación general de balance de acuerdo a la ley de la conservación de la masa es la siguiente:

$$\begin{aligned} \text{Entradas (E)} - \text{Salidas (S)} &= \text{Cambio de almacenamiento} \\ \text{Recarga total} - \text{Descarga total} &= \text{Cambio de almacenamiento} \end{aligned}$$

La siguiente expresión representa el balance hídrico por el método Thornthwaite.

$$P = I + ETR + Es$$

Dónde:

P; Precipitación

I; Infiltración

Es; Escorrentía

ETR; Evapotranspiración real

## 7.9 Sequía

Campos (1996), señala: “La sequía es un lapso caracterizado por un prolongado y anormal déficit de humedad”. Su magnitud, duración y severidad se consideran relativos, ya que sus efectos están directamente relacionados con las actividades humanas; si no hay requerimientos por satisfacer, aun habiendo carencia total del agua, la ocurrencia de la sequía es discutible.

Wilhite y Glantz (1985), clasifican la sequía en cuatro enfoques: *Meteorológica*: basada en datos climáticos, expresión dada por la desviación de la precipitación durante un período de tiempo determinado. *Agrícola*: referida cuando no hay suficiente humedad en el suelo para el desarrollo de un determinado cultivo. *Hidrológica*: hace referencia a una deficiencia en el volumen de aguas superficiales o subterráneas *Socioeconómica*: se produce cuando la disponibilidad de agua disminuye hasta el punto de producir daños (económicos o personales) a la población de la zona afectada por la escasez de lluvias.

## 7.10 Escasez de agua

Una zona experimentará estrés hídrico cuando su suministro anual de agua caiga por debajo de los 1,700 m<sup>3</sup> por persona. Cuando ese mismo suministro anual cae por debajo de los 1,000 m<sup>3</sup> por persona, entonces se habla de escasez de agua, y de escasez absoluta cuando la tasa es menor a 500 m<sup>3</sup> WWAP (2012). La escasez se puede visualizar en última instancia, como una función de la oferta y la demanda. Sin embargo, ambos lados de la ecuación oferta-demanda están determinados por políticas públicas” PNUD (2006).

## 7.11 Marco Legal

Para este capítulo se revisó el avance en las normas y reglamentos vigentes en la toma de decisiones en el manejo del agua y las ANP, iniciando con La Constitución de los Estados

Unidos Mexicanos; La Ley de Aguas de la Propiedad Nacional (LAPN), la Ley de Aguas Nacionales (LAN), la Ley General de Asentamientos Humanos (LGAH) la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (LGEEPA), la Ley Estatal de Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente (LEEEPA), la Ley General de Cambio Climático (LGCC). Así como las propuestas de la Ley General de Aguas (LGA) y, la Ley Estatal de Acción ante el Cambio Climático (LEACC).

La LGEEP establece las disposiciones generales referentes a las ANP en los Artículos; 44, 45 y 45 Bis; en los Artículos 57, 58, 59, 60, 61, 63, 64, 65, 66, 67, 74, 75 y 75 Bis establecen los lineamientos para la caracterización y creación de ANP.

En la parte Estatal se hace mención a la LEEEPA y los planes parciales de desarrollo urbano de Zapopan y Tlajomulco de Zuñiga;

La LEEEPA en el Artículo 43, caracteriza los términos legales aplicables a las ANP el Artículo 44 define las ANP de competencia del gobierno del Estado;

I Parques estatales;

II Formaciones naturales de interés estatal; y

III Áreas estatales de protección hidrológica.

EL Artículo 49, establece la definición de áreas estatales de protección hidrológica; como aquellas destinadas a la preservación de ríos, manantiales y aguas subterráneas, a través de la protección de cuencas, áreas boscosas, llanuras y todas aquellas áreas que tengan impacto en las fuentes de producción y/o abastecimiento de agua.

Así mismo se revisaron los Criterios Ambientales Estatales, para la elaboración y presentación de propuestas de declaración de áreas naturales protegidas en El Estado de Jalisco, aplicables en la elaboración del estudio técnico para el Área Estatal de Protección Hidrológica.

El Artículo 16, del Plan de Desarrollo Parcial Subdistrito Urbano ZPN-9/15 Bajío Norte, del Distrito Urbano ZPN-9 Valle de Tesistán Municipio de Zapopan, determina la siguiente clasificación;

VI. Áreas de Protección a Acuíferos (PA); las requeridas para la conservación y el mejoramiento de los mantos freáticos, incluyendo las obras de infiltración para la recarga acuífera. Las áreas que comprenden la extensión general del acuífero para los efectos de captación del agua pluvial para la recarga del mismo, por lo que se prohíbe cualquier tipo de urbanización o edificación que no cuenten con sus desagües o drenajes con la debida canalización;

El Artículo 8, del Plan Parcial de Desarrollo Urbano “San Agustín - San Sebastián El Grande” Municipio de Tlajomulco de Zúñiga, estipula la siguiente clasificación;

D. Áreas de conservación (AC); las tierras, aguas y bosques que por sus características de valor científico, ambiental o paisajístico deben ser conservadas. Su origen o estado natural y su grado de transformación, motivarán su preservación o nivel de conservación, de conformidad con la legislación en esta materia. En estas áreas deberá respetarse lo establecido en las Leyes Federal y Estatal del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente;

La descripción se encuentra en el Anexo [3](#) retomando cada artículo en el cual refiere el manejo del agua subterránea, acuíferos, cuencas y zonas hidrológicas.

## 8. Materiales y Métodos

### 8.1 Caracterización y descripción territorial del área de estudio

El área de estudio se centra en La Zona Metropolitana de Guadalajara, dentro de la delimitación de los acuíferos Toluquilla y Atemajac. El acuífero Atemajac con clave 1401 según el Sistema de Información Geográfica para el Manejo de las Aguas Subterráneas (SIGMAS). Limita al Noroeste con el acuífero de Arenal y Noreste con el acuífero Cuquío, al Este con Altos, al Sur con los acuíferos de Ameca y Toluquilla. Incluye totalmente el municipio de Guadalajara y de manera parcial los municipios de Tonalá, Tlaquepaque y Zapopan. El acuífero está en el Occidente de la Faja Volcánica Transmexicana (FVT).

EL acuífero Toluquilla definido con la clave 1402 del SIGMAS de la CONAGUA, Colinda al Norte con el acuífero Atemajac, al Sur con Cajititlán, al Este con Altos y al Oeste con los acuíferos San Isidro y Arenal. El acuífero se localiza en el Occidente de la Faja Volcánica Transmexicana (FVTM), al Sur de la frontera con la provincia de la Sierra Madre Occidental (SMO). En la figura 3, se observa la delimitación administrativa de los acuíferos Toluquilla y Atemajac, se aprecia la altitud del espacio geológico.

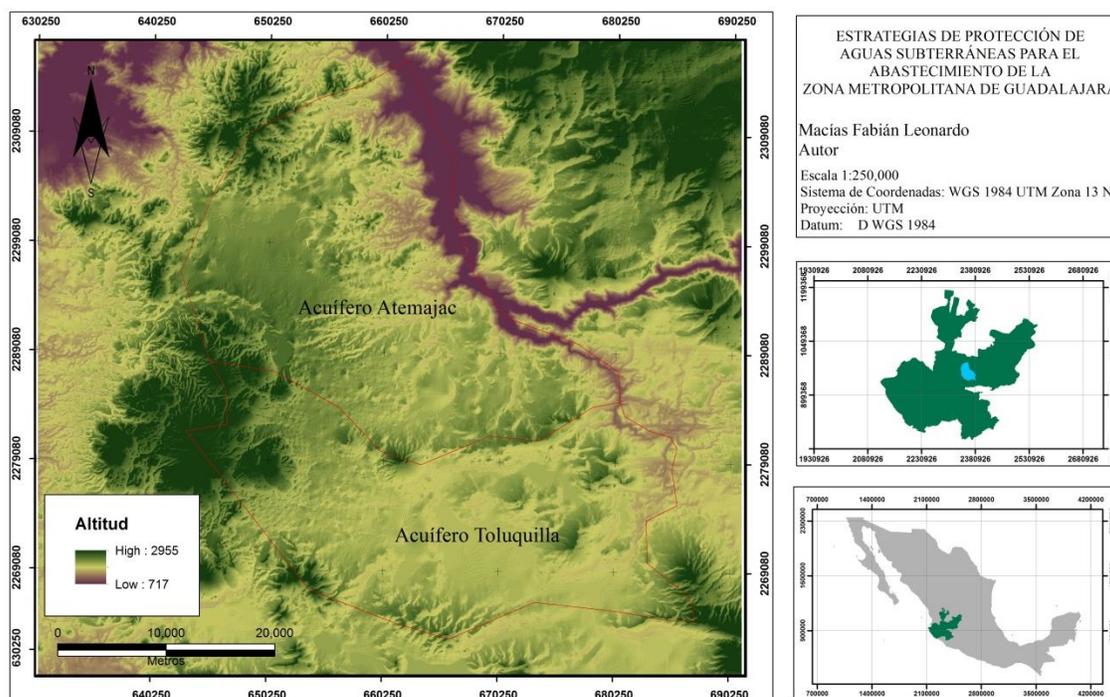


Figura 3. Acuíferos Toluquilla y Atemajac; Elaboración a partir de datos de CONAGUA.

La zona de estudio pertenece a la Región Hidrológica 12 Lerma-Santiago, Subregión Alto Santiago, Cuenca del mismo Río Grande de Santiago y a la subcuenta conocida como sistema Río Blanco- Antiguo Río San Juan de Dios. Una porción en la cuenca Río Verde – Presa Santa Rosa, y otra en la Cuenca Río Grande de Santiago, Subcuenta San Lucas Evangelista

El acuífero de Atemajac tiene una extensión superficial aproximada de 73,956 ha. Los rasgos morfológicos principales son las montañas de bloque localizadas al Norte y Noroeste del Valle de Tesistán (Basaltos, riolitas), así como los lomeríos (aluvión y tobas pumíticas). Los volcanes son conos de reducida altura, como el domo de La Primavera, localizados al Noroeste del acuífero, alcanzando una elevación de 2,000 msnm (Ver figura 8). El Valle de Atemajac, fisiográficamente se encuentra en Eje Neo volcánico, su suelo y las condiciones geológicas se formaron entre los períodos Terciario y Cuaternario

El acuífero Toluquilla tiene una extensión superficial aproximada de 63,735 ha. El área que lo cubre está formada por rasgos geomorfológicos de origen volcánico, el Complejo Volcánico La Primavera (CVLP) y la Cadena Volcánica Sur de Guadalajara (CVSG), representan los rasgos volcánicos más notables de la región. La superficie que abarca el acuífero está constituida por un registro conformado por las unidades estratigráficas: Grupo Río Santiago, Grupo Guadalajara Inferior, Grupo Guadalajara Superior, el volcanismo bimodal emplazado al sur y suroeste de la cuenca de Toluquilla y los productos volcánicos félsicos del Complejo Volcánico La Primavera (Geoex, 2003).

Ambos acuíferos suman cerca de 138 mil hectáreas, el municipio de Guadalajara se encuentra urbanizado en su totalidad. Esta zona geohidrológica tiene una densidad aproximada de a 1.45 pozos y norias (ver figura 4) en promedio por kilómetro cuadrado (INEGI, 2000). El REDPA reporta 2,519 pozos.

### **8.1.1 Aprovechamiento de agua en los acuíferos Toluquilla y Atemajac**

La CONAGUA aplica el cálculo de disponibilidad de aguas subterráneas, con el procedimiento de la Norma Oficial Mexicana NOM-011-CONAGUA-2000, por medio de la siguiente expresión:

$$DAS = Rt - DNCOM - VCAS$$

DAS; Disponibilidad media anual agua subterránea  
 Rt; Recarga total media anual  
 DNCOM; Descarga natural comprometida  
 VCAS; Volumen concesionado de agua subterránea

De acuerdo con el Registro Público de Derechos de Agua (REDPA) el volumen anual de extracción para el acuífero Toluquilla es de 118.58 Mm<sup>3</sup> Atemajac es de 123.02 Mm<sup>3</sup>. La disponibilidad de aguas subterráneas, constituye el volumen medio anual de agua disponible, a la extracción concesionada y a la descarga natural, sin poner en peligro a los ecosistemas. Conforme a la metodología indicada en la norma referida anteriormente, la disponibilidad se obtiene de restar al volumen de recarga total media anual, el valor de la descarga natural y el volumen de agua subterránea concesionado REDPA.

Para Toluquilla	Para Atemajac
DAS = Rt – DNCOM- VCAS	
DAS; 49.1 – 2.4 – 118.584733	DAS; 121.6 – 123.013137
DAS; - 71.884733	DAS; -1.413137

El déficit para Toluquilla es de 71.88 Mm<sup>3</sup>/año, para Atemajac es de 1.41 Mm<sup>3</sup>/año. La figura 5, muestra el balance hidrico para los acuíferos, en el se aprecian la diferencia que existe en las cifras publicadas por parte de las autoridades.

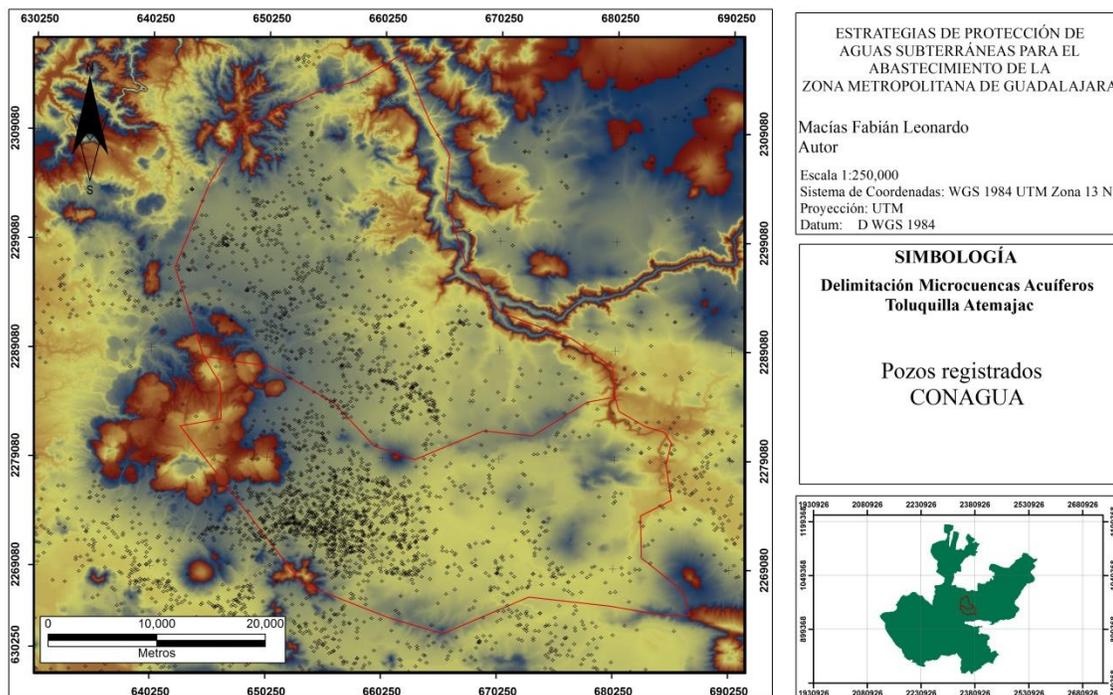
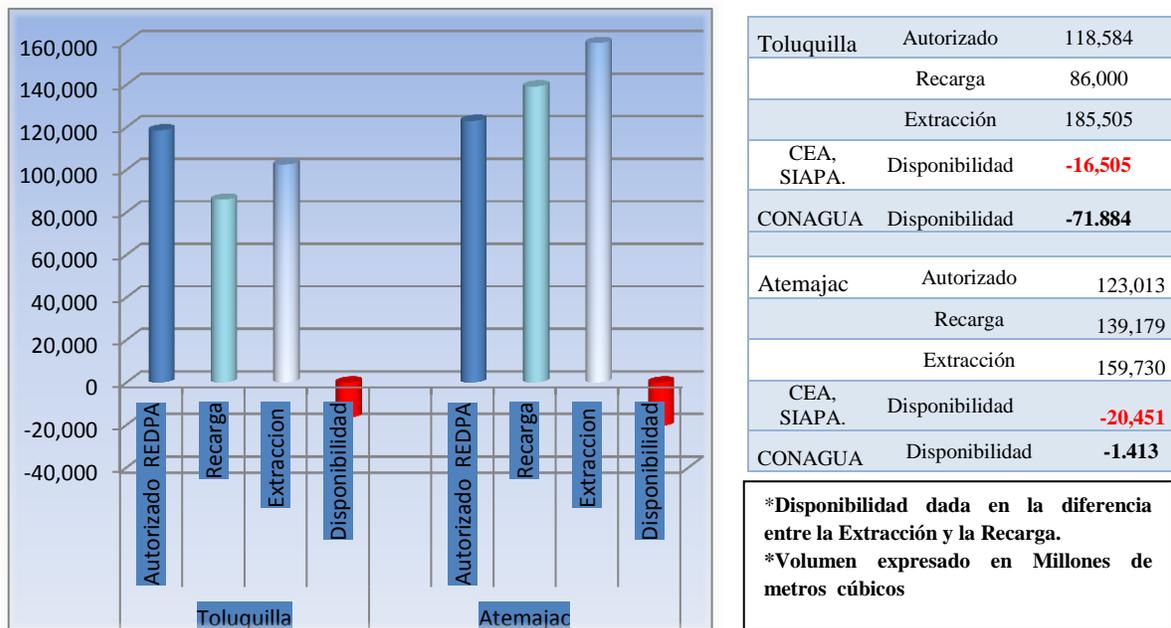


Figura 4. Distribución de pozos REDPA; Elaboración a partir de datos de CONAGUA, 2014.



**Figura 5. Disponibilidad de agua acuíferos Toluquilla-Atemajac. (2010-2012). Fuente: Elaboración a partir de datos del CEA, SIAPA y CONAGUA, 2010-2012.**

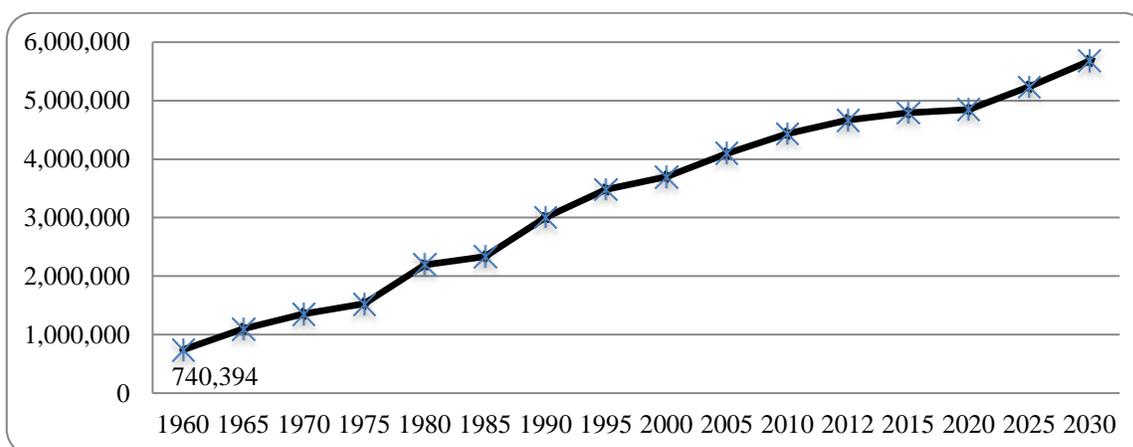
Dentro del aprovechamiento de los acuíferos se diferencian dos usos. En ellos se ve el potencial que tienen para soportar las extracciones actuales: a) *Uso Consuntivo*; es aquel que en el proceso de aprovechamiento existen pérdidas de agua; Uso Domestico, Agricultura, Ganaderia, Pecuario, Industrial. b) *Uso No Consuntivo*; es aquel en el que no existe pérdida de agua, la cantidad que entra es la misma que termina con el proceso; Navegación, Acuicultura, Recreativo, Hidroelectrico, Paisaje. Para los acuíferos encontramos diversos usos tales como; Domestico, uso Industrial, y uso Agrícola, por lo que en su proceso siempre habrá pérdida.

### 8.1.2 Dinámica Poblacional Zona Metropolitana de Guadalajara

En 1970 la ZMG estaba compuesta solo por tres Municipios: Guadalajara, Zapopan y Tlaquepaque, censó una población de 1,381,984 habitantes en una superficie de 13,020 hectáreas aproximadamente. Había 175 fraccionamientos autorizados, debido a la actividad de fraccionadores. Existía una continuidad en los mecanismos de urbanización, prevaleciendo acciones especulativas sobre las productivas (Vázquez, 1989). La segunda mitad de los años setenta reflejó la inminente sustitución de una sociedad rural por la urbana. La creciente inmigración rural detonó los asentamientos irregulares (Kruijt, 1988).

Para inicios de 1990 los ayuntamientos no proporcionaban infraestructura ni servicios públicos a desarrollos periféricos. Visto esto, se crea la Comisión para la Regularización de la Tenencia de la Tierra (CORETT). A partir de entonces se gestaron movimientos populares de carácter urbano en contra de las autoridades municipales y del Consejo de Colaboración Municipal. Los problemas urbanos que se mantenían a un nivel discreto, se desencadenaron y propiciaron la acción de grupos ecologistas, movimientos reivindicativos en torno a demandas urbanas específicas y trastornos de orden social y político, cuya expresión más grave fue la guerrilla urbana de esos años (Regalado, 1995).

En 1910, más del 70% de la población vivía en zonas rurales, a partir de los noventa solo 28% de la población vivía en zonas rurales (INEGI, 1999). Dichas condiciones dieron origen al crecimiento de las ciudades, donde la concentración de actividades, sobre todo económicas, trajo mejores oportunidades de empleo, educación y de vida (Toscano, 1990). Ante la concentración inminente de la población, a nivel nacional se crea en 1976 la Ley de General de Asentamientos Humanos, y en 1977 se promulgó la Ley de Asentamientos Humanos de Jalisco, aplicando por medio del Plan Estatal de Ordenación y Regulación de los Asentamientos Humanos (Regalado, 1995). Por ello, el paisaje urbano se contrastó cada vez más, en contraparte a los cinturones de miseria aparecieron fraccionamientos de alta burguesía, algunos emplazados mucho más allá del Valle de Atemajac en la serranía de la Primavera, empezaba a ser vulnerada por la urbanización (Camberos, 1993). Las ciudades se describen como conglomerados que sufren de un triple proceso negativo: disolución, fragmentación y privatización (Borja et al., 2000).



**Figura 6. Tendencia poblacional; Elaboración a partir de datos del INEGI y CONAPO.**

La figura 6 expresa el crecimiento de la población, con las cifras del INEGI de 1960 al 2010 y la proyección de CONAPO.

### 8.1.3 Dinámica de crecimiento zona urbana

Para 1980 la especulación y expansión económica se incrementó para casa-habitación, en estos años la ciudad creció a un ritmo superior a la tendencia poblacional, para 1985 los terrenos disponibles estaban sobre valorados, manteniéndose así durante la próxima década (ver figura 7), reduciendo la urbanización PIDU (2008).

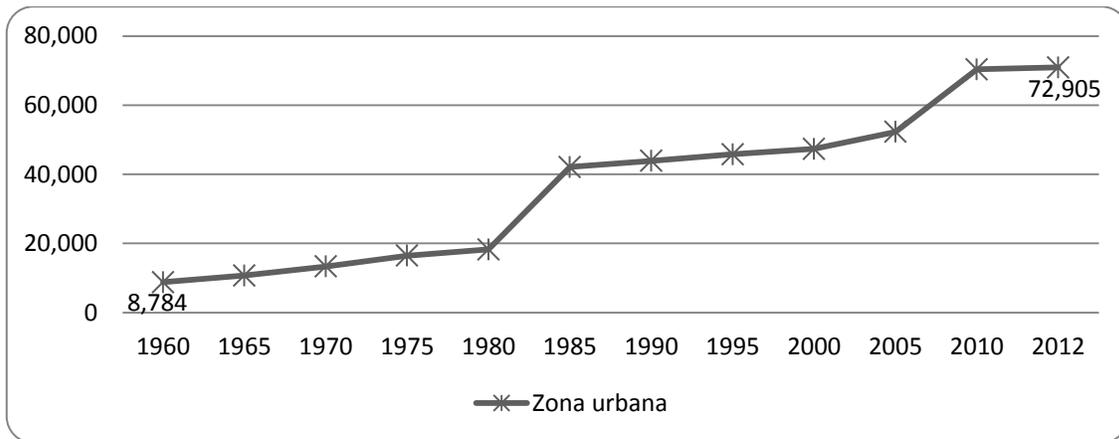


Figura 7. Tendencia de crecimiento ZMG; Elaboración a partir de datos del INEGI.

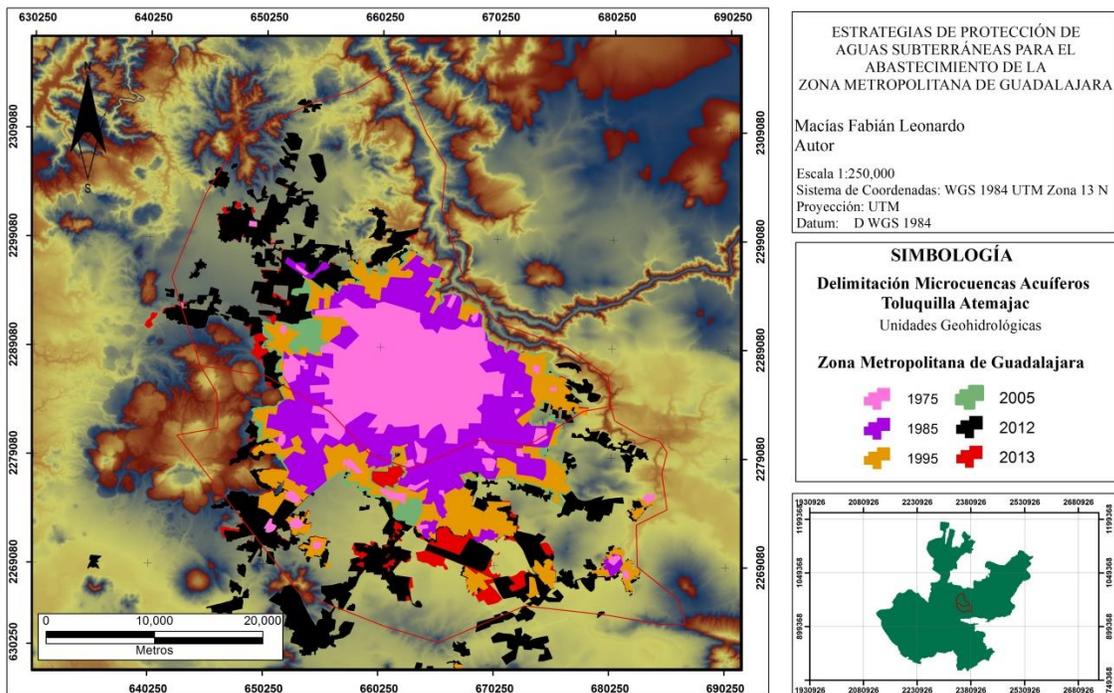


Figura 8. Crecimiento ZMG; Elaboración a partir de datos del INEGI.

La ZMG fue transformándose a finales de los sesentas en una de las versiones llamadas ciudades neocapitalistas (Davis, 2010), a través de la lenta, pero continua, adopción del modelo de suburbios de los estadounidenses (Duany et al., 2000). Se considera la construcción de la metrópoli en la era del neoliberalismo global como un proceso inequitativo y, por ello agudiza la polarización social y económica, creciendo las distancias históricamente existente (CESJAL, 2010).

El paso de ciudad a metrópoli, o el proceso de urbanismo moderno hibridizado de Guadalajara, se ha ido dando a lo largo de las últimas cuatro décadas acorde tanto a las lógicas del racionalismo constructivista (Abramo, 2009). La figura 8 muestra la expansión cronológica de la ZMG.

#### 8.1.4 Abastecimiento Zona Metropolitana de Guadalajara

El Congreso del Estado de Jalisco emitió un decreto el 27 de Marzo de 1978, a través del cual se creó la Ley para el Sistema Intermunicipal de los Servicios de Agua Potable y Alcantarillado en la Zona Metropolitana de Guadalajara. En dicho decreto “se declara de utilidad pública la implantación, operación, administración, conservación y mejoramiento del servicio de agua potable y alcantarillado en la Zona Metropolitana, integrada por los Municipios de Guadalajara, Tlaquepaque, Tonalá, Zapopan. Para la prestación del servicio se creó el SIAPA como un Organismo Público Descentralizado (OPD) con personalidad jurídica y patrimonio propio (SIAPA, 2009). Para el 2009 el SIAPA alcanzó la cifra de un millón de cuentas. Para diciembre del 2013, la cifra publica llegó a 1,101,420 cuentas, como se aprecia en el cuadro 1.

**Cuadro 1. Distribución de usuarios del SIAPA**

Usuarios	Cuentas
Habitacional	949,009
Comercial	88,727
Baldíos	55,478
Industrial	3,533
Tomas de gobierno	4,673
<b>Total</b>	<b>1,101,420</b>

**Fuente: Elaboración a partir de datos del SIAPA, 2013.**

El SIAPA para el periodo 2012-2013 registró los volúmenes por fuente de abastecimiento (Ver cuadro 2). Los porcentajes de extracción de agua para los pozos del SIAPA llegaron al

27.57% y 27.58% respectivamente. La extracción y los volúmenes de agua enviados a la Zona Metropolitana de Guadalajara durante el 2000-2009 se aprecian en el Anexo 4.

**Cuadro 2. Distribución por fuente de abastecimiento.**

Fuente de abastecimiento	2012	2013
Subterráneo	80,552,887	82,834,061
Superficial	211,673,112	217,558,520
Total (Volumen m <sup>3</sup> )	292,225,999	300,392,581

**Fuente: Elaboración a partir de datos del SIAPA, 2013.**

La demanda de agua de la ZMG es de 13.06 m<sup>3</sup>/s según publica el SIAPA, obteniendo del Lago de Chapala con 5.5 m<sup>3</sup> m<sup>3</sup>/s, de pozos profundos 3.0 m<sup>3</sup>/s, de la presa Calderón 1.0 m<sup>3</sup>/s, generando un déficit -3.56 m<sup>3</sup>/s. Durante el 2009 se potabilizó un total de 206,167.514 m<sup>3</sup>.

De acuerdo a los datos del Anexo 4 el total de extracción reportado y el total enviado al sistema de distribución tienen una pérdida del 3.26% la potabilización tiene una pérdida de 87,867.02 m<sup>3</sup>. Estas pérdidas corresponden al proceso de extracción y conducción, dentro del trasvase y la evaporación en los canales, acueductos y zonas de retención, el dato faltante es el suministro dentro de la red de distribución local, como lo resume el cuadro 3.

**Cuadro 3. Manejo del agua por parte del SIAPA.**

Extracción	294,030.53 m <sup>3</sup>	
Abastecimiento	283,486.63 m <sup>3</sup>	Potabilización 206,167.51 m <sup>3</sup>
Perdida	10,543.9 m <sup>3</sup>	Sin potabilizar 87,863.02 m <sup>3</sup>
*Agua que llega al Usuario	*Sin Dato	

Se estima que más del 40% del líquido se pierde en la red de suministro, según declaraciones de CONAGUA, mientras tanto CEA contempla 30% y el SIAPA ha publicado 30% y 40% siendo evidente la falta de estudios. Aproximadamente se tienen 7,200 km de red de drenaje, de los cuales más de la cuarta parte tiene 50 años o más.

**Fuente: a partir de datos del SIAPA 2012 y CONAGUA 2012.**

La ZMG destina entre 205 y 300 litros por habitante, según las publicaciones del SIAPA. Mendoza (2012), contabiliza un total de 280 l/ habitante. Según la OMS (2003), la cantidad adecuada para consumo humano es de 50 l/habitante, debe sumarse el aporte necesario para

la agricultura, la industria y la necesaria conservación de los ecosistemas dependientes del agua dulce, considerando una cantidad mínima de 100 l/ habitante como derecho humano.

## **8.2 Metodología**

La presente investigación se considera como retrospectiva parcial esto de acuerdo con Méndez (1984), consistente en el análisis e interpretación de los datos expuestos y generados, por lo cual el estudio se realiza bajo la premisa de causa y efecto, ya que se comparó la dinámica urbana y poblacional referido a la impermeabilización de áreas de infiltración encontradas dentro y fuera de la delimitación política de los acuíferos, utilizando los parámetros morfométricos de cuencas, el balance hídrico y la caracterización de las variables biofísicas contenidas en la zona de estudio.

### **8.2.1 Delimitación del área de estudio**

Se delimitó el área de estudio tomando los límites administrativos de los acuíferos Toluquilla y Atemajac. Dentro de estos se decidió crear áreas de estudio puntuales, delimitándolas por microcuencas, estas son utilizadas como unidades de análisis. Esta decisión fue tomada ya que la delimitación de los acuíferos no corresponde unidades ambientales sino geopolíticas, por lo tanto las zonas de recarga y descarga existentes dentro de los límites administrativos no corresponden ciertamente a los límites hidrogeológicos. Para ello se consultaron las siguientes fuentes de información: Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), Sistema de Información Geográfica para el Manejo de las Aguas Subterráneas (SIGMAS), Instituto de Información Territorial del Estado de Jalisco (IITEJ).

#### **8.2.1.1 Caracterización Biofísica del Área de Estudio**

Para la caracterización biofísica del área de estudio se utilizó un sistema de información geográfica, con el cual se crearon raster de información, utilizando datos vectoriales, la información vectorial fue descargada del servidor en línea del INEGI, a escalas 1:20,000 y 1:50,000. Se utilizaron las siguientes variables:

**Red Hídrica:** Para su creación se utilizó el modelo digital de elevación (MDE) creado a partir de curvas de nivel a 10m de equidistancia, la red fue comparada con los datos del Simulador de Flujos de Agua (SIATL, 2014).

**Pendiente:** Para la creación del raster se usó el MDE de 15m, así mismo se creó un TIN (red irregular de triángulos) con curvas de nivel a una equidistancia de 10m ambos modelos fueron realizados y comparados con sistemas de información geográfica (SIG).

**Tipo de Suelo:** Para su creación se utilizaron datos de la Serie V de INEGI (2014).

**Texturas del Suelo:** Para la creación del raster fueron utilizados los datos disponibles del INEGI en formato vectorial.

**Uso de suelo:** Para la creación del raster de uso de Suelo se utilizaron datos de la Serie V de INEGI (2014). Se reclasificaron los datos conjuntando los tipos de vegetación, Pino-Encino/Encino-Pino se le agregó la vegetación secundaria propia de su clasificación. Las unidades cartográficas Agricultura de temporal y riego fueron agrupadas en Agricultura.

**Tipos de Roca (Litología):** Para la creación del raster de tipos de Rocas, se utilizaron datos del INEGI (2014).

**Unidades Geohidrológicas:** Para su creación se utilizaron datos del INEGI (2014).

**Zona Urbanizada (ZMG):** Para la creación de la capa de la ZMG año 2013 se utilizaron imágenes de Google Earth (2013, 2014), la plataforma de ESRI (2013), el sistema digital del ITEJ (2014), y ortofotos del INEGI (2013).

**Coefficiente de Escorrentía:** Para la ponderación de valores de coeficiente de escorrentía (k) para la delimitación del área de estudio, se tomaron las tablas de Prevert según las características del terreno (Treviño et al, 2002), con tres condiciones diferentes; uso del suelo, textura y pendiente. Al no representar valores para zonas urbanas, se complementó con los coeficientes registrados por Chow et al., (1993), de la misma manera se incluyeron datos para la Selva Baja Caducifolia (SBC). Como lo representa el cuadro 4.

**Coefficiente Infiltración:** Bajo los mismos parámetros del método Prevert, donde se pondera a cada variable con un índice o coeficiente se toma de la siguiente ecuación:

$$P - Es - ETR - I = 0 \text{ y } (1 - Es = I) \text{ (1 - I = Es)}$$

Dónde:

P; Precipitación

Es; Escorrentía

ETR; Evapotranspiración Real

I; Infiltración

**Cuadro 4. Coeficiente de escorrentía**

Coeficiente de Escorrentía Método Prevert				
Uso de suelo	Pendiente	Textura		
		Gruesa	Media	Fina
Bosque	0-5	0.10	0.30	0.40
	5-10	0.25	0.36	0.50
	10-30	0.30	0.40	0.60
	>30	0.32	0.42	0.63
Pastizal	0-5	0.15	0.35	0.45
	5-10	0.30	0.40	0.55
	10-30	0.35	0.45	0.65
	>30	0.37	0.47	0.68
Agricultura	0-5	0.30	0.50	0.60
	5-10	0.40	0.66	0.70
	10-30	0.50	0.70	0.80
	>30	0.53	0.74	0.84
SBC	0-5	0.15	0.35	0.45
	5-10	0.25	0.45	0.55
	10-30	0.30	0.50	0.60
	>30	0.35	0.55	0.65
Zona Urbana	0-5	0.70	0.81	0.92
	5-10	0.76	0.85	0.93
	10-30	0.88	0.91	0.94
	>30	0.95	0.95	0.95

Fuente. Treviño *et al.* (2002) y Chow *et al.* (1993).

Para la creación de raster de información se utilizaron los datos publicados por el INIFAP, Estadísticas Climáticas Normales para el Estado de Jalisco 2010, periodo 1960-2010. Se procesaron las siguientes variables: *a) Precipitación, b) Lluvia Máxima, c) Temperatura Media, d) Temperatura Máxima, e) Evapotranspiración, f) Evapotranspiración Real.*

### 8.2.1.2 Balance hídrico

Una vez obtenidos los raster de precipitación y evapotranspiración real, se calculó el coeficiente de escorrentía de acuerdo a los coeficientes de Prevert, se generó un raster para el procesamiento y así obtener la infiltración, posteriormente se realizó el Balance Hídrico acorde a la siguiente formula.

$$P = I + ETR + Es$$

Dónde:

P; Precipitación

I; Infiltración

Es; Escorrentía

ETR; Evapotranspiración real

## 8.2.2 Identificación Zonas de Recarga Hídrica

Para la identificación de las zonas de recarga hídrica se utilizó la metodología explicada por Matus (2007). Se decidió usar esta metodología al considerar los medios técnicos disponibles. El método es práctico y sencillo, ya que parte de los datos son de fácil acceso, útiles con el manejo de sistemas de información geográfica. Matus propone un rango de ponderación de 1 a 5, siendo el 5 la puntuación de mayor factibilidad de recarga del sitio y 1 la menor capacidad de infiltración, reclasificándola como; Muy Alta, Alta, Media, Baja y Muy Baja. Para evaluar la potencialidad de infiltración, se tienen como variables a: Pendiente, uso de suelo, tipo de roca (Litología) cobertura vegetal y textura de Suelo. Para cada variable se creó una capa de información vectorial, ponderando los valores acordes al cuadro 5. La siguiente ecuación representa el potencial de recarga hídrica:

$$ZR = [0.27 (\text{Pend}) + 0.23 (\text{Ts}) + 0.12 (\text{Tr}) + 0.25 (\text{Cve}) + 0.13 (\text{Us})]$$

ZR; Zona de Recarga  
 Pend; Pendiente  
 Ts; Textura de Suelo  
 Tr; Tipo de Roca  
 Cve; Cobertura Vegetal  
 Us; Uso de Suelo

**Cuadro 5. Ponderación de recarga hídrica, modelo propuesto por Matus (2007).**

Pendiente %	Tipo de Textura	Tipo de Roca	Cobertura Vegetal %	Uso del Suelo	Posibilidad	Ponderación
0-6	Franco arenoso	Muy permeable	>80	Bosque, con los tres estratos (árboles, arbustos, hierbas)	Muy Alta	5
6-15	Franco	Permeables	70-80	Sistemas agropastoriles o silvopastoriles	Alta	4
15-45	Franco limoso	Moderadamente permeable	50-70	Terrenos cultivados con obras de conservación	Moderada	3
45-65	Franco arcilloso	Poco permeable	30-50	Terrenos cultivados sin obras de conservación	Baja	2
>65	Arcilloso	Impermeable	<30	Terrenos agropecuarios de manejo intensivo	Muy Baja	1

La ponderación para la Textura corresponde a; 5 para los valores de textura gruesa, y 1 para textura fina. Para el tipo de roca la ponderación es; 5 para Q(s) y 1 para Ts (Igeb), estos valores comparados con las Unidades Geohidrológicas; 5 Material No Consolidado

Posibilidades Altas y 1 para Material Consolidado Posibilidades Bajas. Para la cobertura vegetal se da por hecho el valor del cuadro 5, correspondiendo al uso de Suelo, en este la ponderación es; 5 para Bosque y 1 para Zona Urbana. Se decide utilizar los valores de facto, puesto que no se tiene caracterizada el área de estudio, y este trabajo no contó con recursos para realizar la prospección de la cobertura vegetal.

### **8.2.3 Delimitación de Microcuencas**

Para la creación de las microcuencas se usó un modelo digital de elevación (MDE) de 15m de resolución, se procesó en programas de sistemas de información geográfica, utilizando las herramientas de hidrología; dirección de flujo, acumulación de flujo, drenaje, red hídrica. Para ello se consultó el SIATL (2014) y el INEGI (2013).

#### **8.2.3.1 Lineamientos Microcuencas**

Para la creación de lineamientos y condición de cada microcuenca se utilizó el acuerdo celebrado por el Congreso del Estado el 29 de Noviembre de 2006 en Guadalajara, Jalisco; Donde refiere los criterios ambientales estatales, para la elaboración de propuestas de declaración de áreas naturales protegidas en el estado de Jalisco, enfatizado en su punto 3.4; Criterios ambientales aplicables en la elaboración del estudio técnico para el Área Estatal de Protección Hidrológica, en el cual se establecen tres unidades de manejo:

***Unidad de manejo para el aprovechamiento productivo:*** son aquellas áreas donde las actividades productivas no afectan de forma significativa el recurso agua y por tanto se conservan las funciones ambientales.

***Unidad de manejo para el aprovechamiento hidrológico:*** Pueden ser las áreas donde se encuentran los ríos, las presas, los bordos, las norias y los manantiales donde se presenta un balance hidrológico positivo.

***Unidad de manejo para la recuperación:*** son aquellas áreas donde se pretende la restauración del medio hidrológico, mediante la aplicación de medidas correctivas o limitativas.

## 9. Resultados

**Red Hídrica:** Dentro de la delimitación de los acuíferos Toluquilla y Atemajac, se encuentran aproximadamente 1,812.00 km de red hídrica. Como se aprecia en la figura 9.

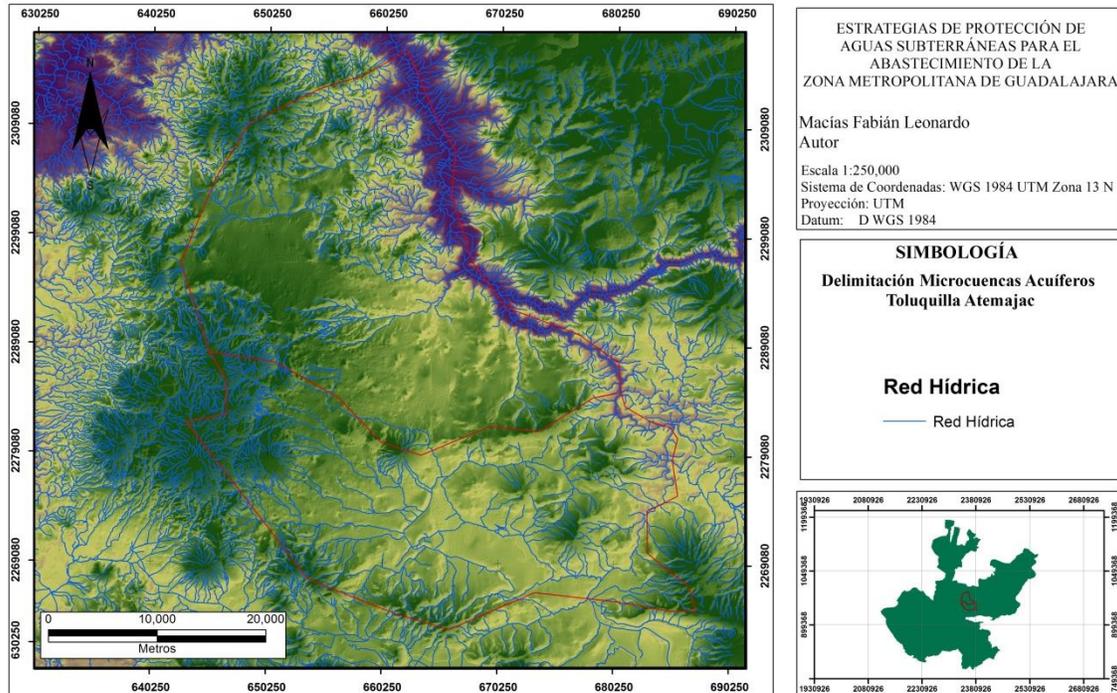


Figura 9. Red hídrica acuíferos.

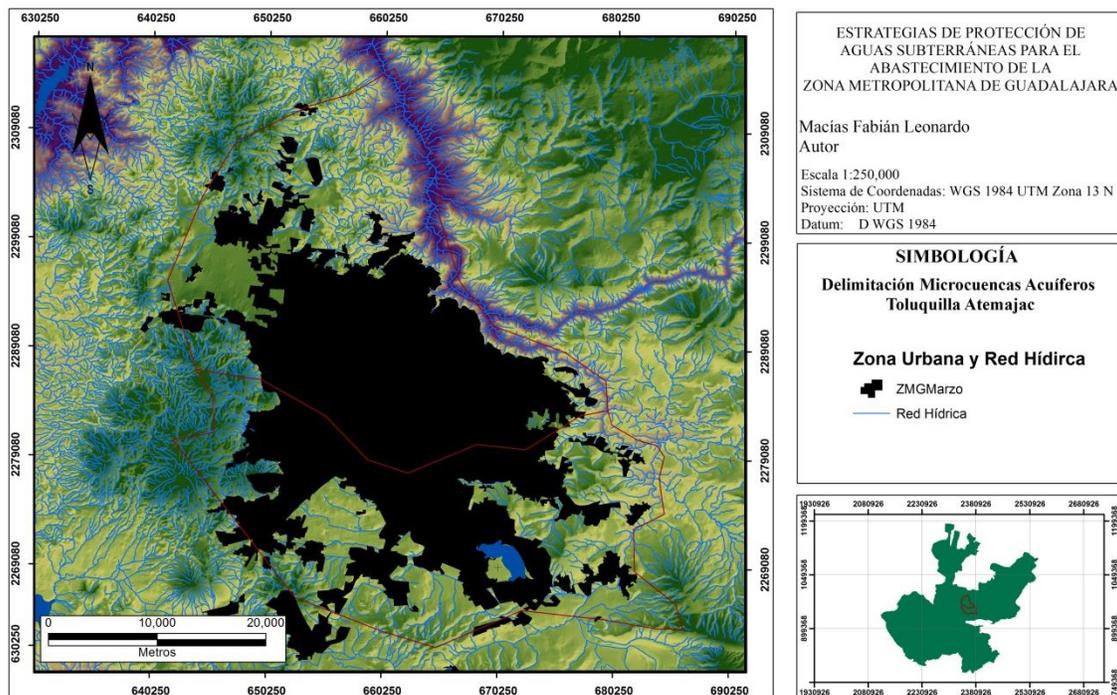


Figura 10. Red hídrica y urbanización.

El complejo de la hídrica drena dentro y fuera de los límites de los acuíferos. La clasificación de corrientes del área de estudio corresponde en su mayoría a segundo y tercer orden.

La ZMG ha desaparecido, reducido o entubado más de 819.00 km cauces naturales, correspondiente al 45.2% esto refleja claramente las escorrentías presentes en la ZMG, los cauces tienen menor capacidad; al reducir su capacidad se incrementan los flujos en calles, aguas abajo se concretan altas concentraciones de volúmenes en el drenaje urbano, superando la capacidad de este, dando como resultado inundaciones con mayores tiempos de drenado y de mayor impacto. La figura 10 muestra la urbanización actual sobre la red hídrica.

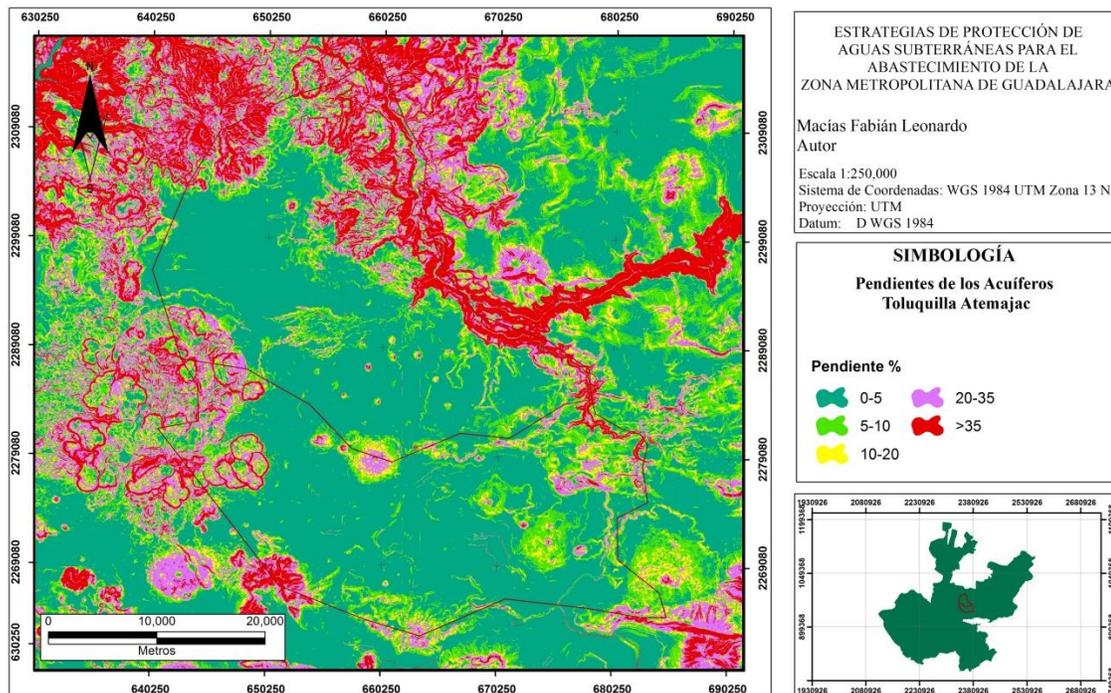


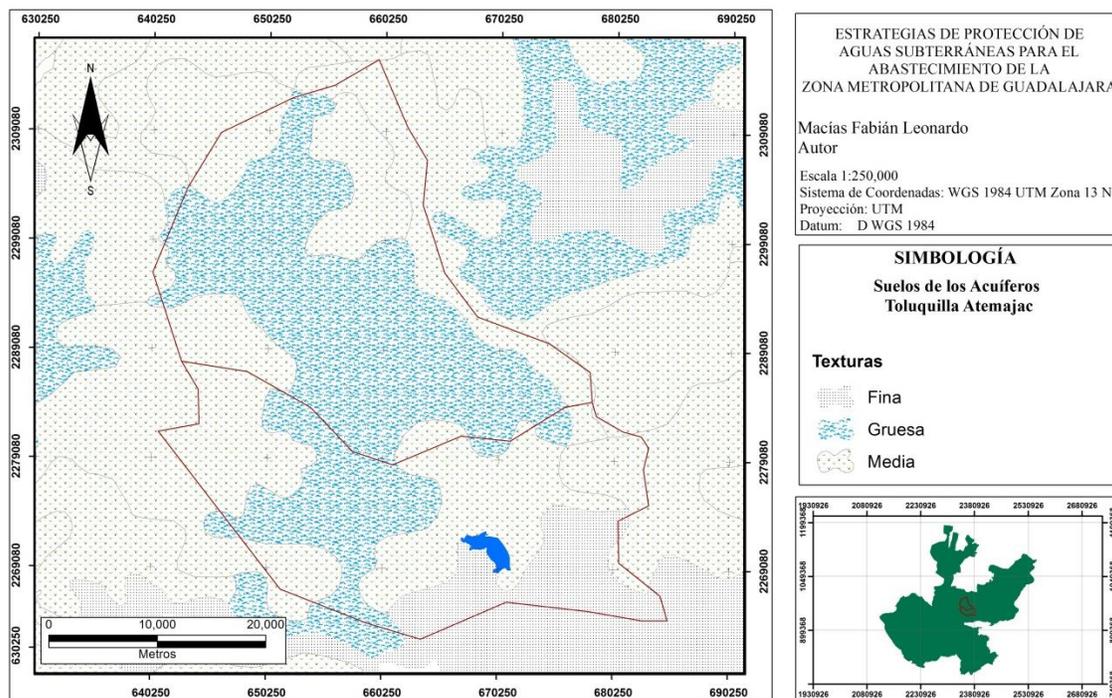
Figura 11. Clasificación de pendientes.

**Pendiente:** Considerando la ponderación dada por Matus (2007), el 65% de los acuíferos tiene un muy alto potencial de recarga, de este porcentaje correspondiente a una pendiente de 0 a 5%. Para la ponderación de alta recarga con una pendiente de 5 a 10% se tiene 22.94% de los acuíferos. La figura 11 y el cuadro 6, muestran la clasificación de pendientes, y el porcentaje para cada grupo dentro de la clasificación.

**Cuadro 6. Clasificación de pendientes**

Denominación	P (%)	% de los acuíferos
Suaves o muy suaves	0-5	65.56
Fuertes	5-10	22.94
Moderadamente escarpadas	10-20	6.29
Escarpadas	20-35	5.19
Muy escarpadas	>35	0.02
Total		100

*Del 88.8% de zonas de muy alta y alta recarga por pendiente, la ZMG tiene el 43.1% evidenciando la propensión de urbanización en zonas estratégicas para el aprovisionamiento de recursos hídricos subterráneos de acuerdo a la pendiente natural. Por otro lado las pendientes generadoras de escorrentía corresponden al 11% del total de los acuíferos, estas generan una escorrentía superior a su porcentaje, esto se debe a la interrupción de zonas de libre flujo, y a la reducción de cauces naturales.*



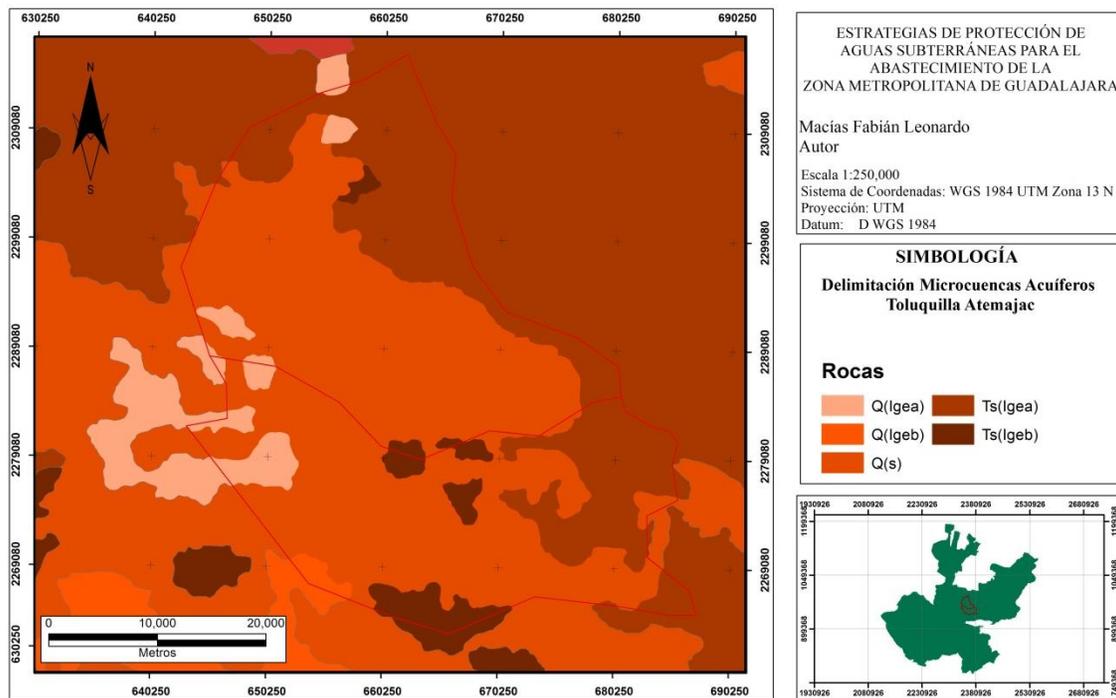
**Figura 12. Porcentaje de texturas.**

*Textura del Suelo:* De la superficie de los acuíferos *las texturas gruesa y media dominan con un 90.71% situándola con un potencial de filtración muy alto y alto.* De acuerdo a las tablas de infiltración la textura gruesa posee una capacidad de filtración de 50 mm/h La

textura media de >25 mm/h y la textura fina 12 mm/h esto para fines de ponderación corresponde a muy alta, alta y baja, respectivamente. La figura 12 muestra la distribución espacial de tipo de textura en los acuíferos, observando la textura gruesa de Sur a Norte compartida entre ambas delimitaciones de los acuíferos, los porcentajes para las texturas se muestran en el cuadro 7. *Tipo de Suelo*: El tipo de Suelo dominante es el Feozem corresponde un 67.43% de los acuíferos, son suelos ricos en materia orgánica, textura media y gruesa con buen drenaje y ventilación, seguido del Cambisol con un 19.35% ambos suelos están asociados con una buena permeabilidad.

**Cuadro 7. Porcentaje de texturas**

Textura	% de los acuíferos
Gruesa	45.51
Media	45.20
Fina	8.78
Cuerpo de Agua	0.50
Total	100.00



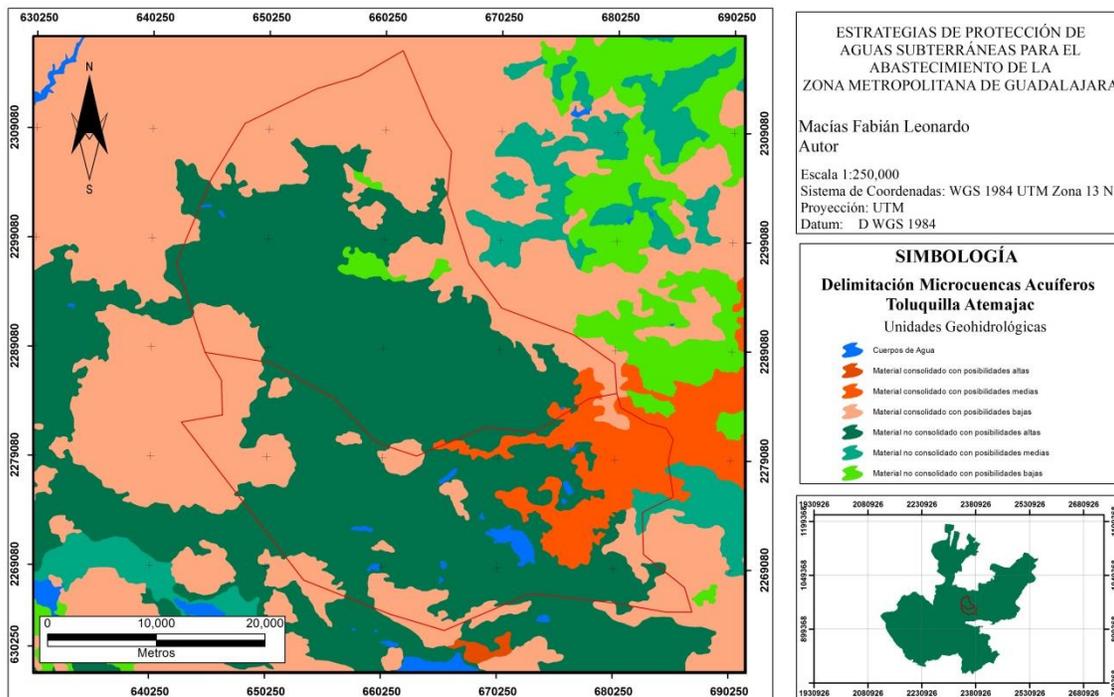
**Figura 13. Tipo de Rocas (litología).**

Tipos de Roca (Litología): El 64.49% corresponde a Q(S) ígnea extrusiva situándolo como muy alta y alta recarga. La figura 13 muestra la distribución de la litología presente en la

delimitación de los acuíferos. El cuadro 8, representa los porcentajes para el resto de la litología presente en la delimitación de los acuíferos.

**Cuadro 8. Porcentaje tipo de Rocas**

Suelo	% de los acuíferos
Q (Igea)	3.94
Q(Igeb)	0.67
Q(S)	64.49
Ts(Igea)	26.63
Ts(Igeb)	4.27
Superficie	100.00

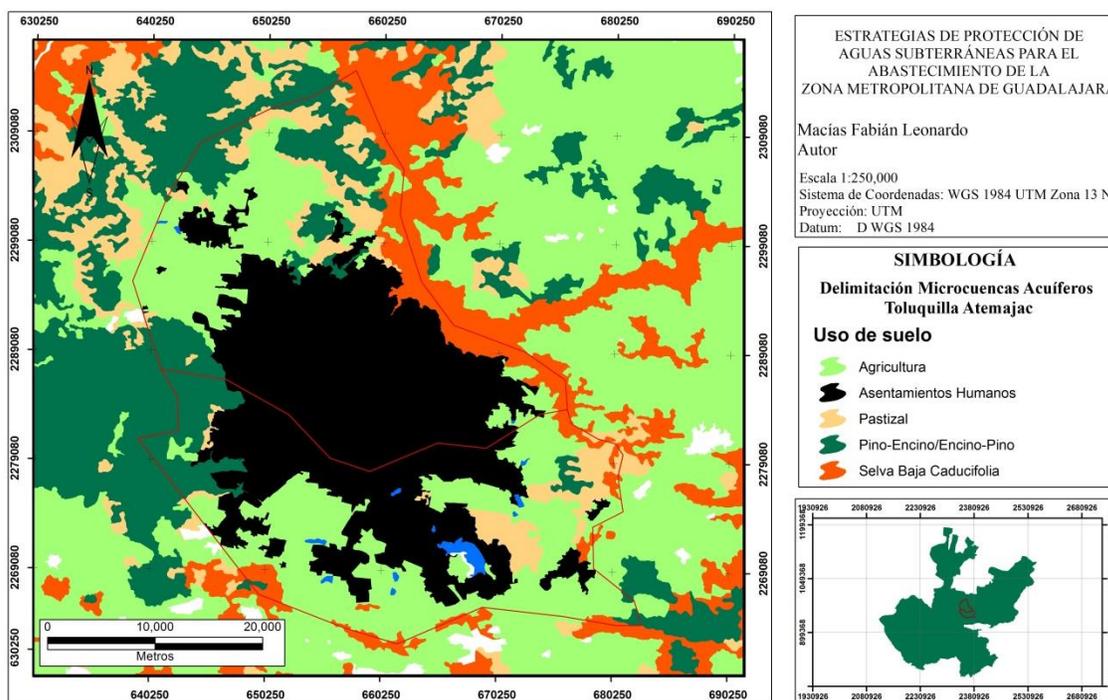


**Figura 14. Unidades Geohidrológicas.**

**Unidad Geohidrológica:** El 64.49% corresponde a material no consolidado con posibilidades altas, constituido por arenas, gravas, y/o tobas arenosas poco compactadas presentado alta permeabilidad y capacidad de almacenar agua, debido a la porosidad de los materiales presentes con poca cementación, la figura 14 muestra la distribución de las unidades geohidrológica, en el cuadro 9, se observa el porcentaje para cada una de ellas.

**Cuadro 9. Unidades Geohidrológicas**

Unidad	% de los acuíferos
Cuerpo de Agua	0.81
Material Consolidado Posibilidades Medias	8.18
Material Consolidado Posibilidades Bajas	27.43
Material No Consolidado Posibilidades Altas	62.24
Material No Consolidado Posibilidades Medias	0.41
Material No Consolidado Posibilidades Bajas	0.93
Superficie	100.00



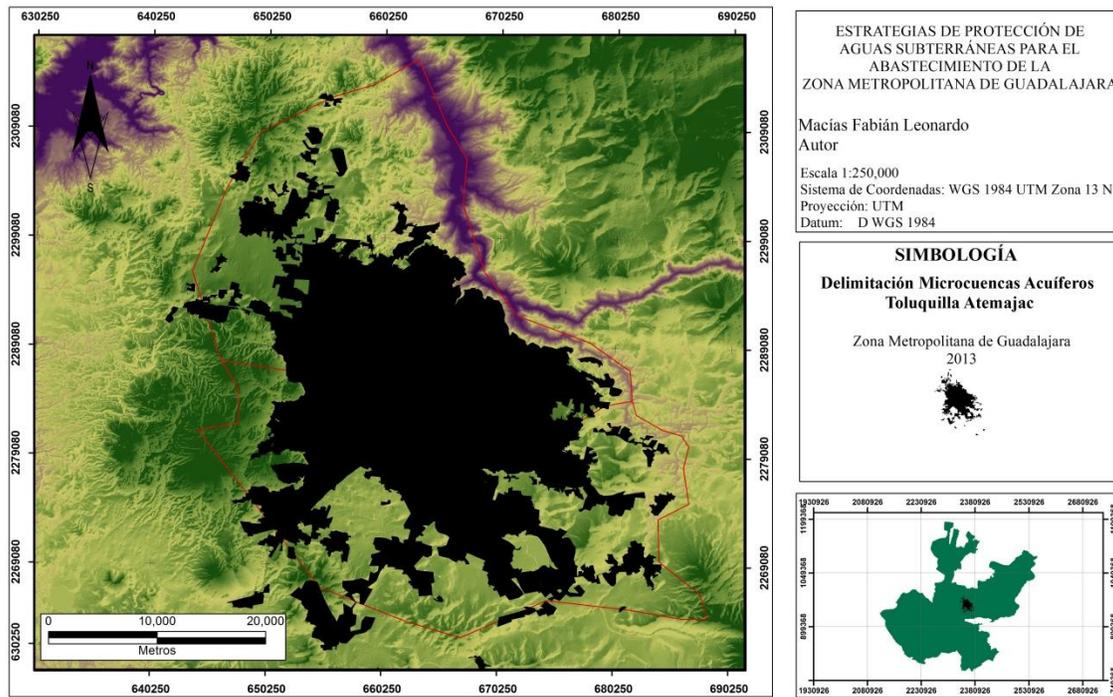
**Figura 15. Uso de Suelo.**

**Uso de Suelo:** Como se aprecia en la figura 15 y el cuadro 10 los datos de la Serie V se reclasificaron para conjuntar los tipos de vegetación. El uso de suelo se ponderó de acuerdo a los lineamientos originales de la Serie V, restando y sumando la ZMG con área actualizada, actualmente algunas de las zonas marcadas como uso agrícola son campos abandonados o campos desprovistos de vegetación.

El 53.81% corresponde a asentamientos humanos, seguido de **agricultura con 26.95%** y **Bosque Pino-Encino/Encino-Pino con 8.80%**

**Cuadro 10. Porcentaje uso de suelo**

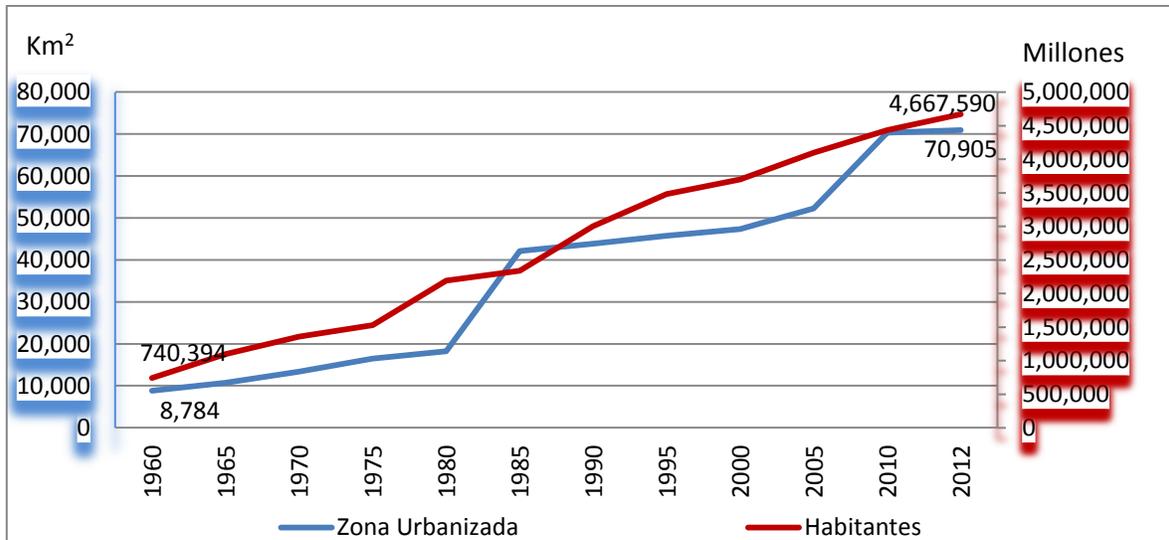
Uso de suelo	% de los acuíferos
Agricultura	26.95
Asentamientos Humanos	53.81
Bosque Pino-Encino/Encino-Pino	8.80
Pastizal inducido/Cultivado	5.48
Selva Baja Caducifolia	4.46
Cuerpo de Agua	0.50
<b>Total</b>	<b>100.00</b>



**Figura 16. Urbanización Zona Metropolitana de Guadalajara.**

**Zona Urbanizada:** El 53.81% se encuentra urbanizado. La urbanización ha sido limitada en el Este por la Barranca de Huentitán y al Oeste por el Bosque La Primavera, al Norte y al Sur no hay limitantes orográficos. (Ver figura 8 y 16). **El 46.19% está libre de urbanización**

La figura 17 muestra la tendencia de crecimiento en hectáreas de la ZMG y el incremento de la población en millones de habitantes.



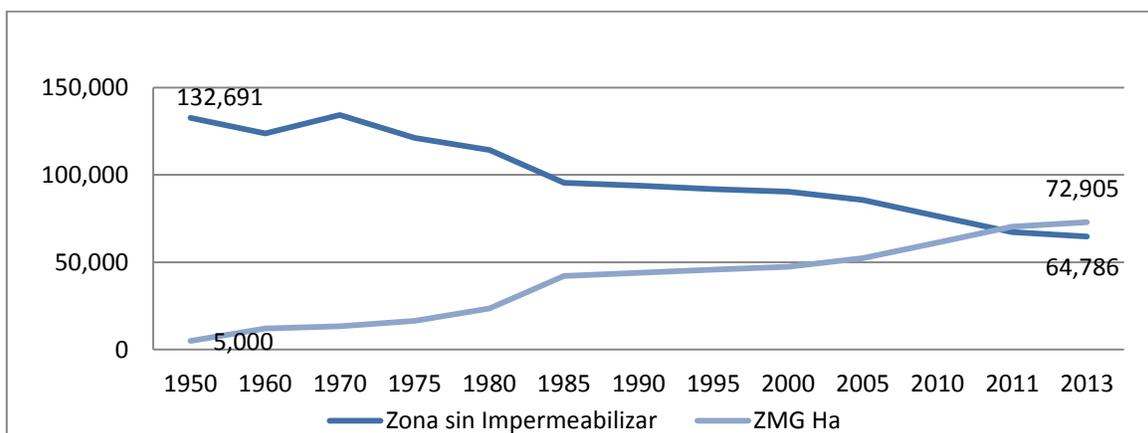
**Figura 17. Dinámica crecimiento Poblacional y crecimiento de la zona urbanizada.**

La ZMG ha tenido sus movimientos y pausas claramente definidas los movimientos de migración nacional y (entre otras) por la especulación y el poder adquisitivo (esto caracterizado por la dinámica de crecimiento de la ZMG, y la creación de reglamentos para la regulación de asentamientos humanos), marcando una expansión en los ochentas y a partir del 2005; llegando a una aparente pausa en el 2010, siendo este el detonante para el crecimiento de la parte Oeste y Noroeste de la ZMG, que a partir del 2012 se ve reflejado en urbanizaciones. El cuadro 11 representa la relación de crecimiento poblacional y urbano de la ZMG y la gradual disminución del territorio de los acuíferos, de 1960 a 2013.

**Cuadro 11. Relación Zona Urbana, Acuíferos y Población**

Año	Zona Urbana (Miles de ha)	Acuíferos (Miles de ha)	Habitantes (Millones)
1960	8.78	128.91	740,394.00
1965	10.74	126.95	1,098,452.00
1970	13.35	124.34	1,354,879.00
1975	16.46	121.23	1,527,984.00
1980	18.25	119.44	2,192,557.00
1985	42.09	95.60	2,335,690.00
1990	43.89	93.80	3,003,868.00
1995	45.78	91.91	3,482,417.00
2000	47.35	90.61	3,699,136.00
2005	52.26	85.43	4,095,853.00
2010	70.35	67.35	4,434,252.00
2012	72.91	64.79	4,676,590.00
2013	74.09	63.60	- - - -

La relación existente entre el crecimiento de la ZMG y la disminución de la superficie de los acuíferos es obvia. Siendo el año 2011 donde la urbanización superó las zonas libres de urbanización (Ver figura 18).



**Figura 18. Relación impermeabilización de los acuíferos.**

Considerando la ponderación por pendiente y el uso de suelo dado por Matus (2007), el 65% del área de estudio corresponde de la siguiente manera; Muy alta recarga; Bosque con 1.06 % mientras que Pastizal 1.9% Agricultura 24.16 % SBC 0.35%, y la Zona Urbana con 36.7%. Para la ponderación de alta recarga se tiene el 22.94% de los acuíferos; 5.23% corresponde a Bosque, 3.66 % a Pastizal, 5.70 % a Agricultura, 1.66% a SBC y 6.39% a la Zona Urbana. Esto relacionado con las escorrentías, zonas de anegación y el uso vocacional de cada zona.

**Precipitación:** Como se aprecia en la figura 19, la zona Norte del área de estudio registra la mayor precipitación, llegando a 1,044 mm de lluvia anual, en tanto la parte central del área de estudio, se encuentran precipitaciones de 900 a 1,000 mm de lluvia, la porción Sur registra la menor precipitación promedio situando un mínimo de lluvia anual de 736 mm

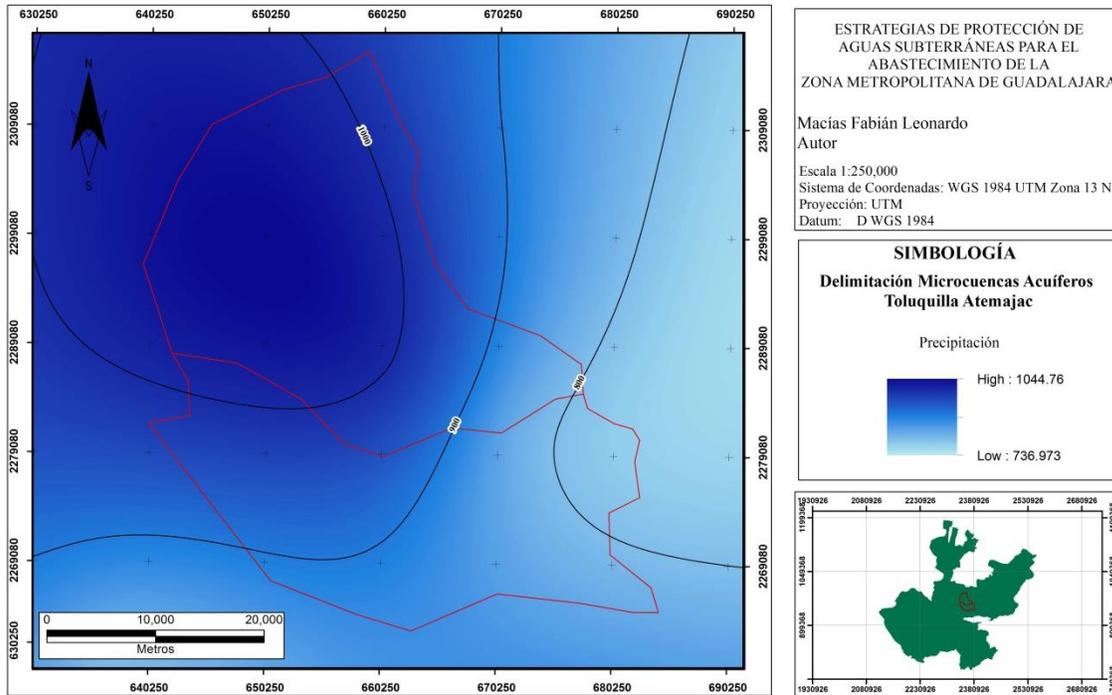


Figura 19. Precipitación zona de estudio.

**Evapotranspiración:** Como se aprecia en la figura 20 y 21 la evapotranspiración potencial (ETP) y la real, (ETR) registran valores de 868 a 1,441 mm y 250 a 355 mm respectivamente. Para la ETP los mayores valores se presentan en la parte central de los acuíferos, debido a que esta zona es la de mayor urbanización, en contraparte los valores menores se registran para el Noreste, siendo el Sureste la que registra el menor valor.

A diferencia la ETR registra sus mayores valores en la parte Norte y Noreste, siendo la zona de mayor precipitación, al igual que la ETP en el Sureste registra la menor cantidad de evapotranspiración por ser los menores valores de precipitación. Estos valores de ETR corresponden a una pérdida de 33%-66% de acuerdo a los valores de precipitación.

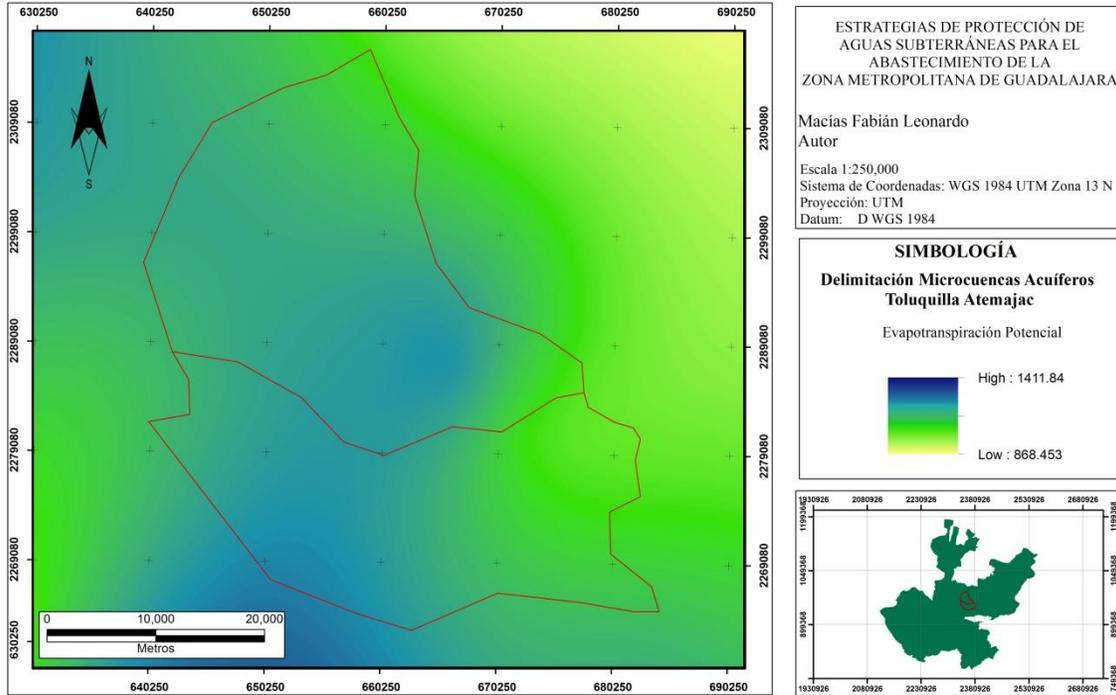


Figura 20. Evapotranspiración potencial.

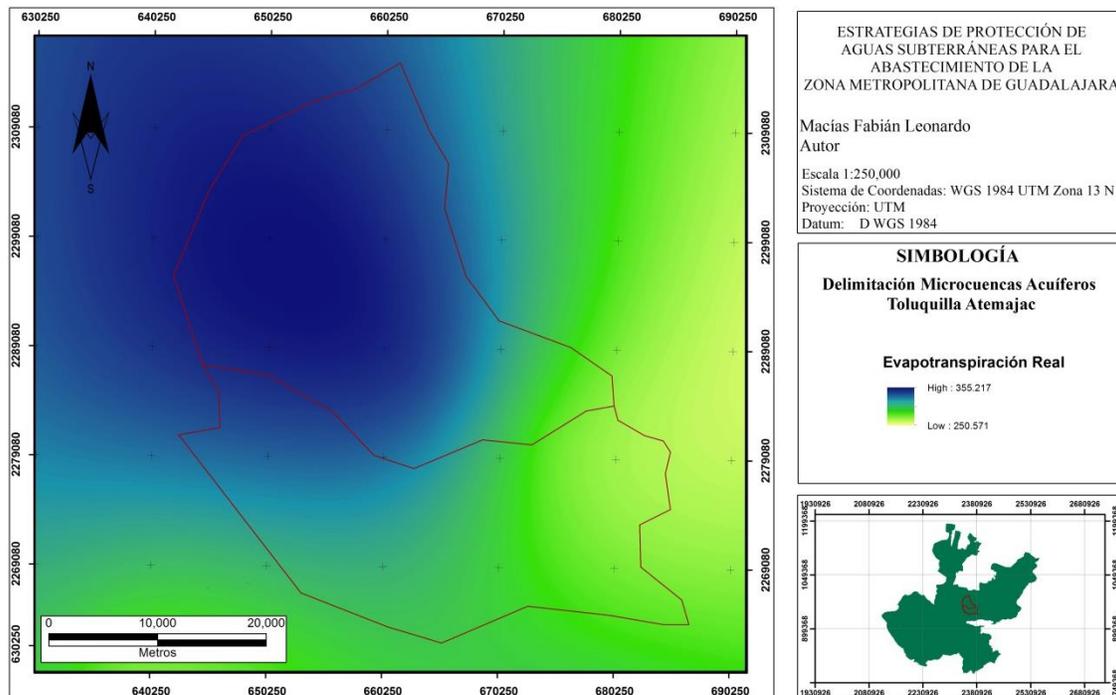


Figura 21. Evapotranspiración real.

**Coefficiente de Escorrentía:** De acuerdo al Método Prevert, se procedió a dividir el área de estudio, de acuerdo al cuadro 4. La figura 22 muestra las zonas con mayores coeficientes y escorrentías, correspondientes a las zonas urbanizadas, zonas con pendientes altas y/o zonas poca cobertura vegetal. La zona Norte del acuífero Atemajac registra los valores más bajos de escorrentía, correspondiente al Valle de Tesistán, la porción Sureste del acuífero Toluquilla registra valores muy bajos de escorrentía.

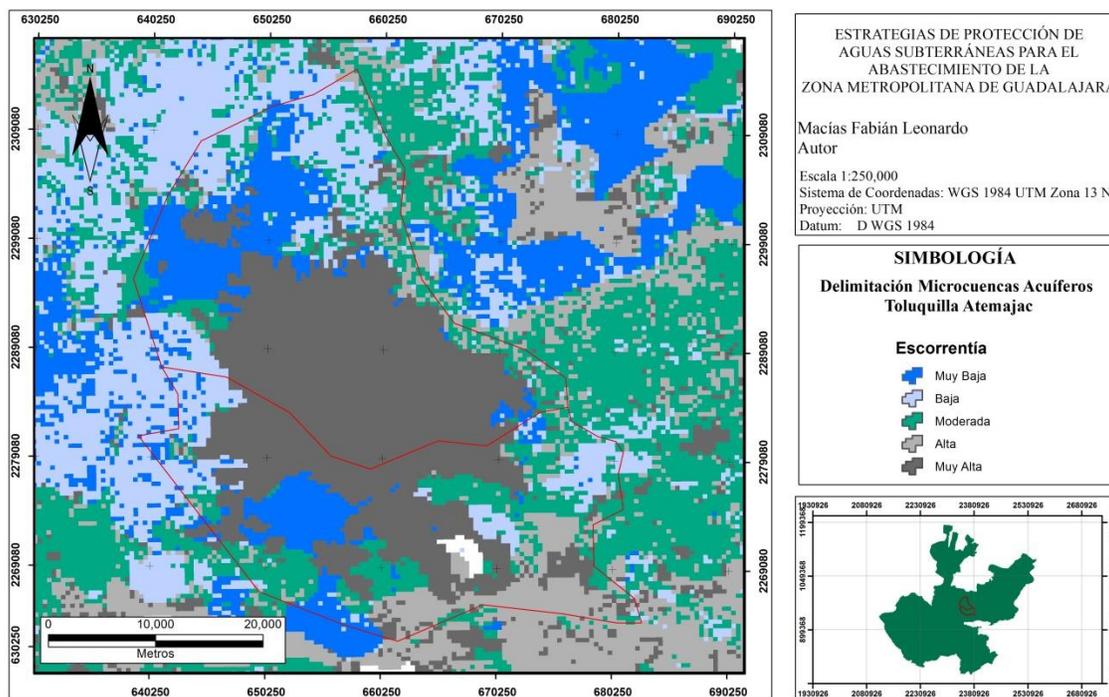


Figura 22. Escorrentía método Pervert.

El 60% del área de los acuíferos corresponden a una ponderación de alta escorrentía, esto dado por la urbanización. **El 40% restante del territorio registra valores de muy baja y baja escorrentía**, sitados en zona conformada por lomeríos, con uso de suelo agrícola y pastizal y bosques. El cuadro 12, muestran los coeficientes por cada capa, utilizando las variables de uso de suelo, textura y pendiente.

**Cuadro 12. Coeficientes de escorrentía**

Coeficiente de Escorrentía							
Uso de suelo	Pendiente	Textura					
		Gruesa %	<i>Ce</i>	Media %	<i>Ce</i>	Fina %	<i>Ce</i>
Bosque 8.80 %	0-5	0.11	<b>0.10</b>	1.04	<b>0.30</b>	0.07	<b>0.40</b>
	5-10	0.36	<b>0.25</b>	5.68	<b>0.36</b>	0.14	<b>0.50</b>
	10-30	0.34	<b>0.30</b>	1.03	<b>0.40</b>	0.01	<b>0.60</b>
	>30	0.00	<b>0.32</b>	0.02	<b>0.42</b>	0.00	<b>0.63</b>
Pastizal 5.48 %	0-5	0.18	<b>0.15</b>	1.35	<b>0.35</b>	0.27	<b>0.45</b>
	5-10	0.25	<b>0.30</b>	1.85	<b>0.40</b>	0.25	<b>0.55</b>
	10-30	0.17	<b>0.35</b>	0.96	<b>0.45</b>	0.19	<b>0.65</b>
	>30	0.00	<b>0.37</b>	0.00	<b>0.47</b>	0.00	<b>0.68</b>
Agricultura 26.95 %	0-5	10.75	<b>0.30</b>	6.53	<b>0.50</b>	3.38	<b>0.60</b>
	5-10	1.49	<b>0.40</b>	3.22	<b>0.66</b>	0.80	<b>0.70</b>
	10-30	0.24	<b>0.50</b>	0.47	<b>0.70</b>	0.07	<b>0.80</b>
	>30	0.00	<b>0.53</b>	0.00	<b>0.74</b>	0.00	<b>0.84</b>
SBC 4.46 %	0-5	0.03	<b>0.15</b>	0.25	<b>0.35</b>	0.09	<b>0.45</b>
	5-10	0.07	<b>0.25</b>	1.08	<b>0.45</b>	0.22	<b>0.55</b>
	10-30	0.06	<b>0.30</b>	2.54	<b>0.50</b>	0.06	<b>0.60</b>
	>30	0.00	<b>0.35</b>	0.06	<b>0.55</b>	0.00	<b>0.65</b>
Zona Urbana 53.81 %	0-5	31.33	<b>0.70</b>	11.09	<b>0.81</b>	1.99	<b>0.92</b>
	5-10	5.51	<b>0.76</b>	3.00	<b>0.85</b>	0.13	<b>0.93</b>
	10-30	0.35	<b>0.88</b>	0.41	<b>0.91</b>	0.01	<b>0.94</b>
	>30	0.00	<b>0.95</b>	0.00	<b>0.95</b>	0.00	<b>0.95</b>

**Coeficiente de Infiltración:** De acuerdo a los valores de infiltración del cuadro 13 las zonas con mayor potencial de infiltración son registrados en la parte Norte y Oeste del área de estudio, como se aprecia en la figura 23, las zonas con mayor coeficiente de infiltración corresponden a en su mayoría a lomeríos, áreas de bosque, pastizales y agricultura, el Bosque La Primavera, el área del bajío del arenal y el Valle de Tesistán presentan mayores índices de infiltración de acuerdo a la pendiente, textura y uso de Suelo, presuponiendo más del **43.15% de la superficie de los acuíferos, como muy alta y alta** conforme al coeficiente de infiltración.

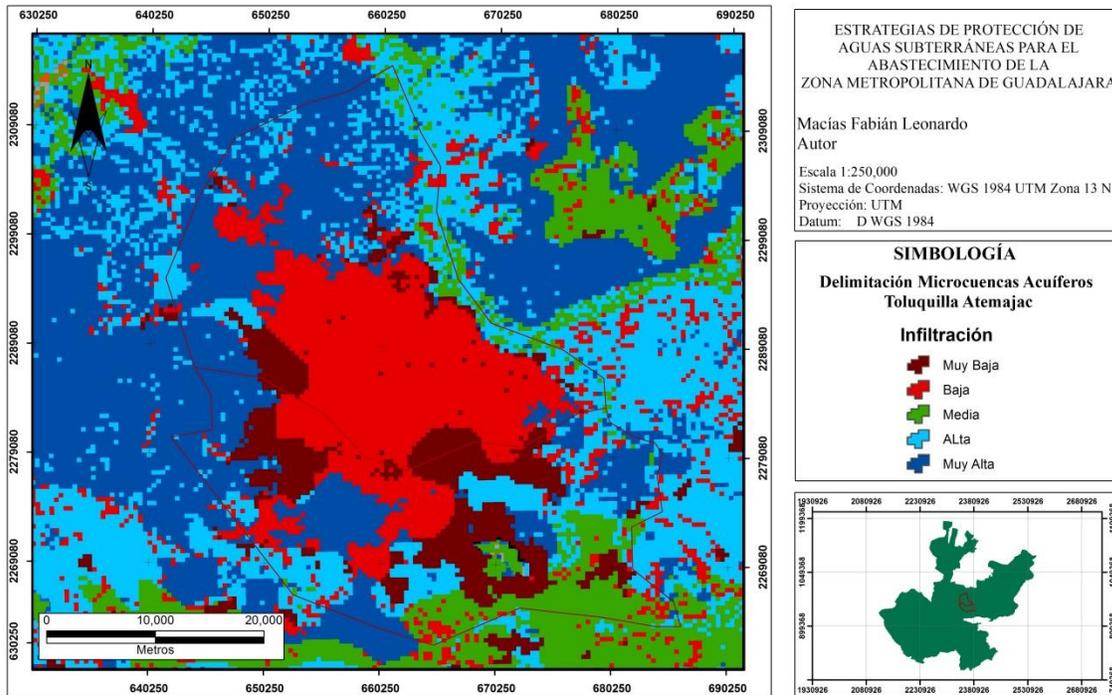


Figura 23. Coeficiente de Infiltración.

La ponderación representada en el cuadro 13, está dada por:  $(1-Es= I)$   $(1-I=Es)$  Es.- Escorrentía. I.- Infiltración.

Cuadro 13. Coeficiente de infiltración.

Coeficiente de Infiltración							
Uso de suelo	Pendiente	Textura					
		Gruesa %	<i>Ci</i>	Media %	<i>Ci</i>	Fina %	<i>Ci</i>
Bosque 8.80 %	0-5	0.11	<b>0.90</b>	1.04	<b>0.70</b>	0.07	<b>0.60</b>
	5-10	0.36	<b>0.75</b>	5.68	<b>0.64</b>	0.14	<b>0.50</b>
	10-30	0.34	<b>0.70</b>	1.03	<b>0.60</b>	0.01	<b>0.40</b>
	>30	0.00	<b>0.68</b>	0.02	<b>0.58</b>	0.00	<b>0.37</b>
Pastizal 5.48 %	0-5	0.18	<b>0.85</b>	1.35	<b>0.65</b>	0.27	<b>0.55</b>
	5-10	0.25	<b>0.70</b>	1.85	<b>0.60</b>	0.25	<b>0.45</b>
	10-30	0.17	<b>0.65</b>	0.96	<b>0.55</b>	0.19	<b>0.35</b>
	>30	0.00	<b>0.63</b>	0.00	<b>0.53</b>	0.00	<b>0.32</b>
Agricultura 26.95 %	0-5	10.75	<b>0.70</b>	6.53	<b>0.50</b>	3.38	<b>0.40</b>
	5-10	1.49	<b>0.60</b>	3.22	<b>0.34</b>	0.80	<b>0.30</b>
	10-30	0.24	<b>0.50</b>	0.47	<b>0.30</b>	0.07	<b>0.20</b>
	>30	0.00	<b>0.47</b>	0.00	<b>0.26</b>	0.00	<b>0.16</b>
SBC 4.46 %	0-5	0.03	<b>0.85</b>	0.25	<b>0.65</b>	0.09	<b>0.55</b>
	5-10	0.07	<b>0.75</b>	1.08	<b>0.55</b>	0.22	<b>0.45</b>
	10-30	0.06	<b>0.70</b>	2.54	<b>0.50</b>	0.06	<b>0.40</b>
	>30	0.00	<b>0.65</b>	0.06	<b>0.45</b>	0.00	<b>0.35</b>
Zona Urbana 53.81 %	0-5	31.33	<b>0.30</b>	11.09	<b>0.19</b>	1.99	<b>0.08</b>
	5-10	5.51	<b>0.24</b>	3.00	<b>0.15</b>	0.13	<b>0.07</b>
	10-30	0.35	<b>0.12</b>	0.41	<b>0.09</b>	0.01	<b>0.06</b>
	>30	0.00	<b>0.05</b>	0.00	<b>0.05</b>	0.00	<b>0.05</b>

## 9.1 Zonas de recarga hídrica

**Zonas de recarga hídrica:** Para dicha representación se utilizaron 80 unidades cartográficas, el territorio se fraccionó en cada una de las variables, multiplicando los valores ponderados acordes a la metodología de Matus; el resultado corresponde a la clasificación de posibilidad de recarga hídrica, el cual se muestra en la figura 24.

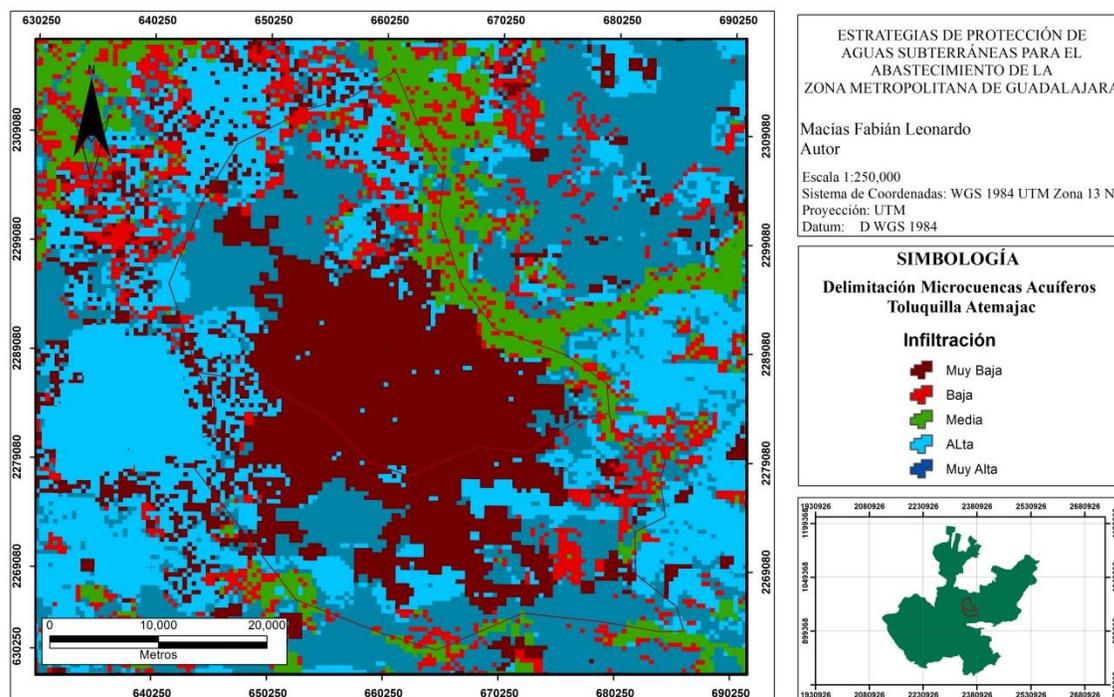
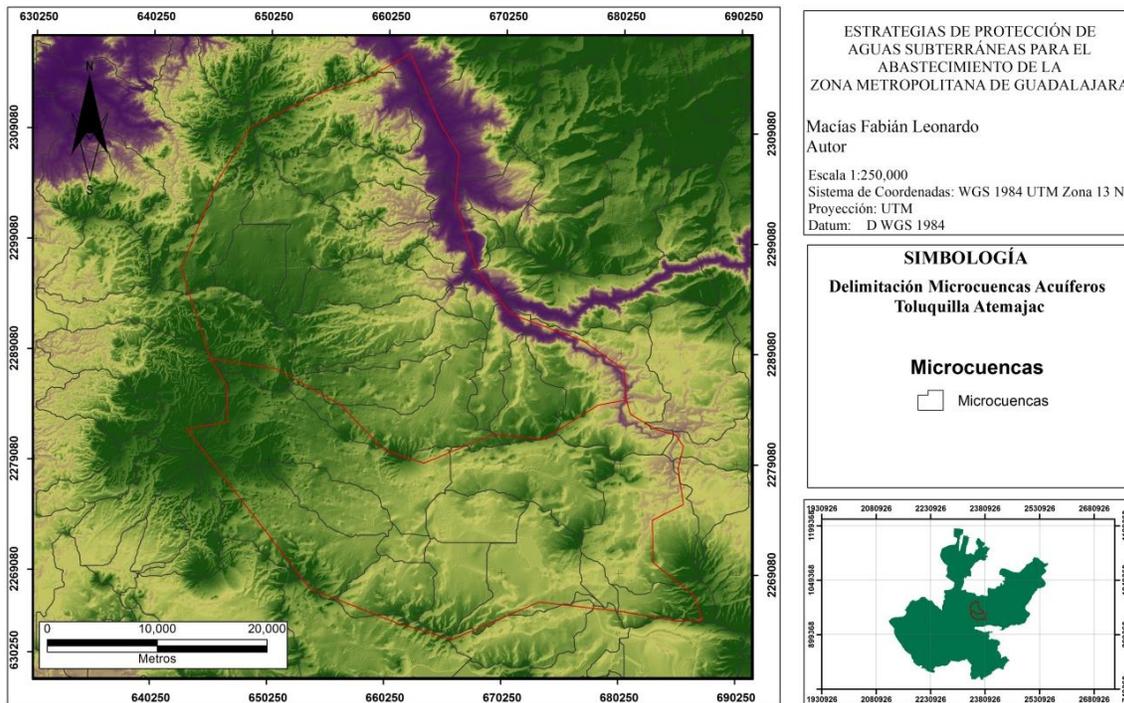


Figura 24. Zonas de infiltración.

De acuerdo a la metodología de Matus, las posibilidades de recarga hídrica para el área de estudio es de **41.18 % como zonas de muy alta y alta recarga hídrica**, esta zonas representadas por el Bosque La Primavera, el Valle de Tesistán, así como lomeríos de la parte Norte de los acuíferos y el Suroeste del acuífero Toluquilla. El 51.94% corresponde a zonas de muy baja recarga hídrica, representados por la zona urbana.

**Delimitación Microcuencas:** Las microcuencas presentes en la superficie territorial de los acuíferos Toluquilla y Atemajac. Para lograr la delimitación de las zonas de recarga hídrica, se abordan los límites naturales de la zona de estudio, de tal manera que se crean las microcuencas correspondientes, utilizando unidades pequeñas para el mejor control de datos, e incremento de variables (Ver figura 25).



**Figura 25. Microcuencas Acuíferos Toluquilla Atemajac**

La delimitación en función de las microcuencas responde a la necesidad de gestionar los recursos existentes acorde a la naturaleza y funcionamiento del ecosistema. Para este estudio la delimitación presenta dos observaciones:

- 1.- La delimitación geopolítica de los acuíferos; no es correspondiente a los límites naturales, orográficos, edafológicos, etc. de la misma manera no corresponde a los geohidrológicos de los acuíferos, obedece a delimitaciones prácticas para su gestión.
- 2.- Las cuencas urbanas o parcialmente urbanizadas; la impermeabilización de las cuencas crea condiciones y aspectos que difieren al entorno natural, el ciclo hidrológico es modificado, generando condiciones extremas para cada una de sus variables, con poca precipitación puede generar grandes escorrentías.

## 9.2 Propuesta de manejo de cuencas y zonas de recarga hídrica

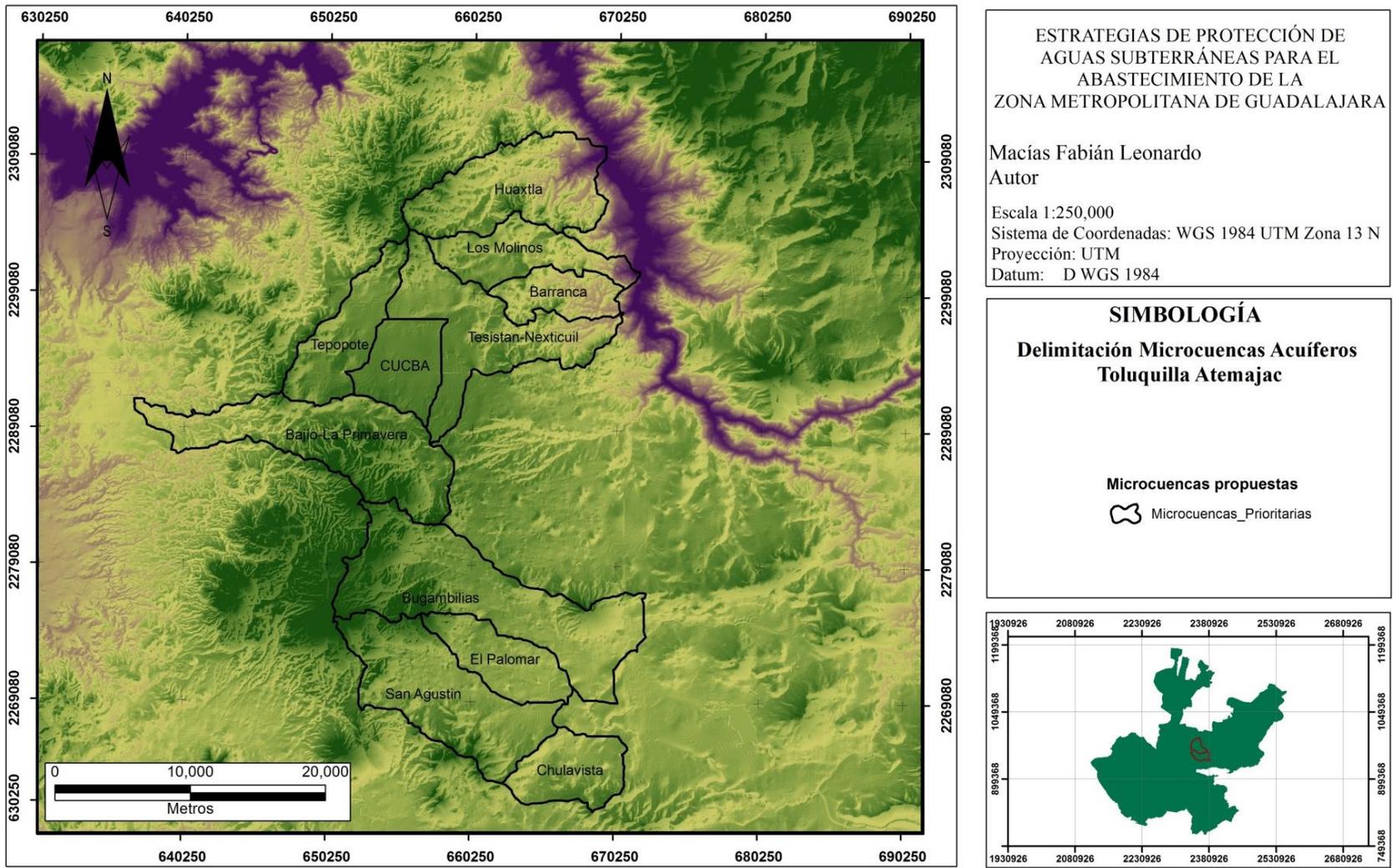


Figura 26. Microcuencas prioritarias.

Del total de microcuencas de los acuífero Toluquilla y Atemajac, se seleccionaron 11 para delimitar las zonas de alto potencial de recarga para los acuíferos, denominándolas microcuencas prioritarias (Ver figura 26), las cuales fueron determinadas por sus condiciones biogeográficas, hidrológicas, orográficas y edafológicas, esorrentía e infiltración, descritas anteriormente, por ser una cuenca con alto grado de urbanización se incluye la impermeabilización presente en cada una de las microcuencas.

Para clasificar las microcuencas de manera adecuada se utilizó una de las herramientas más importantes en el análisis hídrico de cuencas, los parámetros morfométricos (Anexo [2](#)) permitiendo identificar y evaluar el funcionamiento del sistema hidrológico para cada una de las cuencas.

De tal modo que la condición hidrológica sea consecuente los criterios ambientales aplicables en la elaboración del estudio técnico para el Área Estatal de Protección Hidrológica y a las condiciones actuales de cada zona de estudio.

Las microcuencas prioritarias fueron nombradas acorde a su espacio geográfico, resultando lo siguiente: Bajío, Bugambilias, Chulavista, CUCBA, El Palomar, Huaxtla, Los Molinos, San Agustín, Tepopote, Tesistán y Barranca. Sumando 67,454.42 Ha.

**Cuadro 14. Resumen valores de parámetros morfométricos de las microcuencas prioritarias.**

Microcuencas	Bajío	Bugambilias	Chulavista	CUCBA	El Palomar	Huaxtla	Los Molinos	San Agustín	Tepopote	Tesistán	Barranca
Hectáreas	9,481.90	12,165.20	3,517.90	3,409.21	3,673.72	7,400.66	4,103.85	8,786.40	4,358.46	7,873.73	2,683.38
Perímetro (m)	63,059.89	71,342.84	25,678.69	26,256.90	29,503.35	43,720.92	39,609.34	51,779.36	36,552.37	64,438.25	26,190.00
Longitud Media (m)	22,260.30	19,853.54	8,539.32	8,567.80	11,888.59	14,936.56	15,049.44	17,085.76	13,838.45	12,234.33	8,852.24
Ancho Medio "L" (m)	4,259.56	6,127.47	4,119.64	3,979.10	3,090.13	4,954.73	2,726.91	5,142.53	3,149.53	6,435.77	3,031.30
Elevación Media (m) (Em)	1,552.00	1,710.00	1,571.00	1,624.00	1,643.00	1,539.00	1,535.00	1,683.00	1,676.00	1,588.00	1,480.00
Altura Mínima (m)	1,410.00	1,536.00	1,553.00	1,593.00	1,539.00	901.00	1,080.00	1,547.00	1,606.00	1,339.00	1,349.00
Altura Máxima (m)	1,914.00	2,137.00	1,756.00	1,663.00	2,038.00	2,013.00	1,852.00	2,237.00	1,965.00	1,776.00	1,695.00
Desnivel (H)(m)	504.00	601.00	203.00	70.00	499.00	1,112.00	772.00	690.00	359.00	437.00	346.00
Longitud Cauce Principal (m)	3,830.05	5,185.75	2,174.00	0.00	2,493.68	3,586.98	2,412.63	3,279.32	2,901.93	3,364.47	2,772.38
Desnivel Cauce principal (m)	331.00	726.00	69.00	0.00	506.00	1,009.00	885.00	228.00	318.00	268.00	196.00
Longitud máxima Cauce (m)	3,680.00	23,700.00	9,370.00	0.00	11,800.00	18,000.00	17,700.00	14,000.00	6,100.00	5,420.00	6,050.00
Longitud total red hídrica (m)	242,844.15	232,035.13	43,569.03	0.00	29,705.83	165,864.33	68,544.45	162,730.38	63,430.36	106,878.50	54,372.31
Coficiente de Forma	0.19	0.31	0.48	0.46	0.26	0.33	0.18	0.30	0.23	0.53	0.05
C. de Compacidad	1.81	1.81	1.21	1.26	1.36	1.42	1.73	1.55	1.55	2.03	1.42
C. de Masividad	16.37	14.06	44.66	47.64	44.72	20.80	37.40	19.15	38.45	20.17	55.15
I. Alargamiento	5.23	3.24	2.07	2.15	3.85	3.01	5.52	3.32	4.39	1.90	2.54
Densidad de drenaje	2.56	1.91	1.24	0.00	0.81	2.24	1.67	1.85	1.46	1.36	2.03

### ***Descripción parámetros morfométricos***

Dentro de las microcuencas prioritarias de acuerdo al ***coeficiente de forma*** encontramos seis ligeramente achatadas; *Bajío, Bugambilias, El Palomar, Huaxtla, San Agustín, Tepopote*, suponiendo una concentración moderada de agua, partiendo que la cuenca drena o infiltra la mayor cantidad de agua precipitada. *Chulavista, CUCBA* y *Tesistán*; son moderadamente achatadas, con tendencia a concentrar mayor cantidad de agua. Para *Los Molinos* y *Barranca*; encontramos una clase de forma poco achatada siendo las cuencas con menor concentración de flujo natural, esto por la eficiencia del drenaje presente en las mismas.

Al clasificar las microcuencas acorde al ***coeficiente de compacidad*** es posible definir a *Chulavista* como redonda a oblonga, esto asociado a la capacidad de concentración de agua, y mayores volúmenes de escurrimiento dentro de la cuenca, de las microcuencas prioritarias restantes, seis se clasifican como oval oblonga a rectangular oblonga, y cinco como oval redonda a oblonga, dichas condiciones difieren en poco de acuerdo a sus atributos y la red hídrica presente.

De acuerdo al ***coeficiente de masividad***, tenemos como muy montañosa a las microcuencas *Bajío, Bugambilias, Huaxtla, San Agustín, Tesistán*, refiriendo cuencas con mayor energía y precipitación, el resto de las microcuencas presentan lomeríos y pendientes moderadas generando tendencias a estabilidad en sus precipitaciones.

Tomando en cuenta el ***índice de alargamiento*** se encuentran; *Bajío, Bugambilias, El Palomar, Huaxtla, San Agustín, Tepopote*, y *Los Molinos* clasificándolas como microcuencas muy alargadas, teniendo un mayor transporte de flujo, incrementando las posibilidades de infiltración,

De acuerdo a la ***densidad de drenaje*** se clasifican las microcuencas; *CUCBA, Tesistán, El Palomar, Tepopote* y *los Molinos*, como densidad baja, esto refleja o indica el tipo de suelos duros, muy permeables y/o coberturas vegetales muy densas. Mientras que las microcuencas; *Chulavista, Bajío, Bugambilias, Huaxtla, San Agustín, Barranca*, reflejan una densidad de drenaje moderada, situando valores similares al conjunto de microcuencas.

**Cuadro 15. Lineamientos y Características de las microcuencas prioritarias**

<b>Microcuenca</b>	<b>Porcentaje Urbanizado</b>	<b>Condición Hidrológica</b>	<b>Detalle</b>	<b>Observación</b>
<b>Bugambilias</b>	63.85	Recuperación	Muy alta y alta recarga. Con alta presión urbana y alto riesgo a inundaciones.	Consolidar protección área amortiguamiento APFFLP
<b>Tesistán</b>	54.1	Recuperación	Zona agrícola con alto índice de urbanización. Con alta presión urbana.	Consolidar corredor biológico ANP. Conservar valle agrícola.
<b>San Agustín</b>	44.5	Recuperación	Muy alta y alta recarga. Con alta presión urbana.	Consolidar corredor biológico ANP. Mejorar técnicas de cultivo.
<b>El Palomar</b>	32.74	Recuperación	Muy alta recarga. Zona agrícola con alta presión urbana.	Mejorar técnicas de cultivo. Preservar.
<b>Chulavista</b>	32.02	Recuperación	Muy alta y alta recarga. Zona agrícola con alta presión urbana.	Mejorar técnicas de cultivo. Preservar.
<b>CUCBA</b>	30	Aprovechamiento Hidrológico	Muy alta recarga. Zona agrícola y pequeña industria.	Consolidar corredor biológico ANP. Conservar valle agrícola.
<b>Bajío-La Primavera</b>	14.96	Aprovechamiento Hidrológico	Muy alta y alta recarga. Con alta presión urbana.	Consolidar protección área amortiguamiento APFFLP
<b>Los Molinos</b>	13.04	Aprovechamiento Hidrológico	Muy alta recarga. Zona agrícola con alta presión urbana	Consolidar corredor biológico ANP. Conservar valle agrícola.
<b>Tepopote</b>	11.82	Aprovechamiento Hidrológico	Muy alta y alta recarga. Presión urbana moderada.	Consolidar corredor biológico ANP. Conservar valle agrícola.
<b>Huaxtla</b>	9.47	Aprovechamiento Hidrológico	Alta recarga. Presión urbana moderada.	Consolidar corredor biológico ANP.
<b>Barranca</b>	8.81	Aprovechamiento Hidrológico	Alta recarga. Presión urbana moderada.	Consolidar corredor biológico ANP.

De la superficie total de las microcuencas prioritarias se tiene urbanizado un 33.65 % esta impermeabilización es un importante indicador de la calidad y la salud de las cuencas urbanas. De acuerdo con Zandbergen (2000), la relación se encuentra dentro de un ambiente degradado (Ver figura 1).

La presión urbana avanza sobre zonas agrícolas de alta producción agrícola, como es el Valle de Tesistán. Se observa el estrangulamiento por urbanización en el área de protección flora y fauna bosque La Primavera, al ser circundada por fraccionamientos, y vías de comunicación, se limita de manera palpable su consolidación como área protegida, atenta directamente contra el único corredor biológico que conecta las áreas protegidas, Barranca de Huentitán y el Bosque Nixticuil.

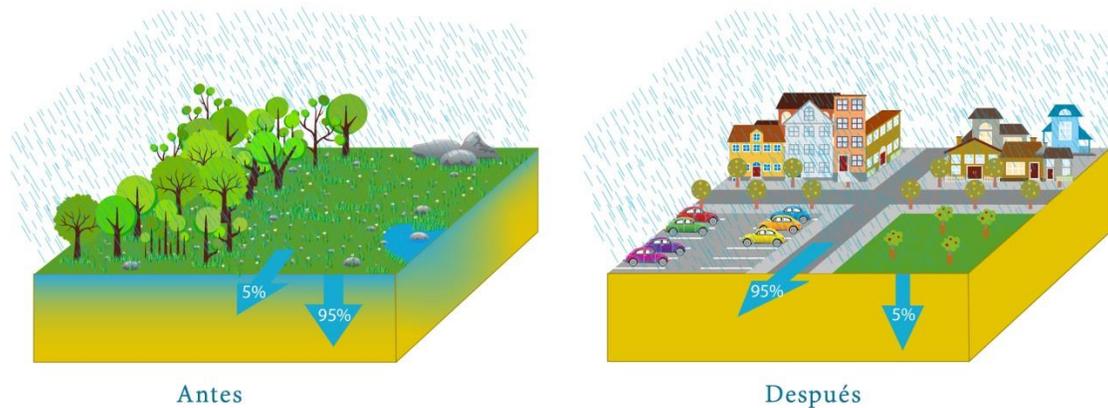
La superficie delimitada a través de las microcuencas tiene un **62.17% de ponderación muy alta y alta recarga hídrica**, cabe señalar que dicha superficie excede la delimitación administrativa de los acuíferos. Estas zonas de recarga pueden tener la capacidad geológica de alimentar acuíferos colindantes.

## **9.2 Manejo de cuencas urbanas**

Los ambientes urbanos con alto grado de impermeabilización presentan problemas de inundaciones, debido a la rápida escorrentía de la parte alta de las microcuencas, anegándose las partes bajas. Aumenta la temperatura de la ciudad, generalizando el efecto isla de calor.

Dado que las microcuencas prioritarias tienen diversos grados de impermeabilización se propone la implementación de Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS), conocidas como BMP's (Best Management Practices), que surgen de la necesidad de encontrar alternativas sustentables que permitan el escurrimiento, absorción, o retardo de las aguas en llegar a los sistemas de drenaje, mejorando la integración entre lo antrópico y lo natural.

Estos sistemas engloban un amplio espectro de soluciones que permiten afrontar el planeamiento, diseño y gestión de aguas pluviales, cuya finalidad es aproximarse a los niveles naturales del ciclo hidrológico.



**Figura 27. Ciclo hidrológico natural y urbano. Fuente: Hidrología sustentable (Kraimer, 2007).**

Los porcentajes vistos en la figura 29, dependen directamente del grado de urbanización y las zonas libres de concreto, en determinado espacio geográfico. Los SUDS pueden utilizarse como alternativa a los sistemas de drenaje convencional o en combinación con ellos.

Su objetivo es minimizar impactos del desarrollo urbano en cuanto a la cantidad de escorrentía (origen, transporte y destino), así como maximizar la integración paisajística y el valor social y ambiental de la actuación (Ballard, 2007).

Los SUDS pueden complementarse, en el manejo de cuencas ya que su implementación ayuda a reducir los impactos a la red hídrica, recuperando niveles naturales previos a la urbanización.

Las medidas estructurales aplicables son:

Cubiertas vegetales, o techos verdes.

Superficies permeables, (concreto permeable).

Pozos y zanjas de filtración.

Drenes filtrantes.

Cunetas filtrantes.

Depósitos de retención y filtración.

Humedales artificiales.

Las figura 28 y 29 muestran los potenciales de infiltración y escorrentías para la zona de estudio. Esto de acuerdo con el Raster ETR, precipitación y a los coeficientes calculados, representado en las imágenes 24 y 25.

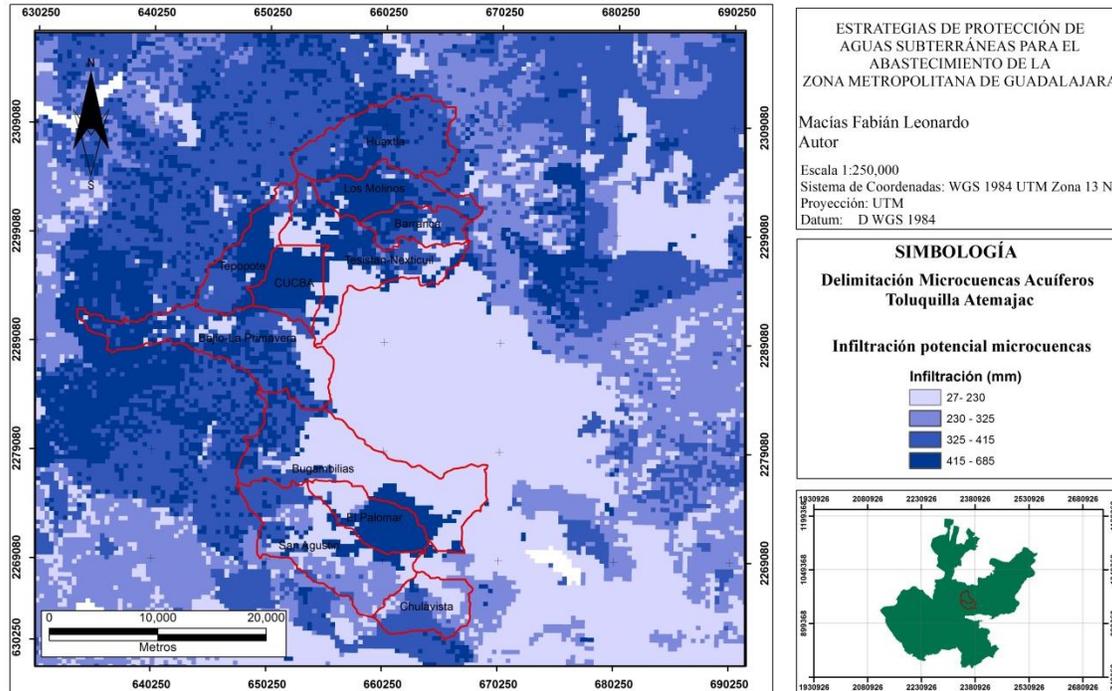


Figura 28. Infiltración potencial.

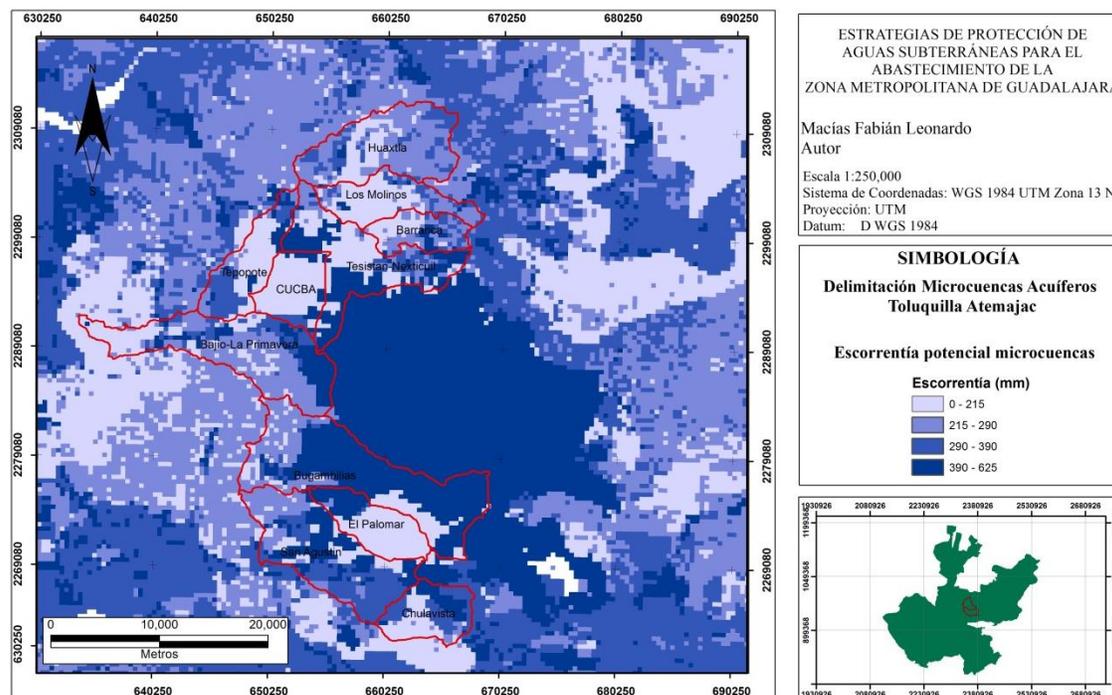
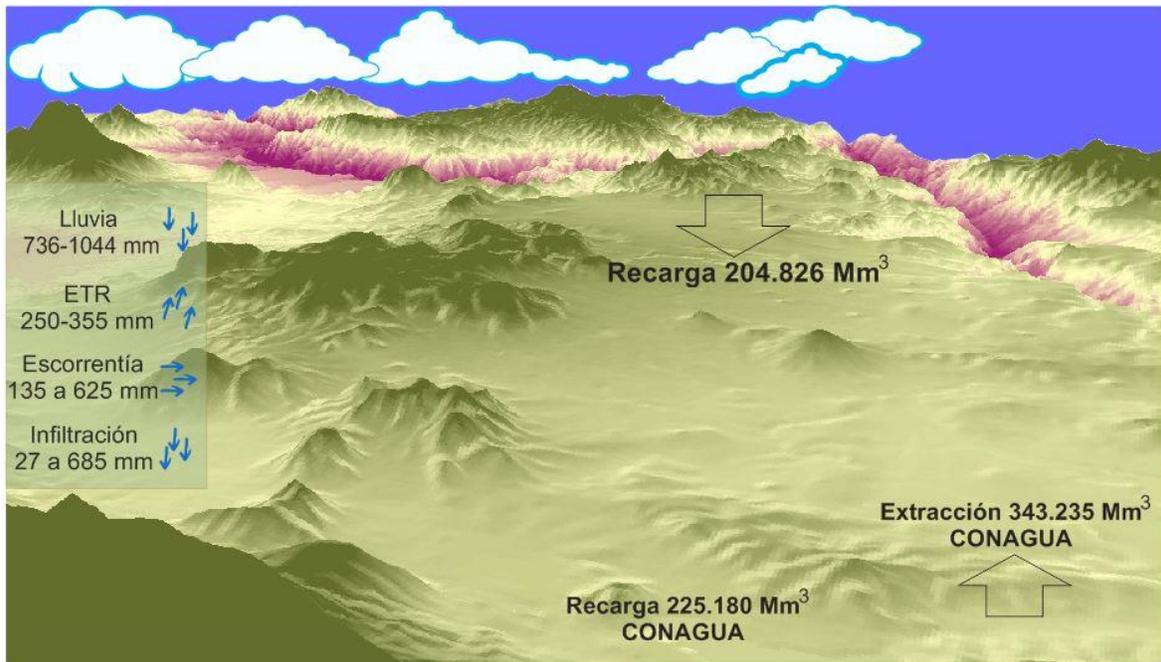


Figura 29. Escorrentía potencial.



**Figura 30. Balance hídrico.**

La figura 30, señala el balance hídrico de la zona de estudio, realizado a través de los coeficientes de infiltración, de escorrentía, ETR y la precipitación anual. Se muestra la disminución de la recarga de acuerdo a los datos de CONAGUA. Mientras tanto el balance hídrico acorde al método Thornthwaite, muestra importantes niveles de escorrentía, contrarrestados con la disminución de infiltración.

EL volumen calculado de infiltración para el estudio difiere en cerca de 20 Mm<sup>3</sup> anuales respecto a las estimaciones que publica CONAGUA, esta variación responde a las características particulares, como son los valores de la pendiente, la cobertura vegetal, uso de suelo, etc. por lo que es inadecuado homologar un valor de infiltración para los acuíferos. Visto esto, la configuración general de la protección de zonas de recarga hídrica a través de microcuencas, se ve representada en la figura 31.

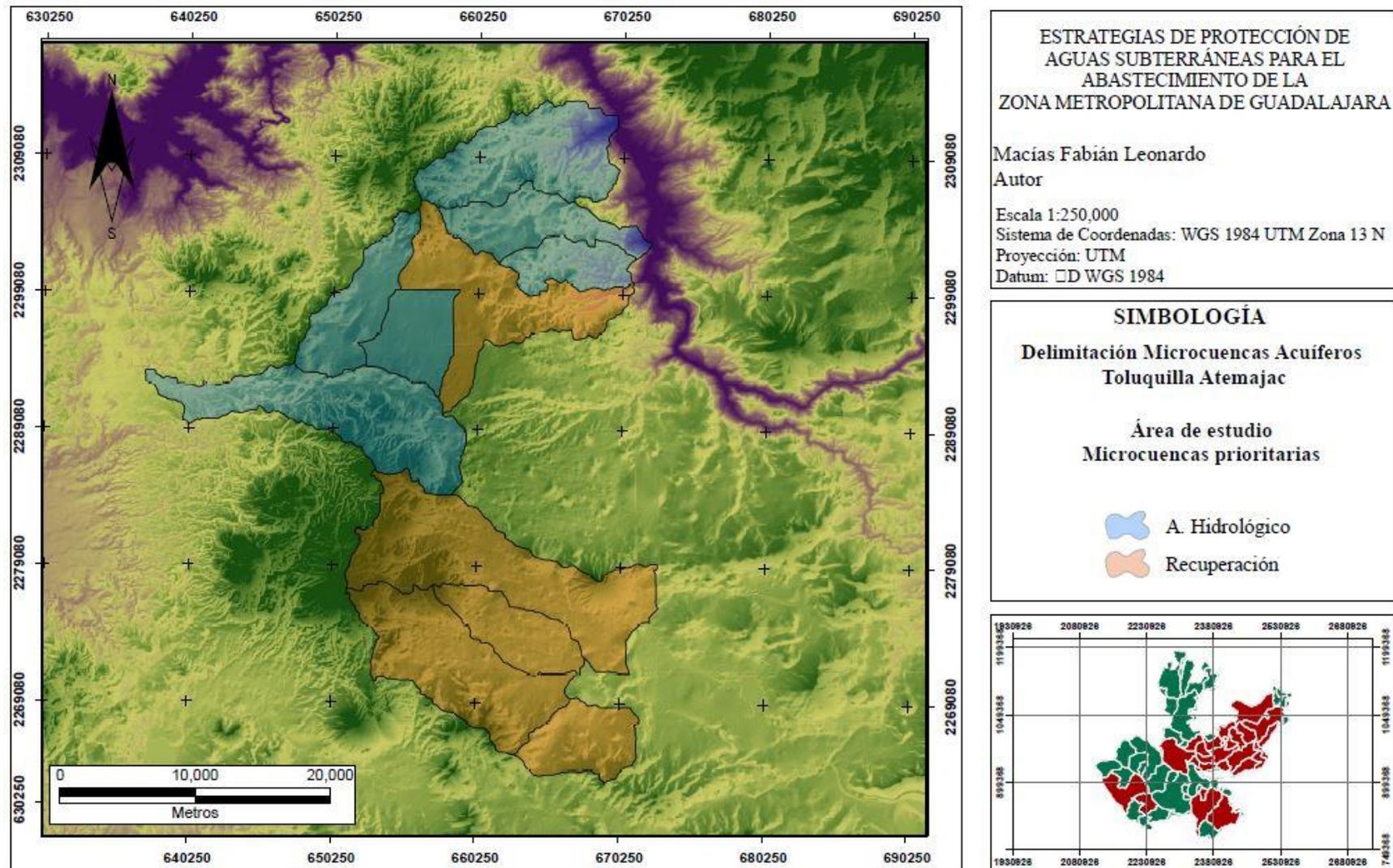
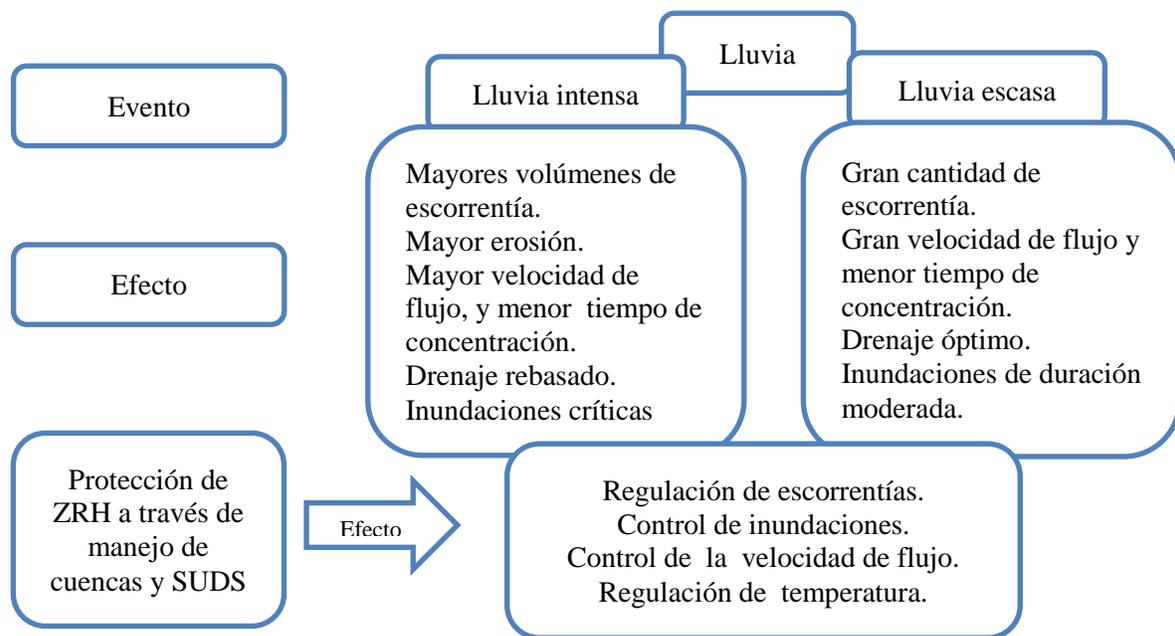


Figura 31. Microcuencas prioritarias, protección de zonas de recarga hídrica.

La importancia de la protección de las ZRH, el manejo de cuencas, y la implementación de SUDS no solo se ve reflejada en la recarga hídrica. Al especular con dos proyecciones futuras para las condiciones de precipitación potencial para la ZMG se tiene que; al existir mayores precipitaciones se requieren de mayores zonas de recarga, para regular los flujos y garantizar reservas de agua, y al existir menor cantidad de lluvia, se requieren mayores zonas de recarga, para asegurar la recarga efectiva y así garantizar reservas de agua. El siguiente esquema resume parte de la importancia.



**Figura 32. Representación uso de la protección de ZRH.**

Como ejemplo básico se propone el uso de huellas de rodado (empedrar las calles y estacionamientos), para los nuevos fraccionamientos (y para aquellos que ya están emplazados en zonas de recarga). Esto disminuye la velocidad de la escorrentía, propicia mayor infiltración, regula los tiempos de concentración (disminuyendo inundaciones), reduce la temperatura de las calles mitigando el efecto de isla de calor. Con acciones sencillas se tiene gran potencial de prevención y mitigación riesgos.

### **9.3 Microcuencas como instrumento de Ordenación y Planificación Territorial**

La cuenca es la unidad de análisis por excelencia de todos los fenómenos que tiene que ver con el agua y, por supuesto, de todos los relacionados con el territorio y su relación con el agua (Brailovsky, 2010). De tal manera que se propone utilizar la delimitación de cuencas para el manejo y gestión de recursos hídricos. Algunas de los beneficios de trabajar con microcuencas son:

- a) El área de estudio es más pequeña, más específica y por lo tanto se requiere de menos recursos.
- b) La problemática es puntual y los pobladores la tienen claramente identificada.
- c) El seguimiento y valoración ambiental, es más efectivo.
- d) Mayor posibilidad de organización comunitaria.

Reconociendo la necesidad de una nueva visión, como "cuenca social" definido como un espacio delimitado por los nacimientos de los cursos de agua y las zonas altas que los protegen y nutren, y se extiende hasta donde llegan las aguas "naturalmente" y hasta donde son conducidas por los hilos contruidos por las sociedades. Dicho concepto naciente en "El Proyecto Visión del Agua en los Andes" asistido por el Centro Internacional de Investigaciones para el Desarrollo y el Comité para la Gestión Integral del Agua en Bolivia (Villaruel et al., 2006).

Generalmente los planes que componen los conjuntos urbanos incluyen vivienda, comercio, servicios, industria; equipamientos, reservas urbana; y omisiones reservas de agua, (recarga y descarga) y el propio ciclo hidrológico natural, ahora haciendo inclusión el urbano. Estos planes son administrados por gobiernos municipales, quienes determinan la viabilidad de la construcción de edificaciones para los diferentes usos del suelo que requiere la ciudad, conforme las relaciones que se establecen entre las diversas actividades de las ciudades.

El manejo de las microcuencas como unidades de planeación permitirán elaborar políticas de gestión integral del agua, donde se priorice la filtración, captación y uso del agua precipitada, generando la planificación cuotas de infiltración, establecidas por el volumen de precipitación promedio y área total de la microcuenca, intentando llegar a los niveles de filtración originales antes de ser impermeabilizada.

## 10. Discusión

El incremento de viviendas, industria y la disminución agrícola creciente para la zona de estudio, responde a contradicciones de fondo. Mientras el SIAPA requiere más agua para consumo humano, refiere que hay escasez, por otro lado la misma ciudad crece a un ritmo superior a la tasa poblacional, demandando mayores recursos hídricos, para una población inexistente. Hoy, la ZMG puede dejar de crecer si la población de la ZMG aumenta al mismo ritmo de los últimos 30 años, esto es posible, puesto que la urbanización excede al crecimiento poblacional entre 8 y 10 años, de acuerdo a los datos de crecimiento de población versus urbanización. Esta priorización del recurso hídrico sobre las necesidades del ecosistema y de la población, contradice la Nueva Cultura del Agua que el Dr. Pedro Arrojo representa, de la misma manera va en sentido apuesto a las medidas de la GIRH. Mientras la ZMG demuestra una prioridad de agua-negocio y agua-delito, esto hace que la gestión integrada de recursos hídricos se ve reducida a una definición en la LAN, sin ser comprendida y por lo tanto aplicada.

Toledo y González (2007), refieren en su artículo el metabolismo social: las relaciones entre la sociedad y la naturaleza; como urgente la necesidad de reconciliar las ciencias sociales con el mundo físico y biológico, entre otras cosas, rompen con la parcelación típica del conocimiento científico tradicional y restituyen la necesaria unidad que debe existir entre las ciencias naturales y las ciencias sociales. De tal manera que este trabajo parte de la dinámica de crecimiento poblacional y el crecimiento de la ZMG, donde la relación obvia es el incremento de la demanda de agua para consumo humano; de manera directamente proporcional la pérdida a través del sistema de distribución. El crecimiento actual de la ZMG ha conducido a la insuficiencia de bienes y servicios, que, según Regalado (1995), desde los ochentas ya se venían acrecentándose. Como respuesta al crecimiento sin orden de la ZMG se creó el Plan Estatal de Ordenación y Regulación de los Asentamientos Humanos, irónicamente con ella inicia la urbanización de zonas boscosas y de alta producción agrícola, acentuándose en zonas aledañas APFFLP como lo menciona Camberos (1993), la parte Norte de la ZMG conformada únicamente por Zapopan, demandó terrenos fértiles para construcción de viviendas como se aprecia en la figura 3 y 4. Desde entonces el crecimiento es ilimitado, se ha llegado a la Barranca de Huentitán y se ha

circundado APFFLP. De acuerdo a los datos de 1960 a 2012, la ZMG crece a mayor tasa que su población, como lo indica el cuadro 12. Visto esto, el CEA y el SIAPA refieren al menos desde hace 10 años, que se requiere de  $12\text{m}^3$  por segundo, por lo cual aún se tiene un déficit de  $3\text{m}^3/\text{s}$ , esto es  $94\text{ Mm}^3$  para el abastecimiento de la población, López et al., (2012), menciona que alrededor de 180,000 habitantes de la ZMG carece de agua como servicio básico. Aquí la CONAGUA utiliza dos términos; “oferta” que no está definido por la LAN, se toma el término a manera de mercado, y no como recurso hídrico. La oferta hídrica natural está directamente asociada a la disponibilidad de agua que el ciclo hidrológico provee en un período y determinado lugar. La misma CONAGUA hace uso de la palabra “demanda” sin estar definida por la LAN, es utilizada para indicar la cantidad de agua que requiere una población más las pérdidas implícitas en el sistema. La visión económica de la palabra demanda se ve ligada inherentemente a la producción o adquisición de más recursos (agua), la ecuación que explica, “Si no hay agua, hay escasez”. Esta definición claramente aplica para el presente estudio, siendo que se calcula que la pérdida en la red de distribución del SIAPA, asciende a  $94\text{ Mm}^3$  la misma cantidad que refiere como deficitaria para el abastecimiento óptimo, a esto se le suma la pérdida en la extracción, conducción y potabilización. Estos números son el complemento para subsanar su opacidad e inoperancia. De los  $240\text{ Mm}^3$  de agua para abastecimiento de la ZMG, los acuíferos Toluquilla y Atemajac en los últimos 15 años han aportado de 80 a  $95\text{ Mm}^3$  anuales, de 3 a  $4\text{ Mm}^3$ .

Orozco (2003), propone el conocimiento del comportamiento y patrón de lluvias en tiempo y espacio como esencial para entender procesos como la variación de la humedad del suelo, recarga de acuíferos y caudal de ríos, esto se sustenta en la secuencia de la información generada en los resultados de este trabajo. Campos (1996), refiere, si no hay requerimientos por satisfacer, aun habiendo carencia total del agua, la ocurrencia de la sequía es discutible. Este silogismo es aplicable a modo dentro de la autoridad, mientras los acuíferos Toluquilla y Atemajac tienen decretos de veda dos decretos de veda, el primero publicado en el Diario Oficial de la Federación el 3 de febrero de 1951, y el segundo, publicado el 7 de abril de 1976, y por otro lado, la misma CONAGUA en marzo 2014, autorizó nuevos pozos para otorgar un metro cubico más para el SIAPA, para llegar a más de  $4\text{m}^3$ , que iniciaron operación en marzo del 2015. Esta gestión de escasez y sobreexplotación no está

claramente fundamentada con 28 acuíferos sin disponibilidad reportada a por CONAGUA en enero del 2014, de la misma manera se gestiona la escasez por parte de CONAGUA, al no estar definida en la LAN. Para efectos de los resultados según la oferta y la demanda de la población, se tiene que la ZMG es vulnerable a la sequía socioeconómica de acuerdo a la definición dada por Wilhite y Glantz (1985). De acuerdo al balance hidrológico calculado en este trabajo, la ZMG presenta escurrimientos superiores a la evapotranspiración y a la infiltración, la comparativa entre la recarga publicada de CONAGUA entre los años 2009 y 2010 para Atemajac y Toluquilla respectivamente, y la presentada en este estudio difieren, a estos se le resta la extracción que para esos mismos años refiere, dando así que el déficit para este estudio es mayor al presentado por CONAGUA.

Existe una correspondencia entre la urbanización y la disminución de zonas de recarga hídrica de la ZMG, a su vez el volumen de agua almacenado en los acuíferos. Estas zonas se representaron en función a las variables disponible, útiles en la prospección de las ZRH. La implementación de los sistemas de información geográfica (SIG) incrementan y facilitan el procesamiento y generación de información, el presente trabajo no generó evaluaciones piezométricas o perforaciones, debido a la obvia limitación económica; en ello radica la generosidad de la interpretación de la información disponible, del INEGI, más la creada y el uso de SIG, puesto que la información aquí expuesta es confiable y comprobables a observaciones puntuales en campo.

De las variables utilizadas para la prospección de ZRH, se tiene un viabilidad parcial promedio de 68% de zonas potenciales de muy alta y alta recarga hídrica, de acuerdo a la metodología de Matus (2007), en ella se evaluaron; Pendiente, tipo de Suelo, Uso de suelo (Urbanización), textura de Suelo, tipo de litología, se crearon los coeficientes de escurrimiento e infiltración, al desglosar variable por variable se tiene que; de acuerdo al potencial de recarga por pendiente el 88% de la zona de estudio (ZE) tiene valores de muy alta y alta recarga hídrica, situadas en el centro y Norte y Noroeste de la ZE, esta variable es quien más interacción tiene con la zona urbana compartiendo un 43% del territorio; el potencial por textura supera el 90% de muy alta y alta filtración, esta postura es favorable para implementar medidas para incrementar la infiltración en zonas urbanas, claramente la ZMG está dispuesta en textura gruesa y media, creando lo que se denomina no suelo, pero que se

puede intervenir; el potencial por tipo de roca, es del 64.49% las unidades geohidrológicas corresponden a material no consolidado con posibilidades altas, situado en el Norte, Noroeste y el centro de la ZE; de acuerdo al uso de suelo la ZE le corresponde 27.95% de uso Agrícola y 8.80% al Bosque Pino-Encino/Encino-Pino. De los cuales la única limitante para la recarga hídrica es el uso de suelo, debido a la urbanización existente. Al comparar las ZRH acorde a los coeficientes de infiltración y a las resultantes de la ponderación de la metodología utilizada, se tiene una diferencia de dos puntos porcentuales, situados arriba del 40%. La integración de las variables condujo a un 41.18% de zonas de muy alta y alta recarga, mientras tanto el coeficiente de infiltración obtuvo 43.15%. Así mismo la evaluación de los parámetros morfométricos de las microcuencas nos arrojan datos de la orografía, capacidad para asimilar los volúmenes de agua que acorde a su disposición geográfica se precipitan sobre ellas, estas cuencas carecen de una compleja red de drenaje superficial, por lo tanto se infiere que la cantidad de agua que se infiltra es alta, esta capacidad orográfica y edafológica es claramente representada por la microcuenca CUCBA, al igual que las microcuencas clasificadas como alargadas; Bajío, Bugambilias, El Palomar, Huaxtla, San Agustín, Tepopote, y Los Molinos que presentan mayores tiempos de concentración, esto provoca que el flujo tenga mayor recorrido, por lo tanto mayor probabilidades de infiltración. De este modo las microcuencas con valores de muy alta recarga son; Bajío, Bugambilias, Chulavista, CUCBA, El Palomar, Los Molinos, San Agustín Tepopote y Tesistán, como alta recarga se tiene a Huaxtla y La Barranca, clasificándola de acuerdo a su condición en; cinco microcuencas de Recuperación y seis de Aprovechamiento Hidrológico. Partiendo que la delimitación de ZRH excede a los límites de los acuíferos de la ZMG, se tiene por efecto la posible alimentación de acuíferos colindantes. La necesidad de gestión de agua subterránea, se vuelve urgencia cuando aparecen alertas de descenso del nivel freático, cuando se pretende incrementar la oferta y la demanda injustificada, o se ve afectada la calidad del agua extraída. El estudio hace una aproximación a las ZRH de acuerdo a los valores superficiales, usar un SIG, agiliza y ahorra recursos en los estudios prospectivos, dirigiéndolos finamente a zonas con alto potencial, que en posteriores investigaciones, con mediciones puntuales, podrán verse corroborados los datos aquí calculados y representados. Los estudios de aguas subterráneas (AS), tienen más de 30 años, como lo menciona Vázquez, (1999), la progresiva

urbanización afecta la disponibilidad del agua así como su calidad, de tal manera que hace pertinente los estudios en zonas urbanas. Los estudios pioneros para la nación se realizaron Zona Metropolitana del Valle de México, ponderando las zonas libres de urbanización.

Una vez representadas las ZRH se observa lo registrado en la normatividad, encontrando deficiencia legal en materia de agua subterránea en México, esta imposibilita la gestión y conservación legal de zonas de recarga y descarga hídrica, por lo tanto la protección de zonas estratégicas para la sustentabilidad de ciudades, está en el limbo legal. Burns, (2013) lo definió claramente, faltan instrumentos legales para delimitar y proteger las ZRH. El estudio describe la falta de opciones legales para delimitar, proteger y restaurar ZRH impermeabilizadas o en proceso; y, para regular las actividades que en sobrellevan. Falta asegurar que las zonas de recarga sea un componente preponderante para otorgar cambios de usos de suelo, planificación y desarrollo urbano. Estos vacíos evidencian las deficiencias en el entendimiento pragmático del agua subterránea en México, las limitaciones en el entendimiento de la dinámica hídrica y socio-ambiental, trae como consecuencia la errática toma de decisiones sectoriales, dadas con una visión corta, limitadas por el mismo poder gubernamental, que, para nuestro sistema se derivan y materializan a través de Políticas, Planes y Programas de gobierno, Federal, Estatal, Municipal. Por lo cual la inclusión de las ANP, como herramienta de protección de ZRH suena viable, aunque la caracterización general de ANP en México es en zonas no urbanas, aunque la implementación y eficiencia de cada ANP es muy variable, ya que es dependiente directa de situaciones socio-políticas particulares como Bruner, (2001), lo define.

La problemática del abasto de agua, según las autoridades Estatales y Federales está relacionada con la escasez del líquido, con la oferta y la demanda, las distancias de donde se obtiene, sequias, balances hídricos, sobreexplotación, son las herramientas que dispone y propone la CONAGUA, que no caracteriza ni define la LAN, estas a su vez retoman las dependencias Estatales y Municipales encargadas de la distribución y manejo del agua. Sin embargo al analizar la situación actual dentro del marco legal y técnico vigente, es posible decir que la principal problemática de abasto de agua, es la misma CONAGUA, y las dependencias secundarias al tema, la gestión de la escasez radica en el manejo de las áreas

preponderantes; las concesiones y las extracciones no son del orden de los gastos y requerimientos ecosistémicos.

Actualmente se desarrolla una transformación mundial en la concepción del agua, en torno al uso eficiente, la forma de obtención y la manera de distribución. Se ha denominado como la vieja cultura del agua y la nueva cultura. Para México se ve reflejado en los objetivos rectores del sector Hidrológico-Hidráulico. Ejes al parecer bien establecidos, a pesar de ello, se desarrolla la vieja cultura del agua, que por anacrónica, es ya incultura. Mientras sus objetivos demuestran una transición adecuada, los hechos en función a lo establecido durante los últimos 30 años, reflejan la misma estructura trasgresora oficialista, visionando un recurso expansionista. El PND (2013-2018), contempla el agua como promotor del desarrollo sustentable, refiriendo la obtención de agua, para las actividades deseadas en los entornos ya establecidos, este enfoque debe quedar en el olvido, el agua debe de ser un factor de limitante al desarrollo y planeación ambiental y territorial. En la actualidad esta misma visión económica; desintegradora de sistemas y transformadora de realidades, ha llevado su vorágine de ambición a otras cuencas, otros pueblos, otros vientos, dejando en la miseria y en el abandono a cientos de personas ajenas a la problemática y bienestar tecnócrata capitalista.

Si tomamos como base que los parámetros del régimen del agua subterránea están controlados por tres componentes del ambiente hidrogeológico: topografía, geología y clima como lo indica Tóth (2000), es posible que los mismos demuestren que se trate de un recurso estratégico, al ser económicamente viable a prospección y a un manejo adecuado en la superficie. Por ello una vez realizado los coeficientes de infiltración y la identificación de ZRH, vistos en la figura 25 y 26, se emprende la delimitación y propuesta de las microcuencas prioritarias, para mayor oportunidad de manejo de las ZRH, referidas en la figura 28, donde se concentran las zonas de muy alta y alta recarga hídrica. Por ello la propuesta de delimitación en función de las microcuencas cumplen con los requerimientos técnicos, normativos, y organizativos.

La planificación de cuencas con la integración de agua subterránea, no tienen ningún impedimento técnico, las ventajas son aplicables para la previsión y aprovechamiento de los caudales. Las extracciones de agua de una microcuenca, en la medida de lo posible

deber darse para abastecer las necesidades de esa misma microcuenca, esto señalado por Custodio y Llamas (1983). Las microcuencas al ser vistas como sistemas abiertos, que reciben energía de la atmósfera y la transfieren a través de evapotranspiración y del caudal, que a su vez se integra y cumple funciones en otro sistema, esta visión de cuenca, generan inclusión, entendimiento y acercamiento a los recursos disponibles, así como los usos antropogénicos ahí sobrellevados. La delimitación de la microcuencas permite un mejor uso de los recursos hídricos, el manejo y la gestión integral de cuencas son procesos interactivos y proactivos, de tomas de decisiones funcionales. Este sistema provee la oportunidad de hacer un balance entre los diferentes usos potenciales de los recursos naturales de acuerdo a su vocacionamiento y estos a los impactos que puedan tener a corto, mediano y largo plazo para la sostenibilidad y resiliencia de la cuenca, referida a la recarga y a sus zonas de descarga. Ello Implica la formulación y desarrollo de actividades que involucran a los recursos naturales y humanos coexistentes en la cuenca, al encontrar diversos usos de suelo, por lo cual la dinámica del ciclo hidrológico es alterada, esa alteración es la base para el manejo adecuado. Esto genera la integración donde los recursos naturales y sociales se ven inmersos en el mismo espacio, siendo que, ya es posible hablar de microcuencas impermeabilizadas, que según la clasificación de Zandbergen (2000), se encuentran en claro proceso de degradación, contemplando del 8 al 64 % de impermeabilización de microcuencas, por lo tanto es indicativo referirnos como cuenca urbana, y considerar el ciclo hidrológico urbano. Una de las opciones a la restauración de la capacidad de filtración de agua en las cuencas urbanas es la aplicación de los SUDS, con ellos sería posible agregar pautas y mejores condiciones para que el agua cumpla con su ciclo de la manera más cercana a la natural dentro de la ZMG, utilizando el potencial que de acuerdo a los parámetros morfométricos de las microcuencas de la ZMG. El ciclo hidrológico modificado solo por la impermeabilización acarrea mayores escorrentías, que, como lo refiere Keller (1996), es uno de los dos componentes íntimamente relacionadas con las inundaciones, la cantidad e intensidad de las precipitaciones, (que estas pueden ser del mismo orden y rango promedio) aunado a mayor escorrentía, causa los mayores problemas en el manejo de cuencas urbanas, es entonces, la parte del ciclo hidrológico en la cual se debe intervenir activamente. Como lo define Gutiérrez (2012), la característica general de las microcuencas propuestas en este trabajo

refiere un alto grado de escorrentía debido a la impermeabilización, por ello los SUDS pueden utilizarse como alternativa a los sistemas de drenaje convencional o en combinación con estos, la filosofía de los SUDS es simple, trata de reproducir de la manera más fiel posible, parte del ciclo hidrológico natural previo a la urbanización o actuación humana, su aplicación va directamente en disminuir la escorrentía, y por ende, el aumento de filtración. La opción es reducir volúmenes de escorrentía, esto regularía tiempos de concentración y dada la capacidad de la ZE podría generarse una infiltración alta, además de ello, se lograría tener un decremento en la temperatura a nivel microlocal, mitigando el efecto isla de calor. De acuerdo con Morris et al., (2006) la investigación de AS en las megaciudades no solo es el saber de la calidad del AS, sino el comportamiento y los volúmenes de agua subterránea almacenada. Que, por lo general mayores que los volúmenes almacenados en superficie, por lo que el abastecimiento a partir de aguas subterráneas no suele verse afectado por las sequías prolongadas, en condiciones adecuadas para la recarga del mismo. Al funcionar como un tanque almacenador de gran capacidad sin intervención de infraestructura ni irrupciones ambientales, funciona como tanque regulador, se propicia una evaporación mínima con la cual se convierte proveedor de productividad (al ser aprovechado localmente) al descargar sus aguas en manantiales, que alimentan Ríos que a su vez vuelven a las zonas de recarga manteniendo un flujo constante, actuando como filtrador.

La importancia del agua subterránea yace en la visión económica del agua a futuro, generando grandes volúmenes de reserva, o de uso inmediato, una visión precaria y dominante, como lo refiere Faustino (2006), el agua subterránea es parte del ciclo hidrológico. Por lo tanto se debe de tener la visión sistémica, y no solo ver su uso de mercado, sino los servicios ecosistémicos. El valor económico de un recurso específico de agua subterránea está determinado por su uso prospectivo. Si bien no podemos hablar que el agua posee el valor de la responsabilidad o de justicia, si podemos ejecutar esos valores para hacer de dicho recurso un elemento justo y con él un desarrollo responsable. La valorización del agua, es directamente proporcional a la persona y el ámbito donde se desenvuelva, como lo refiere Ramos (2004), el agua como propiedad de algunos o propiedad de todos. Mientras puede ser una valiosa mercancía, puede ser un grato recuerdo. La cosmovisión indígena del agua va más allá de un recurso hídrico, es un ser vivo presente

en cada uno de los aspectos individuales y colectivos, es sagrada, sanadora, mística, se presenta en estados de ánimo, tiene cómplices y guardianes, tiene razón y conducta, premia y castiga acorde a las actividades realizadas.

La importancia del agua que desde la perspectiva de los sistemas de flujo tiene que ver no sólo con cuanto se recarga sino también hacia donde se mueve esa recarga, esta pregunta se establece si el agua recargada forma parte de un sistema de flujo local, intermedio o regional.

El agua actualmente es un activo ecosocial a nivel mundial, hoy planteado con gran frecuencia ante los diversos ejercicios y programas para el "combate al cambio climático" en si las acciones que se realizan y realizarán como medidas de adaptación al cambio climático tienen un claro señalamiento en el recurso hídrico, ya sea en su uso racional, así como mejorar las condiciones para extraer, conducir, emplear y conservar el vital líquido, dicho de otra manera, la gobernabilidad óptima del recurso, se deben implementar estrategias para el uso y consumo razonable, tal como el aprovechamiento del mismo de manera local y eficiente, dar mantenimiento y fortalecer el sistema de abastecimiento local, restablecer fuentes de abastecimiento dentro de la misma cuenca, incentivar la captación de lluvia individual y canalizar la precipitación de la metrópoli para abastecimiento y filtración inducida, restableciendo en lo sumo de lo posible el ciclo hidrológico natural, así como conducir una política de conservación y restauración de las cuencas y sitios de recarga hídrica, se debe encontrar un equilibrio ambiental, esto dado en principio por descentralizar a la autoridad correspondiente, unificando criterios entre dependencias, utilizando la visión ecosistémica y caudales holísticos.

El agua debe ser el factor limitante al desarrollo industrial y urbano. La gestión de la escasez y la vulnerabilidad adquirida por los diversos manejos lineales de las políticas tradicionales, han ocasionado la inmediata inclusión de nuevo enfoque socio-ambiental, derivando la comprensión de las cuencas como sistemas abiertos de transferencia de energía, dando cumplimiento a un ciclo. Poniendo énfasis en las zonas estratégicas para la obtención y procuración de servicios de regulación, aprovisionamiento, culturales y de apoyo. La gestión de recursos hídricos subterráneos no solo es por objeto sino por objetivo de medición y conservación de agua, para uso ecosistémico; posteriormente antropogénico.

## 11. Conclusiones

-La relación existente entre el crecimiento de la Zona metropolitana de Guadalajara con la disminución de zonas de recarga hídrica, es inherente al abatimiento de los acuíferos Toluquilla y Atemajac, esto es claro después de la realización del presente trabajo, lo que permite no rechazar la hipótesis trazada en la investigación.

-Las condiciones edafológicas, climáticas, geográficas y geológicas, presentes en la ZMG son propicias para la recarga hídrica, encontrando zonas de Muy Alta y Alta recarga hídrica. Las cuales con una gestión y manejo apropiado podrán aproximarse a los niveles de recarga naturales. La única limitante puntual es la urbanización, esto disminuye gradualmente la capacidad de resiliencia de los acuíferos. No obstante la implementación de SUDS contribuiría de manera positiva para la recarga y control de escorrentías.

-Las zonas de recarga hídrica de mayor potencial son; Bajío-La Primavera, Tesistán-Nixticuil, CUCBA, Tepopote, El Palomar. En dichas zonas se debe detener la impermeabilización y en gran medida regular las actividades allí realizadas, de tal manera que se genere la recuperación y aprovechamiento estratégico como recarga hídrica.

-Los vacíos legales que hoy se presentan para la protección y recuperación de zonas de recarga hídrica, a nivel Federal, Estatal y Municipal, podrán ser plenamente subsanados a través de los mecanismos que hoy la legislación permite, para decretar áreas de protección municipal, utilizando la modalidad de áreas de protección hidrológica. Por ello se integra la visión holística donde las aguas superficiales y las aguas subterráneas son parte del ciclo hidrológico, de esta manera se plantea la gestión, manejo y protección de microcuencas, actuando de manera firme el tridente: academia, sociedad y gobierno, coordinados en concurrencia a estudios multidisciplinarios.

-El manejo y protección de microcuencas es una opción razonable y técnicamente viable para la delimitación, manejo y recuperación de zonas de recarga hídrica de los acuíferos Toluquilla y Atemajac; y no solo estos, ya que el manejo y protección de cuencas incluye y no excluye, si bien la delimitación superficial del territorio se ve restringida a los componentes hidrogeológicos, está, aún es la delimitación territorial más acertada, puesto que en ella se pueden localizar zonas de recarga y descarga de uno o varios acuíferos. Está

situación genera impactos positivos en flujos locales, intermedios y regionales, por lo tanto la protección superficial de las cuencas hídricas, dista de ser superficial, esto se ve reflejado directamente en los componentes subterráneos, de tal modo que con una cuenca sana, los acuíferos tienden a incrementar la recarga potencial y efectiva.

-El potencial de la ZRH no se limita a temas de agua, partiendo de zonas en condiciones óptimas estas coadyuvarían a la regulación de temperatura de la ZMG, a la regulación de inundaciones, y de mayor medida a la consolidación del APFFLP y el corredor biológico existente entre las tres áreas de protección, Barranca de Huentitán, y el Nixticuil. Además puede dictar la pauta de planeación urbana y/o nuevas técnicas de urbanización.

-Las necesidades hídricas dentro de la ZMG, no corresponden a las necesidades básicas de consumo humano prioritario. Esta relación no es directamente proporcional al crecimiento de su población. La oferta y demanda del recurso se incrementa a razón de la construcción, e industria, y no al uso de la población.

-La mayor amenaza de disponibilidad de agua para la ZMG es para la población, ya que en ningún momento, tanto en la legislación como en las políticas públicas se tienen disminuciones o cancelaciones de concesiones (exentando eventualidades).

-Las zonas de mayor deficiencia hídrica no se encuentran como vulnerables por la falta del líquido, sino por el incremento de las actividades allí sobrevenidas, y las pérdidas en el sistema de distribución. De tal manera que se extiende el déficit con el crecimiento de manera desordenada-injustificada, sin atender el sistema de distribución y las zonas cercanas de aprovisionamiento del líquido.

-Se debe socializar la información, que se hace con el agua, por el agua y en el agua, en términos ambientales, políticos y económicos, además, es de suma importancia la visibilización de errores y aciertos en la toma de decisiones sobre el agua, así como la causa y los efectos de las mismas.

-Al hablar de la ciudad como un ente, como un flujo ecosistémicos, se debe generar de manera inequívoca la participación social, abatiendo la apatía, sumando responsabilidad social y civil ávida del empoderamiento de su ambiente, de su ciudad y la vida misma, de

tal manera que el metabolismo social sea consecuente y concurrente a los medios y mecanismos más nobles y con amplio razonamiento para el bien común, puesto que toda problemática ambiental, está referida al sistema económico en turno.

-La reactivación de la sociedad a través de la recuperación de espacios y zonas estratégicas de la ciudad, es efectiva siempre y cuando las políticas públicas serán realmente públicas; Guadalajara una ciudad que le da la espalda a su Río, a su Bosque, a su ambiente, no es una ciudad que pueda generar identidad, ni estabilidad, en ningún sentido, por lo tanto es de suma necesidad el actuar y dar un giro inmediato, para poder (re) construir una ciudad sana, incluyente, proactiva, contestataria e involucrada en los sistemas, problemas y soluciones que nacen y se extienden en el mismo lugar, la ciudad.

-Se debe hacer puntualmente una inclusión cultural de la cosmovisión de los pueblos origen. Es preciso alentar el ahorro del agua, pero es más diligente valorizar, concientizar y empoderar a cada sector social sobre la jerarquía del agua como elemento integrador de los ecosistemas y por ende de los servicios ecosistémicos, para cada una de nuestras actividades diarias, atenuante inequívoca de nuestras funciones económicas, sociales culturales y vitales.

## **12. Propuestas**

Por lo tanto para el manejo de zonas de recarga hídrica se expresa lo siguiente: Se propone como necesidad urgente, la inclusión del término dinámica socio-ambiental, y cuenca social, en las evaluaciones que impliquen el conflicto político-económico del agua en la sociedad, sea subterráneo o superficial, definiendo así; un ordenamiento y planificación ambiental estratégico en función al recurso hídrico.

Se propone la inclusión de las zonas de recarga hídrica, en la normatividad Federal y Estatal dentro de la LAN, LGAH, LGEEPA y LEEEPA, a fin de sustentar de manera legal la protección y regulación de los usos de suelo allí sobrellevados así como la restauración y recuperación de las ZRH.

Se propone el uso de sistemas de flujo aguas subterráneas (SFAS), para pasar de estimaciones de caudales hidro-ecológicos a mediciones holísticas, y de esta manera tener proximidad a los volúmenes reales de agua superficial y subterránea.

Se propone la inclusión del agua virtual como herramienta de cálculo del gasto total de agua en los sistemas productivos.

Se propone la aplicación de los Sistemas Urbanos de Diseño Sostenible (SUDS), dicho concepto naciente para controlar y regular la velocidad y daños ocasionados por el agua en sitios urbanos, empleando la misma ciudad como herramienta.

Se propone la inmediata reparación de la red de distribución del SIAPA, y la separación del drenaje pluvial del convencional.

Se propone la visión del agua como regente y principio de vida. (No recurso mercantil).

En las zonas de recarga hídrica existe impermeabilización que oscilan de 8 a 63% dentro de la delimitación de microcuencas, por lo cual la propuesta se ve definida en la aplicación de medidas normativas, administrativas y técnicas.

### **Las medidas normativas incluyen:**

- a) Proyectar el recurso agua como factor limitante a las actividades antropogénicas.

- b) Prohibición total de edificaciones en zonas de Muy Alta y Alta recarga hídrica.
- c) Establecimiento de cuotas de infiltración.
- d) Recuperación y Restauración de ZRH y ZDH.
- e) Inclusión de ZRH y descarga en las categorías de zonificación de los PPDU.
- f) Definición de condicionantes ambientales, hídricas, edafológicas, para la clasificación del uso de suelo de los ordenamientos territoriales y/o PPDU.
- g) Inclusión de servicios ecosistémicos en la planeación de desarrollo.
- h) Potencialización del usos de suelo en función a su vocación; como programas de agricultura sustentable con proyectos agroforestales, silvopastoriles, dirigidos a mejorar la producción y las condiciones de las zonas de recarga hídrica. (Labranza de conservación, incorporación de materia orgánica, etc.)
- i) Incluir Sistemas urbanos de drenaje sostenible (SUDS), en nuevas edificaciones y zonas impermeabilizadas.
- j) Estandarización de criterios ambientales entre dependencias.
- k) Valoración y ponderación económico-ambiental del agua subterránea (AS).
- l) Valoración y ponderación económica para los servicios ecosistémicos.
- m) Incluir la Cosmovisión de los pueblos origen.
- n) Inclusión del complejo paisajístico.
- o) Articulación de las actividades de protección de las aguas subterráneas con planes y programas, federales, estatales y municipales.

**Se proponen cuatro medidas de carácter administrativo:**

- a) Coordinación y responsabilidad compartida.
- b) Capacitación interinstitucional y comunitaria para el manejo de cuencas y ZRH.
- c) Coordinación multisectorial e interdisciplinar: academia, sociedad, y gobierno.
- d) Seguimiento y monitoreo social (Empoderamiento social).

**Finalmente se proponen una serie de medidas de carácter técnico que incluyen:**

1. Programa de manejo y producción sustentable (Incentivos).
  - a) Huellas de rodado
  - b) Techos verdes
  - c) Huertos urbanos

- d) Captación agua de lluvia
  - e) Ahorro virtual del agua (Cultura Ambiental).
  - f) Mecanismos de ahorro en casa (inodoro, regadera, jardín).
2. Diseño y ejecución de programas de incentivos PSA, PSAH.
    - a. Protección de espacios públicos
      - i. Manejo de baldíos y parques
    - b. Saneamiento de arroyos y ríos urbanos
  3. Restauración y protección de los recursos dentro de la ciudad.
    - a. Recuperación de red hídrica.
      - i. Creación parques lineales
      - ii. Cinturones verdes
        - a. Ríos
        - b. Arroyos
        - c. Zonas descarga
        - d. Zonas de recarga
  4. Recarga artificial.
    - a. Agua de lluvia.
    - b. Agua tratada (Reciclada)
  5. Forestación de espacios públicos.
    - a) Parques
    - b) Ríos
    - c) Arroyos
    - d) Baldíos
  6. Pozos y zanjas filtrantes.
  7. Depósitos de filtración y retención.
  8. Humedales artificiales.
  9. Operación de red de monitoreo (En función a las extracciones de los acuíferos).

Se hace constar la necesidad de investigación para la identificación y definición de técnicas que permitan intervenciones urbanísticas con mayor posibilidad de recarga a los acuíferos, así mismo se hace énfasis en el estudio general de los acuíferos para lograr una caracterización completa del funcionamiento actual, para poder corregir y establecer los lineamientos para el manejo y conservación de sus servicios ecosistémicos.

### 13. Bibliografía

Agua para todos, agua para la vida. Documento: <http://aguaparatodos.org.mx/memoria-del-segundo-congreso/> (consultado, diciembre 2014).

Aparicio, M. (1997). Fundamentos de hidrología de superficie. Cuernavaca, México, Lisuma.

Arrojo, P. (2006). El reto ético de la Nueva Cultura del Agua, Barcelona: Paidós.

Astorga, E. (2006). Material de referencia en curso de gestión integrada del recurso hídrico.

Barkin, D. (2002). “La gestión popular del agua: respuestas locales frente a la globalización centralizadora” en: La directiva marco del agua: realidades y futuros. III Congreso ibérico sobre gestión y planificación del agua. Fundación nueva cultura del agua, Instituto Fernando el católico de la diputación de Zaragoza-Universidad de Zaragoza y Junta de Andalucía, Zaragoza, España.

Barkin, D. (2006). La Gestión del Agua en Urbana en México-Retos, Debates y Bienestar. Universidad de Guadalajara, Centro Universitario de Ciencias Sociales y Humanidades.

Barrientos, D. (2012). Economía Verde: Retos y Oportunidades para América Latina: Caso Mexicano. CEID: V Congreso Internacional de Medio Ambiente. Bogotá, Colombia, octubre de 2012. Presentación.

Bruner, A. E. R. Gullison (2001). Effectiveness of parks in protecting Tropical biodiversity. Science, Vol 291.

Calvo, L. (2005). Métodos de riego: un enfoque práctico para el diseño. San José, Costarica.

Carrillo, J. Pisanti y Jaramillo, L. (2010). Elaboración de análisis de caso sobre el impacto ecológico, hidrogeológico y productivo del uso de instrumentos económicos con objetivos ambientales; caso agua subterránea. Ejemplo del análisis hidrogeológico del acuífero de San Luis de Potosí. Convenio Instituto Nacional de Ecología e Instituto de Geografía, UNAM.

CATIE (2006). Uso de principios, criterios e indicadores para monitorear y evaluar las acciones y efectos de políticas en el manejo de los recursos naturales. Turrialba.

Centro de Desarrollo Urbano Sustentable. Documento. <http://www.cedeus.cl/exitoso-ciclo-agua-y-ciudad/> (consultado junio 2014).

Centro virtual de información del agua. Documento: <http://www.agua.org.mx/index.php/biblioteca-tematica/gestion-del-agua> (consultado, noviembre 2014).

Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) (2010). Estadísticas del agua en México, edición 2010. México.

Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), (2009). Programa Hídrico Visión 2030 del Estado de Jalisco. México.

Consejo Estatal de Población (COEPO) (2011). Jalisco en cifras: una visión desde los resultados del Censo de Población 2010 y desde los programas públicos. México.

Consejo Nacional de Población (CONAPO), (2008). Proyecciones de la población de México, de las entidades federativas, de los municipios y de las localidades, 2005-2050.

Custodio, E. (2001). Effects of groundwater development on the environment. Boletín Geológico y Minero, Madrid.

Custodio, E. (2002). Aquifer overexploitation, what does it mean? Hydrogeology Journal.

Custodio, E. (2003). Task of Euro Geosurveys under the subsidiarity principle.

Custodio, E. (2005). Groundwater as a key water resource. Libro Homenaje al Profesor D. Rafael Fernández Rubio. Instituto Geológico y Minero de España, Madrid:

Custodio, E. (2005). The potential for desalination Technologies in meeting the water crisis: comments. Water Crisis: Myth or Reality?. Eds. P.P.Rogers, M.R.Llamas, L.Martínez–Cortina. Taylor & Francis / Balkema, Londres:

Custodio, E. (2007). Groundwater protection and contamination. The Global Importance of Groundwater in the 21st Century. Proc. Intern. Symp. on Groundwater Sustainability (Ed.

S. Ragone, A. de la Hera, N. Hernández–Mora). National Ground Water Association Press, Westerville.

Custodio, E., Llamas, M. Samper, J. (1997). La evaluación de la recarga a los acuíferos en la planificación hidrológica. Asociación Internacional de Hidrología Subterránea–Grupo Español/Instituto Geológico y Minero de España, Madrid.

Derechos del agua y gestión ciudadana. Documento. <http://www.condesan.org/socialagua/derechos.htm> (Consultado noviembre 2014).

Dourojeanni, A. (1994). Políticas públicas para el desarrollo sustentable: La gestión

El Programa Hidrológico Internacional (PHI). Documento. <http://water.usgs.gov/edu/watercyclespanish.html#gwdischarge> (consultado, abril 2014).

Evaluación de la Vulnerabilidad Futura del Sistema Hídrico al Cambio Climático. Documento.

[http://www.preventionweb.net/files/28416\\_evaluaciondelavulnerabilidadfuturad.pdf](http://www.preventionweb.net/files/28416_evaluaciondelavulnerabilidadfuturad.pdf)  
(consultado, mayo 2014).

Faustino, J. (2006) Notas de clase para el curso identificación, evaluación y manejo de zonas de recarga hídrica. San Salvador, CATIE.113 p.

Faustino, J. (2007). Identificación, evaluación y manejo de áreas de recarga hídrica. Cartago, Costa Rica, CATIE.

Faustino, J. García, S. (2001). Enfoques y criterios prácticos para aplicar el manejo de cuencas. San Salvador, El Salvador, Visión Mundial.

Ferretti, J. (2003). El recurso agua en el desarrollo de América Latina y el Caribe. Un Día de las Américas: resúmenes. Kyoto, Japón.

Foster, S. Garduño, H. (2013). Groundwater-resource governance: Are governments and stakeholders responding to the challenge?. Hydrogeology Journal 21:

Foster, S. Lawrence, A. (2001). Las aguas subterráneas en el desarrollo urbano: Evaluación de las necesidades de gestión y formulación de estrategias: Washington D.C., Banco Internacional de Reconstrucción y Fomento/Banco Mundial,

Gobierno de la República, (2014). Programa Nacional Hídrico 2014-2018. México: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.

Guerrero, M. (1991). El agua. Fondo de Cultura Económica, Colección Ciencia desde México 102, México.

Guibert, J. A. Stanford. (1994). Groundwater Ecology. Academic Press.

Gutiérrez, M. (1977). Abastecimiento de agua potable para la ciudad de Guadalajara, Guadalajara: Universidad de Guadalajara, Facultad de Ingeniería Civil, (Tesis Licenciatura)

Hoogesteger, J., (2005). Placing institutional interventions in their context. Groundwater Management in Guanajuato (México). Summary Sheet of Good Practices for E-Forum of the FAO/Netherlands. Conference on Water for Food and Ecosystems: Make it Happen.

Jiménez P. (1995). El crecimiento urbano de Guadalajara, Guadalajara Jalisco, Colegio de Jalisco.

Jiménez, F. (2000). Agroambiente. Evapotranspiración. CATIE, Turrialba, Costa Rica.

Jiménez, F. (2005). Metodologías de investigación en sistemas agroforestales: Medición de los componentes del balance hídrico, CATIE, Turrialba, Costa Rica.

Ley de Aguas Nacionales. Diario Oficial de la Federación. México, 1º de diciembre de 1992. Última reforma 11-08-2014.

Ley Estatal de Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente. México, Última reforma

Ley General de Cambio Climático. Diario Oficial de la Federación. México, 6 de Junio de 2012, vigente a partir del 10 de noviembre de 2012.

Ley General de Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente. Diario Oficial de la Federación. Publicada en el D.O.F. de fecha 28 de enero de 1988.

Libro Verde sobre la gestión del agua en la ecoconstrucción en el Mediterráneo. Documento. <http://www.iagua.es/noticias/gestion/12/07/17/el-libro-verde-sobre-la-gestion-del-agua-en-la-ecoconstruccion-en-el-mediterraneo-ahora-disponible-e-1> (consultado, abril 2014).

Límites Ecológicos de las Alteraciones Hidrológicas. Documento: <http://www.eflownet.org/viewinfo1.cfm?linkcategoryid=18&linkid=85&siteid=2&FuseAction=display> (consultado, mayo 2013).

López C. (2002). Historia de la introducción del agua en Guadalajara 1842. Descripciones Jaliscienses. Colegio de Jalisco.

López, M. (1992). La Cuadrícula en el desarrollo de la ciudad Hispanoamericana, Universidad de Guadalajara, Guadalajara Jalisco.

Magaña, V. y C. Gay (2001). Vulnerabilidad y Adaptación Regional Ante El Cambio Climático y sus Impactos Ambiental, Social y Económicos. México: INE.

Mapa digital de México. Programa: <http://gaia.inegi.org.mx/mdm6/> (consultado, marzo 2013).

Martínez G. Francisco, (1997). La Nueva Cultura del Agua en España, Bilbao: Bakeaz, COAGRET.

Martínez, A. K y K. Schlüpmann. (1993). La ecología y la economía. Fondo de Cultura Económica, México, D.F.

Matthews, O.P, Brookshire, D.S. y M.E. Campana (2001). El valor económico del agua. Publicación No. WRP-4 Programa de Recursos Hídricos. Campana Universidad de Nuevo México, EUA.

Matus, O. (2007). Elaboración participativa de una metodología para la identificación de áreas potenciales de recarga hídrica en subcuencas hidrográficas, aplicada a la subcuenca del río Jucuapa, Matagalpa, Nicaragua. Tesis Mag. Sc. Turrialba, Costa Rica, CATIE.

Meléndez; Fuster. (1973). Geología. Tercera edición. Madrid, España, Universidad de Madrid.

Méndez, R. I., Namihira, G. D., Moreno, A. L. y C. Sosa de M. (1984). El protocolo de investigación: Lineamientos para su elaboración y análisis. Editorial Trillas, México. D.F.

Mendoza B. 2005. Tecnologías utilizadas en los actuales sistemas de producción y conservación en la Subcuenca del Río Jucuapa, Matagalpa, Nicaragua. Tesis Mag.Sc. Turrialba, CR, CATIE.

Monsalve S. German. (1999). Hidrología en la ingeniería, México, Alfaomega.

Montenegro F. (2012). “El Agua y el Límite de Crecimiento de las Ciudades”, Editorial Académica Española (EAE).

Morris, B. (2006). Assessing the impact of modern recharge on a sandstone aquifer beneath a suburb of Doncaster, UK: Hydrogeology.

Orozco, E; Padilla, T y Salguero, M. 2003. Manual técnico: Metodología para la determinación de áreas de recarga hídrica natural (ARHN).

Páez, L. (1951). Guadalajara, Jalisco, México. Su crecimiento, división y nomenclatura durante la época colonial 1541-1821, Gobierno de Jalisco.

Paredes, A; Guerra, C. (2006). Recarga de acuíferos desde el ordenamiento territorial para reducir la vulnerabilidad frente a la sequía. Programa Desarrollo Rural Sostenible. Perú.

Peñuela, L. (2007). Proceso de recarga-descarga de agua subterránea en zonas receptoras de pago por servicio ambiental hidrológico, Sierras Nevada y Las Cruces-México, tesis de Maestría, Instituto de Geofísica, UNAM, México.

Peñuela, L. (2012). Caracterización del funcionamiento de los sistemas de flujo de agua subterránea en la porción centro-sur de la Mesa Central, México, tesis de Doctorado en Geografía, Facultad de Filosofía y Letras, UNAM.

Perales S. (2008). “Los sistemas urbanos de drenaje sostenible: Una alternativa a la gestión del agua de lluvia”, Universidad Politécnica de Valencia. España.

Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente. Documento. Medio ambiente para el desarrollo, manejo de ecosistemas. <http://www.unep.org/spanish/ecosystemmanagement/Introducci%C3%B3n/tabid/4220/Default.aspx> (consultado diciembre 2014).

Ramos, O. S (2004). Mercados de agua. Coordinación de desarrollo profesional e institucional-IMTA, Jiutepec, Morelos, México

Replanteando la metrópoli. Estrategias para un desarrollo urbano ordenado y sustentable. Documento. [http://www.nl.gob.mx/pics/pages/apdu\\_rizoma\\_base/Rizoma\\_08.pdf](http://www.nl.gob.mx/pics/pages/apdu_rizoma_base/Rizoma_08.pdf) (consultado septiembre 2014).

Sánchez S. 2004. Hidrogeología. Departamento de geología, Universidad de Salamanca, España.

Simulador de flujos de agua, de cuencas hidrográficas. Programa: [http://antares.inegi.org.mx/analisis/red\\_hidro/SIATL/](http://antares.inegi.org.mx/analisis/red_hidro/SIATL/) (consultado, marzo 2013).

Sistema de información territorial estatal en línea. <http://sitel.jalisco.gob.mx/index2.php> (consultado, mayo 2014).

Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible. Documento. <http://www.hidrologiasostenible.com/sistemas-urbanos-de-drenaje-sostenible-suds/> (consultado junio 2014).

T, Calvo (1992). . Fray Antonio Tello, Crónica Miscelánea de la Sancta Providencia de Xalisco, Guadalajara, Ed. Font, 1945, Guadalajara y su región en el siglo XVII. Población y Economía, Guadalajara, Ayuntamiento de Guadalajara.

Toledo V. M. y M. González (2007). El metabolismo social: las relaciones entre la sociedad y la naturaleza. En: Garrido F., González de Molina M., Serrano J. L. y Solana J. L. (eds.), *El paradigma ecológico en las ciencias sociales*. Barcelona: España: Icaria editorial.

Tóth, J. (2000). “Las aguas subterráneas como agente geológico: causas, procesos y manifestaciones”, Boletín Geológico y Minero, vol. 111, núm. 4.

Urbanismo sostenible. Documento. [http://www.edurso.com/wp/?page\\_id=9](http://www.edurso.com/wp/?page_id=9) (consultado junio 2014).

Younger, P.L. (2007). Groundwater in the environment, an introduction. Blackwell Publ. Oxford.

## 14. Anexos

### Anexo 1. Sistematización, Valoración y Cosmovisión del Agua

Los siguientes términos poco a poco se han incluido en políticas, planes y programas de gobierno y la iniciativa privada: La gestión del agua se vuelve incluyente como medida urgente, dando respuesta a diversas situaciones y acciones que se ejecutan en la actualidad.

#### Sistematización

El agua es el alma azul de este planeta, como lo describe el Dr. Pedro Arrojo, quien junto al Dr. Francisco Javier Martínez Gil son fundadores y promotores de la Nueva Cultura del Agua. Arrojo (2006), se distingue cuatro categorías de la nueva visión de la gestión del agua; Nueva Cultura del Agua.

***El agua-vida:*** Es aquella agua que proporciona las bases para la supervivencia, tanto de los seres humanos como de los demás seres vivos. Esta agua debe ser reconocida y priorizada de forma que garantice la sustentabilidad de los ecosistemas y como derecho humano. Aun cuando esta propuesta nace en la unión Europea, Ecuador y Bolivia son los pioneros en reconocer derechos a la naturaleza de forma legal.

***El agua-ciudadanía:*** Agua para actividades de interés general, segundo nivel de prioridad. Agua que contribuye a reforzar las funciones de salud y cohesión social, como la brindada por los servicios de abastecimiento de agua y saneamiento.

***El agua-negocio:*** Agua en tercer nivel de prioridad. Es el agua que cumple funciones económicas legítimas, ligadas a actividades productivas, en conexión con el derecho individual de cada cual a mejorar su nivel de vida. Es injustificable éticamente que por tales usos se cuestionen derechos y funciones de las categorías anteriores.

***El agua-delito:*** Agua en cuarto nivel de prioridad. Es el agua que es utilizada en usos productivos que, aún al margen de la ley, vienen imponiendo extracciones abusivas al agua subterránea y ríos.

La LAN incorporó el termino Cultura del Agua Capítulo V BIS. Capítulo adicionado en el diario oficial de la federación, publicado en el 2004. Si bien no lo define, lo cita en 12 ocasiones. De acuerdo a CONAGUA (2009), por cultura del agua se entiende al proceso continuo de producción, actualización y transformación individual y colectiva de valores, creencias, percepciones, conocimientos, tradiciones, aptitudes, actitudes y conductas en relación con el agua en la vida cotidiana.

A) Agua Virtual:

El concepto de agua virtual surgió a principios de los años 90 y fue definido por vez primera por el Profesor Allan (1990), como el agua que contienen los productos. Para producir bienes y servicios se necesita agua; se denomina agua virtual del producto, ya sea éste agrícola o industrial, al agua utilizada para producirlo (Hoekstra et al., 2002).

B) Agua Azul:

Aguas subterráneas y terrestres referidas en el contexto hidrológico, ríos, lagos, lagunas, embalses hechos por el hombre, presas, bordos.

C) Agua Verde:

Agua proveniente de precipitaciones, contenida en la humedad del suelo, agua local, llamada agua del suelo.

D) Caudal Ecológico:

Los caudales ecológicos se definen como el agua que se deja correr en un ecosistema pluvial o el caudal que se libera dentro de él, con el propósito específico de manejar la condición del ecosistema. La falta en el manejo de los caudales ha conducido al deterioro en la estructura y función (salud) de muchos ríos del mundo (Dyson et al, 2003).

Dentro de la Normatividad vigente la LAN contempla en el artículo 3 fracción IV el "Uso Ambiental" o "Uso para conservación ecológica": El caudal o volumen mínimo necesario en cuerpos receptores, incluyendo corrientes de diversa índole o embalses, o el caudal mínimo de descarga natural de un acuífero, que debe conservarse para proteger las condiciones ambientales y el equilibrio ecológico del sistema.

E) Escasez de agua:

Habitualmente, los hidrólogos miden la escasez de agua a través de la relación agua/población. Una zona experimentará estrés hídrico cuando su suministro anual de agua caiga por debajo de los 1.700 m<sup>3</sup> por persona. Cuando ese mismo suministro anual cae por debajo de los 1.000 m<sup>3</sup> por persona, entonces se habla de escasez de agua. Y de escasez absoluta de agua cuando la tasa es menor a 500 m<sup>3</sup>. Programa Mundial de Evaluación de los Recursos Hídricos (WWAP, 2012).

La escasez de agua se puede visualizar en última instancia, como una función de la oferta y la demanda. Sin embargo, ambos lados de la ecuación oferta-demanda están determinados por opciones políticas y por políticas públicas” (PNUD, 2006).

F) Sobre-explotación:

La CONAGUA define y caracteriza la sobre-explotación a pesar que el término no se define jurídicamente en la Ley de Aguas Nacionales. La sobre-explotación se entiende como un problema de cantidades dispares entre la entrada (recarga) y salida (descarga o extracción) del agua subterránea.

G) Oferta y Demanda Hídrica:

La CONAGUA utiliza la palabra demanda para indicar la cantidad de agua que requiere una población más las pérdidas implícitas en el sistema, hace uso de la palabra demanda sin estar definida por la LAN. Se desarrolla en si una prospección y estimación de los recursos existentes, en tiempo y espacio definido. La oferta hídrica está directamente asociada a la disponibilidad de agua que el ciclo hidrológico provee en un período y lugar dados.

H) Metabolismo Social:

El metabolismo entre la naturaleza y la sociedad contiene dos dimensiones o esferas: una material, visible o tangible y otra inmaterial, invisible o intangible. Revisemos la primera. El metabolismo social comienza cuando los seres humanos socialmente agrupados se apropian materiales y energías de la naturaleza (input) y finaliza cuando depositan desechos, emanaciones o residuos en los espacios naturales (output). Pero entre estos dos fenómenos ocurren además procesos en las “entrañas” de la sociedad por medio de los cuales las energías y materiales apropiados circulan, se transforman y terminan

consumiéndose. Por lo anterior en el proceso general del metabolismo social existen tres tipos de flujos de energía y materiales: los flujos de entrada, los flujos interiores y los flujos de salida (Toledo, 2011).

#### I) Cuenca Social:

Dicho concepto parte de la definición tradicional, biofísica e hidro-geográfica de cuenca, y se basa en el reconocimiento de las múltiples y complejas relaciones entre la gente y el agua en la región andina. Desde tiempos ancestrales, los grupos humanos han tratado de conducir el agua desde sus fuentes hasta las tierras secas, que en muchos casos están muy lejos de la cuenca geográfica desde donde fluye el agua. Las sociedades modernas siguen esta tradición en los grandes proyectos de transvase de agua, de una cuenca a otra, para suplir las necesidades de poblaciones urbanas o de proyectos de desarrollo agrícola o industrial en zonas carentes de agua. Una "cuenca social", entonces, es un espacio delimitado por los nacimientos de los cursos de agua y las zonas altas que los protegen y nutren, y se extiende hasta donde llegan las aguas "naturalmente" y hasta donde son conducidas por los hilos contruidos por las sociedades. Definida como un espacio delimitado por los nacimientos de los cursos de agua y las zonas altas que los protegen y nutren, y se extiende hasta donde llegan las aguas "naturalmente" y hasta donde son conducidas por los hilos contruidos por las sociedades (Villarroel et al., 2006).

#### J) Hidroambiental:

Los indicadores hidroambientales son observaciones o mediciones, expresadas en términos cuantitativos, que permiten describir una componente o acción del sistema ambiental. Por su naturaleza pueden ser físicos, químicos, biológicos, sociales o pueden ser reacciones entre los componentes o entre componentes compuestas (Zalewski et al., 1997).

#### K) Hidrogeología Urbana:

La Hidrogeología Urbana investiga las condiciones hidrodinámicas del agua subterránea, la recarga, el uso y calidad del agua, así como el manejo, preservación y repercusiones de los acuíferos de áreas urbanizadas y en sus alrededores, orientada al abastecimiento de la población y sus áreas urbanas, industriales, comerciales, de riegos intensivos, de recreo y parques públicos (Custodio, 2004).

## **Valoración**

Para dar valor al agua, es necesario definir que es un valor, como se percibe el agua, que utilidad tiene y cuál es su finalidad, lo que para algunos es un simple elemento para otros es vida, consumo, catástrofe, poder, creador de vida y sustento emocional.

Los valores según su puntualidad pueden ser: Universales, Mundiales, Nacionales, Individuales, Divinos, Humanos y Naturales. Según la disciplina: Éticos, Morales, Artísticos, Ecológicos, Económicos, Sociales, Culturales y Religiosos. Para Allport (2009), los valores son principios ideológicos que condicionan el comportamiento humano, aquellos motivos válidos para la propia consciencia que inciden en la vida diaria de los individuos y en sus diversos estilos de relacionarse con su entorno.

Los valores están en función de los criterios de necesidad, interés, preferencia y aspiraciones de una región en la que se les confieren una importancia multidimensional desarrollada en los ámbitos ambiental, social, económico e institucional (Sepúlveda, 2002).

El agua como valor de mercado según Ramos (2004), es un mecanismo de asignación de recursos en el que interactúan los compradores y vendedores de bienes y servicios fijando el precio de un recurso con base en la oferta y demanda del mismo.

De acuerdo con Ramos (2004), el agua como propiedad de algunos o como propiedad de todos, cuando se considera:

- 1.- Un bien público; que se oferta a todos (grupos e individuos) y no se limita a nadie su acceso. Esto lo hace económicamente incosteable por lo que su administración no es buscada por la iniciativa privada.
- 2.- Un bien social; cuya característica principal es que la sociedad no puede vivir sin él, por lo que el Estado debe garantizar su abasto, como es el caso del agua para consumo doméstico.
- 3.- Un bien libre; cuya disponibilidad supera las necesidades de los usuarios, por lo que no es necesario racionalizarlos, lo que implica que su precio es cero. En este caso, el agua se

aplica el principio de primero en hecho, primero en derecho ya que no existe un propietario como tal y el recurso es proveído por la naturaleza.

4.- Un bien común, cuando tienen dueño(s) y no pueden ser poseídas por éste en su totalidad, por lo que en ocasiones es concesionada y convertible en mercancía.

Económicamente la valorización del agua se ve inmersa en un solo tema la contaminación óptima y no más. Es solo una mercancía potencial, y mientras se consume es un bien que los gobiernos proveen a los ciudadanos.

### **Cosmovisión**

Para (Dilthey, 1922) la cosmovisión se manifiesta en la vida de las colectividades, no preeminente ni exclusivamente en su pensamiento; la muerte, el sentido de la vida, el transcurrir de la historia, el orden de las cosas, la existencia de grupos y de individuos son contenidos que se comprenden y realizan acciones de personas y colectividades. Toda cosmovisión puede ser “comprendida” sentida, valorada afectivamente, compartida subjetivamente, creída, asimilada y asumida no sólo mediante procedimientos discursivos y racionales, sino gracias a una predisposición subjetiva (Medina, 2000).

La cosmovisión integra en opinión de Dilthey tres componentes: *Imágenes del mundo*; refiere las nociones comunes y el comportamiento sentimental respecto de qué es y cómo la colectividad debe relacionarse con la naturaleza, con las cosas, las personas y los dioses. *Valoraciones de la vida*; se refieren a la creencia en principios que dan sentido de ubicación a los actores culturales, definiendo sus intenciones, anhelos, tendencias y pautas de estimación, agrado, displacer, valoración o desaprobación de las conductas propias y ajenas. *Orientaciones de la voluntad*; connotan las tendencias y normas que forman, restringen y proyectan la vida psíquica de los grupos en tanto son asimiladas por el individuo (Medina, 2000). Cada persona o grupo resuelve temas críticos para su entendimiento de la vida.

Visto esto, el Popol Vuh proclama el agua como fuente de origen del universo y alma de la tierra. El agua aparece en la escritura Maya como impulso creador de vida, como elemento constitutivo de todos los seres vivos y como dinámica de la fertilidad femenina. También es

la trama que relaciona la medicina, los alimentos, la espiritualidad, la mitología, la economía, las relaciones sociales y las festividades (Racancoj et al., 2011).

Para los Tsotsiles de San Pedro Chenalhó los cerros corresponden a los guardianes del agua, los bosques y animales son las deidades relacionadas al espíritu de la tierra y el maíz es el fruto de los cuidados de la naturaleza. Chauc o Anhel es la deidad de la lluvia y el agua, dueño del rayo, señor de las montañas y protector de las milpas. Para los Altos de Chiapas, como Los Chamulas, el cerro Tzontéwhitz es sagrado, al cual se le hacen ofrendas en aras de que siga brindando el líquido vital a (Soaraes, 2007).

De acuerdo a diversas tradiciones y pensamientos populares Mayas, se define una frase “no puedes pensar por los otros, y tampoco puedes pensar sin los otros”.

La Comisión Nacional Indígena (CNI), refiere para sus principios de convivencia con la naturaleza y la sociedad lo siguiente: Servir y no Servirse, Representar y no Suplantar, Construir y no Destruir, Obedecer y no Mandar, Proponer y no Imponer, Convencer y no Vencer, Bajar y no Subir.

Esto aplica plenamente para el consumo que recursos naturales, y en particular el Agua.

La cosmovisión actual recae en el antropocentrismo de tal manera que el hombre dispone de la naturaleza en función a las necesidades y comodidades que se va creando. Es necesario regresar al biocentrismo, pensamiento unificador del origen de la vida, la vida es el centro del universo; La Vida es Agua.

## Anexo 2. Parámetros Morfométricos

1.- Longitud del cauce principal (L). Medida del escurrimiento principal de la cuenca, ponderado desde la parte más alta hasta la salida.

Valores de cauce	
Valores del cauce principal (L)	
Rango	Clase de Cauce
6.9-10.9	Corto
11-15	Mediano
15.1-19.1	Largo

2.- Elevación media de la cuenca ( $E_m$ ). La variación altitudinal de una cuenca hidrográfica incide directamente sobre su distribución térmica. Para determinar la elevación media de una cuenca se emplea Área – Elevación, el cual inicia con la medición del área de las diferentes franjas de terreno. La fórmula es la siguiente:

$$E_m = \sum_{i=1}^n A_i * e^i / A_t$$

Dónde:

$E_m$ : Elevación media de la cuenca en metros

$A_i$ : Área de cada franja en ( $\text{Km}^2$  o  $\text{m}^2$ ) de acuerdo al tamaño de la cuenca

$e_i$ : Promedio de las curvas de nivel que delimita cada franja

$A_t$ : Área total de la cuenca en ( $\text{Km}^2$  o  $\text{m}^2$ ).

Valores de elevación	
Valores de elevación media	
Rangos de elevación	Clase de elevación
1782.3-2072.2	Baja
2072.4-2362.2	Moderada
2362.4-2652.2	Alta

3.- Desnivel altitudinal (H). Diferencia entre la cota más alta y la más baja. Relacionada con la variabilidad climática y ecológica. Una cuenca con mayor diferencia altitudinal puede albergar más ecosistemas.

### Desnivel altitudinal

Desnivel altitudinal (msnm)	
Rango de Altitud	Clase de altitud
600-1,220	Bajo
1,221-1,841	Mediano
1,842-2,462	Alto

4- Coeficiente de forma ( $K_f$ ). Índice propuesto Gravelius, se estima a partir de la relación entre el ancho promedio del área de captación y la longitud de la cuenca, longitud que se mide desde la salida hasta el punto más alejado a ésta. La fórmula es la siguiente:

$$K_f = \bar{L}/L$$

Dónde:

$\bar{L}$ : Ancho promedio del área de captación

L: Longitud de la cuenca

A: Área de captación

El ancho promedio  $\bar{L}$  se estima como:

$$\bar{L} = A/L \quad \text{Luego} \quad K_f = \frac{\bar{L}}{L} = \frac{A/L}{L} \quad \text{y} \quad K_f = \frac{A}{L^2}$$

Este factor relaciona la forma de la cuenca con la de un cuadrado, correspondiendo  $K_f = 1$  para regiones con esta forma, que es imaginaria. Un valor de  $K_f$  superior a la unidad nos proporciona el grado de achatamiento de la cuenca o el de un Río principal corto.

### Valores de forma

Valores de forma	
Rango de $K_f$	Clase de forma
.01-.18	Muy poco achatada
.18-.36	Ligeramente achatada
.36-.54	Moderadamente achatada

5.- Coeficiente de compacidad ( $K_c$ ). Propuesto por Gravelius, compara la forma de la cuenca con la de una circunferencia. La fórmula es la siguiente:

$$K_c = 0.28 P/\sqrt{A}$$

Dónde:

$K_c$ : Coeficiente de compacidad

P: Perímetro de la cuenca (longitud de la línea de parteaguas)

A: Área de la cuenca

El grado de aproximación de este índice a la unidad indicará la tendencia a concentrar fuertes volúmenes de aguas de escurrimiento.

<b>Valores de compacidad</b>	
Valores de Compacidad	
Rangos de Kc	Clase de compacidad
– 1.25	Redonda a oval redonda
1.25 – 1.50	De oval redonda a oval oblonga
1.50 – 1.75	De oval oblonga a rectangular oblonga

6.- Índice de alargamiento ( $I_a$ ) Este índice propuesto por Horton, relaciona la longitud máxima encontrada en la cuenca, medida en el sentido del Río principal y el ancho máximo de ella medido perpendicularmente; se calcula de acuerdo a la fórmula siguiente.

$$I_a = L_m / l$$

Dónde:

$I_a$ : Índice de alargamiento

$L_m$ : Longitud máxima de la cuenca

$l$ : Ancho máximo de la cuenca

<b>Valores alargamiento</b>	
Valores de Alargamiento	
Rango de I	Clase de Alargamiento
0.0-1.4	Poco alargada
1.5-2.8	Moderadamente alargada
2.9-4.2	Muy alargada

7.- Coeficiente de Masividad ( $K_m$ ) Este coeficiente representa la relación entre la elevación media de la cuenca y su superficie. Calculado de la siguiente manera:

$$K_m = E_m \text{ Cuenca} / \text{Área cuenca}$$

<b>Valores de masividad</b>	
Valores de Masividad	
Rangos de $K_m$	Clase de Masividad
0-35	Muy Montañosa
35-70	Montañosa
70-105	Moderadamente montañosa

8.- Orden de corrientes de Strahler. En general, mientras mayor sea el grado de corriente, mayor será la red y su estructura más definida.

### Orden de corriente

Rango de ordenes	Clase de orden
1-2	Bajo
2.1-4	Medio
4.1-6	Alto

9.- Densidad de drenaje (Dd). Este índice permite el conocimiento de la complejidad y desarrollo del sistema de drenaje de la cuenca. En general, una mayor densidad de escurrimientos indica mayor estructuración de la red fluvial, obteniéndose de la siguiente manera:

$$Dd = L/A$$

Dónde:

L: Longitud de las corrientes efímeras, intermitentes y perennes de la cuenca en (Km)

A: Área de la cuenca en (Km<sup>2</sup>).

### Valores de densidad de drenaje

Valores Densidad de Drenaje	
Rango Densidad	Clase
.1-1.8	Baja
1.9-3.6	Moderada
3.7-5.6	Alta

10.- Pendiente del cauce principal (S), se estima por los valores extremos, se determina el desnivel (H) entre los puntos más elevados y más bajo del río en estudio y luego dividirlo entre la longitud del mismo cauce L, lo que significa:

$$S = H/L$$

Dónde:

S: Pendiente media del cauce

H: Desnivel entre los puntos más elevado y más bajo

L: Longitud del cauce

### Valores de pendiente

Valores de Pendiente	
Rango de Pendiente	Clase
.01-.05	Suave
.06-.11	Moderada
.12-.17	Fuerte

### **Anexo 3. Marco Legal**

Desde 1917 se conforman las bases para la concesión y aprovechamiento de agua, siendo constante las modificaciones y creaciones de leyes, normas y organismos.

A continuación a manera de resumen se presentan los cambios más significativos con el tema agua y agua subterránea:

En 1917 La Constitución de los Estados Unidos Mexicanos; establece la propiedad de la nación en las aguas definidas como áreas de interés federal (ríos y lagos) y excluye a las aguas subterráneas.

En 1929 La Ley de Aguas de la Propiedad Nacional (LAPN), establece el control inicial de aguas subterráneas al incluir algunos manantiales, sujetos al concepto de aguas propiedad de la nación.

En 1930 se añade al reglamento de la LAPN, la consideración de establecer concesiones a algunos manantiales de aguas propiedad de la nación.

En 1936 el reglamento de la LAPN, ordena el registro de nuevos aprovechamientos de manantiales sujetos a concesiones.

En 1945 se modifica el Artículo 27 constitucional, se incluye el concepto de aguas de subsuelo y la posibilidad del estado de reglamentar su uso y establecer zonas de veda.

En 1946 la LAPN define la propiedad de la nación sobre aguas del subsuelo.

En 1948 en la Ley reglamentaria del párrafo quinto del artículo 27 constitucional en materia de aguas del subsuelo, define el libre alumbramiento de las aguas del subsuelo. Estudia la posibilidad máxima de explotación y el establecimiento de zonas de veda.

En 1972 Ley federal de aguas establece la propiedad de la nación sobre aguas del subsuelo, fusionando leyes, reglamentos e instituciones de agua, excepto la de uso doméstico.

En 1992 La Ley de Aguas Nacionales (LAN) establece la propiedad de la nación sobre aguas subterráneas. Nombra a la comisión nacional de agua, elimina el orden de prelación del agua y el mercado del agua. Crea consejo de cuencas.

En 1994 en el reglamento de LAN inicia con el pago por concesiones y aprovechamiento de aguas nacionales.

En 2001 Ley federal en materia de derechos de agua; establece los montos a pagar por regiones.

En 2004 se hacen modificaciones sustanciosas a la LAN; se promueve la gestión integrada de recursos hídricos a través de cuencas hidrológicas, fija al uso doméstico y público urbano como prioritario, y respalda el mercado de agua.

**En el 2011 se hacen las siguientes modificaciones a la LAN:**

**Artículo 18.** Las aguas nacionales del subsuelo podrán ser libremente alumbradas mediante obras artificiales, salvo cuando por causas de interés o utilidad pública el titular del Ejecutivo Federal establezca zona reglamentada, de veda o de reserva o bien suspenda o limite provisionalmente el libre alumbramiento mediante acuerdos de carácter general.

El Ejecutivo Federal, a propuesta de “la Comisión”, emitirá la declaratoria de zonas reglamentadas, de veda o de reserva, deslindando, cuando así se requiera, la aplicación de las disposiciones que se establezcan para acuíferos definidos por “la Comisión”, en relación con otros acuíferos o yacimientos geotérmicos hidrotermales que existan en la misma zona geográfica. Para ello, “la Comisión” deberá realizar, por sí o con el apoyo de terceros cuando resulte conveniente, los estudios y evaluaciones suficientes para sustentar los deslindamientos referidos y promover el mejor aprovechamiento de las fuentes de aguas del subsuelo.

Conforme a las disposiciones del presente Artículo y Ley, se expedirán el reglamento para la extracción y para la explotación, uso o aprovechamiento de las aguas nacionales de los acuíferos correspondientes, incluyendo el establecimiento de zonas reglamentadas, así como los decretos para el establecimiento, modificación o supresión de zonas de veda o declaratorias de reserva que se requieran.

Los acuerdos de carácter general a que se refiere el presente artículo se expedirán en los siguientes casos:

I. Cuando de los estudios de disponibilidad de aguas nacionales arrojen que no existe disponibilidad del recurso hídrico o que la que existe es limitada.

II. Cuando de los datos contenidos en los estudios técnicos para el establecimiento de zonas reglamentadas, de veda o de reserva se desprenda la necesidad de suspender o limitar el libre alumbramiento de las aguas del subsuelo.

En este supuesto los acuerdos de carácter general estarán vigentes hasta en tanto se publique el decreto de zona reglamentada, de veda o reserva de aguas nacionales.

III. Cuando existan razones técnicas justificadas en estudios específicos de las que se desprenda la necesidad de suspender o limitar el libre alumbramiento de las aguas del subsuelo, y

IV. Cuando de los estudios técnicos específicos que realice o valide “la Comisión” se desprenda la existencia de conos de abatimiento, interferencia de volumen o cualquier otro supuesto que pueda ocasionar afectaciones a terceros.

Independientemente de lo anterior, la explotación, uso o aprovechamiento de las aguas del subsuelo causará las contribuciones fiscales que señale la Ley de la materia. En las declaraciones fiscales correspondientes, el concesionario o asignatario deberá señalar que

su aprovechamiento se encuentra inscrito en el Registro Público de Derechos de Agua, en los términos de la presente Ley.

**En el 2012 se hacen las siguientes reformas a la LAN:**

**Capítulo único, Artículo 3. Fracción XL.** Para los efectos de esta Ley se entenderá por: “Permisos”: Para los fines de la presente Ley, existen dos acepciones de permisos: “Permisos”: Son los que otorga el Ejecutivo Federal a través de “la Comisión” o del Organismo de Cuenca que corresponda, conforme a sus respectivas competencias, para la construcción de obras hidráulicas y otros de índole diversa relacionadas con el agua y los bienes nacionales a los que se refiere el **Artículo 113** de la presente Ley;

**Capítulo I** Medidas de Apremio y Seguridad

**Artículo 118 BIS 1.** “La Comisión” para hacer cumplir sus determinaciones podrá solicitar a las autoridades federales, estatales o municipales, el auxilio de la fuerza pública.

**Capítulo II** Infracciones y Sanciones Administrativas **Artículo 119. Fracción XXIV.** Explotar, usar o aprovechar bienes nacionales determinados en los **Artículos 113 y 113 BIS** de la presente Ley, en cantidad superior o en forma distinta a lo establecido en el respectivo título de concesión.

**Artículo 7.** Se declara de utilidad pública:

- I. La gestión integrada de los recursos hídricos, superficiales y del subsuelo, a partir de las cuencas hidrológicas en el territorio nacional, como prioridad y asunto de seguridad nacional;
- II. La protección, mejoramiento, conservación y restauración de cuencas hidrológicas, acuíferos, cauces, vasos y demás depósitos de agua de propiedad nacional, zonas de captación de fuentes de abastecimiento, zonas federales, así como la infiltración natural o artificial de aguas para reabastecer mantos acuíferos acorde con las "Normas Oficiales Mexicanas" y la derivación de las aguas de una cuenca o región hidrológica hacia otras;
- VIII. La incorporación plena de la variable ambiental y la valoración económica y social de las aguas nacionales en las políticas, programas y acciones en materia de gestión de los recursos hídricos, en el ámbito de las instituciones y de la sociedad;
- IV. El restablecimiento del equilibrio hidrológico de las aguas nacionales, superficiales o del subsuelo, incluidas las limitaciones de extracción en zonas reglamentadas, las vedas, las reservas y el cambio en el uso del agua para destinarlo al uso doméstico y al público urbano; la recarga artificial de acuíferos, así como la disposición de agua al suelo y subsuelo, acorde con la normatividad vigente;
- V. El restablecimiento del equilibrio de los ecosistemas vitales vinculados con el agua;
- VI. La eficientización y modernización de los servicios de agua domésticos y públicos urbanos, para contribuir al mejoramiento de la salud y bienestar social, para mejorar la

calidad y oportunidad en el servicio prestado, así como para contribuir a alcanzar la gestión integrada de los recursos hídricos;

VII. El mejoramiento de la calidad de las aguas residuales, la prevención y control de su contaminación, la recirculación y el reúso de dichas aguas, así como la construcción y operación de obras de prevención, control

**Artículo 7 BIS.** Se declara de interés público: **Fracción IX.** El mejoramiento de las eficiencias y modernización de las áreas bajo riego, particularmente en distritos y unidades de riego, para contribuir a la gestión integrada de los recursos hídricos; **Fracción X.** La organización de los usuarios, asociaciones civiles y otros sistemas y organismos públicos y privados prestadores de servicios de agua rurales y urbanos, así como su vinculación con los tres órdenes de gobierno, para consolidar su participación en los Consejos de Cuenca, y la **Fracción XI.** La sustentabilidad ambiental y la prevención de la sobreexplotación de los acuíferos.

**Artículo 3. Fracción XIX.** "Cuota Natural de Renovación de las Aguas": El volumen de agua renovable anualmente en una cuenca hidrológica o en un cuerpo de aguas del subsuelo; **Fracción LIV.** "Uso Ambiental" o "Uso para conservación ecológica": El caudal o volumen mínimo necesario en cuerpos receptores, incluyendo corrientes de diversa índole o embalses, o el caudal mínimo de descarga natural de un acuífero, que debe conservarse para proteger las condiciones ambientales y el equilibrio ecológico del sistema.

**La última modificación a la LAN se realizó el 11 de Agosto del 2014.**

**En Marzo del 2015 se publica en la gaceta parlamentaria de la legislatura LXII la propuesta de derogación de la LAN a Ley General de Aguas (LGA).**

**De la reglamentación en materia de áreas naturales protegidas de acuerdo a la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (LGEEPA) se desprende lo siguiente:**

**Artículo 2º.-** Se consideran de utilidad pública:

I.- El ordenamiento ecológico del territorio nacional en los casos previstos por ésta y las demás leyes aplicables;

II.- El establecimiento, protección y preservación de las áreas naturales protegidas y de las zonas de restauración ecológica;

V.- La formulación y ejecución de acciones de mitigación y adaptación al cambio climático.

**Artículo 88.-** Para el aprovechamiento sustentable del agua y los ecosistemas acuáticos se considerarán los siguientes criterios:

I.- Corresponde al Estado y a la sociedad la protección de los ecosistemas acuáticos y del equilibrio de los elementos naturales que intervienen en el ciclo hidrológico;

III.- Para mantener la integridad y el equilibrio de los elementos naturales que intervienen en el ciclo hidrológico, se deberá considerar la protección de suelos y áreas boscosas y selváticas y el mantenimiento de caudales básicos de las corrientes de agua, y la capacidad de recarga de los acuíferos,

XI.- Todas aquellas prácticas de diferentes sectores productivos que afecten la calidad del agua superficial y subterránea.

**Artículo 118.-** Los criterios para la prevención y control de la contaminación del agua serán considerados en:

IV.- El establecimiento de zonas reglamentadas, de veda o de reserva en términos de la Ley de Aguas Nacionales;

VI. La organización, dirección y reglamentación de los trabajos de hidrología en cuencas, cauces y álveos de aguas nacionales, superficiales y subterráneos.

**En la Ley Estatal de Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente, (LEEEPA) encontramos lo siguiente:**

**Artículo 2º.-** Se considera de utilidad pública:

I. El ordenamiento ecológico del territorio del estado, en los casos previstos por esta ley, y las demás aplicables;

II. El establecimiento de áreas naturales protegidas de jurisdicción estatal o municipal, que se establezcan por decreto del Titular del Ejecutivo o por decreto del Congreso del Estado, a iniciativa de los gobiernos municipales;

IV. El establecimiento de zonas intermedias de salvaguarda, con motivo de la presencia de actividades que afecten o puedan afectar el equilibrio de los ecosistemas o al ambiente del estado, en general, o de uno o varios municipios, que no fuesen consideradas altamente riesgosas, conforme a las disposiciones de esta ley y sus reglamentos y otras disposiciones aplicables; y

V. La prevención, el control y la atenuación de la contaminación ambiental, en el territorio del estado.

**Artículo 43.** La determinación de las áreas naturales protegidas de carácter estatal o municipal, tiene como objetivos:

I. Preservar los ambientes naturales representativos de las diferentes regiones biogeográficas y ambientales, y de los ecosistemas más frágiles, para asegurar el equilibrio y la continuidad de los procesos evolutivos y ambientales;

II. Asegurar el aprovechamiento sustentable de los ecosistemas y sus elementos;

VIII. Proteger y restaurar zonas de especial importancia por su valor hidrológico y forestal, que constituyan fuentes de servicios.

**Artículo 44.** Se consideran áreas naturales protegidas, competencia del gobierno del estado:

I. Los parques estatales;

II. Formaciones naturales de interés estatal; y

III. Áreas estatales de protección hidrológica.

**Artículo 45.** Se consideran áreas naturales protegidas, competencia de los gobiernos municipales:

I. Los parques ecológicos municipales;

II. Las zonas de preservación ecológica de los centros de población;

III. Formaciones naturales de interés municipal; y

IV. Áreas municipales de protección hidrológica.

**Artículo 49.** Las áreas estatales de protección hidrológica son aquellas destinadas a la preservación de ríos, manantiales y aguas subterráneas, a través de la protección de cuencas, áreas boscosas, llanuras y todas aquellas áreas que tengan impacto en las fuentes de producción y/o abastecimiento de agua.

**En materia de agua subterránea y zonas de recarga la Ley General de Cambio Climático (LGCC) refiere lo siguiente:**

**Artículo 30. Fracción XI.** Promover el aprovechamiento sustentable de las fuentes superficiales y subterráneas de agua;

**Fracción XII.** Fomentar la recarga de acuíferos, la tecnificación de la superficie de riego en el país, la producción bajo condiciones de prácticas de agricultura sustentable y prácticas sustentables de ganadería, silvicultura, pesca y acuicultura; el desarrollo de variedades resistentes, cultivos de reemplazo de ciclo corto y los sistemas de alerta temprana sobre pronósticos de temporadas con precipitaciones o temperaturas anormales;

**Capítulo VII** fondo para el cambio climático **Artículo 82.** Los recursos del fondo se destinarán a:

**II.** Proyectos que contribuyan simultáneamente a la mitigación y adaptación al cambio climático, incrementando el capital natural, con acciones orientadas, entre otras, a revertir la deforestación y degradación; conservar y restaurar suelos para mejorar la captura de carbono; implementar prácticas agropecuarias sustentables; recargar los mantos acuíferos;

**Artículo 34. Fracción III,** c) Reconvertir las tierras agropecuarias degradadas a productivas mediante prácticas de agricultura sustentable o bien, destinarlas para zonas de conservación ecológica y recarga de acuíferos.

**En Abril del 2015 se presentó en Jalisco la iniciativa de Ley Estatal de Acción ante el Cambio Climático (LEACC).**

**En materia de agua la Ley General de Asentamientos Humanos (LGAH) refiere lo siguiente:**

**Capítulo II** de la concurrencia y coordinación de autoridades **Artículo 7o.- Fracción III.** Prever a nivel nacional las necesidades de reservas territoriales para el desarrollo urbano con la intervención, en su caso, de la Secretaría de la Reforma Agraria, considerando la disponibilidad de agua determinada por la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales y regular en coordinación con los gobiernos estatales y municipales los mecanismos para satisfacer dichas necesidades;

EL Programa Nacional Hídrico (PNH) 2014-2018 incluye como parte fundamental el ordenar el uso del agua en cuencas y acuíferos, modernizar y ampliar la medición del ciclo del agua y promover la mejora permanente del gobierno. Para lograrlo el PNH propone lo siguiente:

1. Ordenar y regular los usos del agua en cuencas y acuíferos
2. Ordenar la explotación y el aprovechamiento del agua en cuencas y
3. Modernizar e incrementar la medición del ciclo hidrológico
4. Mejorar la calidad del agua en cuencas y acuíferos
5. Fortalecer la gobernanza del agua
6. Fortalecer la gobernabilidad del agua

Así mismo el Programa Nacional de Desarrollo (PND) 2013-2018 establece cinco lineamientos rectores para el sector hídrico en México:

1. El agua como elemento integrador de los mexicanos.
2. El agua como elemento de justicia social.
3. Sociedad informada y participativa para desarrollar una cultura del agua.
4. El agua como promotor del desarrollo sustentable.
5. México como referente en el tema del agua a nivel internacional.

#### Anexo 4. Extracción y distribución del agua en la ZMG, durante el periodo 2000-2009.

##### Volúmenes de agua extraídos por parte del SIAPA.

Año	Chapala 1	Chapala 2	Presa Calderón	Manantiales	Río Blanco	Atemajac	El Ahogado	San Juan de Dios	Bajío de la Arena	Colimilla	Totales
2000	141,942,748	39,459,842	30,270,291	3,979,309	36,827,573	9,834,204	18,724,510	6,421,009	2,649,456	415,114	290,524,056
2001	148,629,014	16,111,846	9,976,659	4,517,363	35,666,461	11,228,517	26,083,511	9,052,630	2,751,730	1,094,236	265,111,967
2002	147,742,238	16,311,937	6,841,565	4,788,530	38,504,924	12,363,709	23,744,399	6,810,410	1,999,704	1,326,062	260,433,478
2003	151,731,610	3,764,441	28,341,400	3,919,766	35,966,802	13,808,366	24,377,791	6,227,816	2,119,416	1,785,453	272,042,861
2004	149,587,348	7,196,028	38,924,200	3,644,370	35,320,481	11,360,511	20,460,533	4,930,444	2,265,237	1,498,803	275,187,955
2005	160,168,802	9,518,761	37,106,600	4,148,370	36,061,126	11,663,663	18,893,765	5,050,829	1,812,979	1,603,174	286,028,069
2006	148,603,247	14,635,699	38,274,800	5,345,527	36,965,919	11,171,001	27,086,410	5,138,048	1,933,160	1,221,702	290,375,513
2007	157,539,000	6,117,319	34,036,439	4,417,869	38,147,658	10,623,471	29,431,884	5,242,652	1,882,467	1,705,540	289,144,299
2008	164,972,000	8,758,240	33,935,053	4,621,392	37,984,660	11,849,251	25,619,104	4,912,602	1,508,100	1,522,627	295,683,029
2009	166,555,00	11,033,78	31,738,36	4,313,52	36,598,71	11,661,08	24,564,95	4,441,69	1,641,80	1,481,60	294,030,530

Fuente: Elaboración a partir de datos del SIAPA, 2013.

##### Volúmenes de agua enviados al sistema de distribución del SIAPA.

	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Total	M <sup>3</sup> /S
2000	25,073,582	23,602,154	24,004,056	24,218,486	24,812,783	21,219,888	22,024,119	22,101,110	21,728,036	22,508,417	22,451,319	22,527,199	276,271,149	8.74
2001	22,536,008	21,088,928	23,514,413	21,379,826	22,400,394	21,004,808	20,518,605	20,931,800	20,752,990	21,708,234	22,114,130	21,410,580	259,360,716	8.22
2002	21,677,479	19,573,043	22,436,983	22,862,662	22,956,438	22,099,381	20,553,242	21,157,250	19,735,781	20,833,459	22,268,263	21,463,947	255,617,928	8.11
2003	21,570,742	20,304,182	23,606,995	22,843,903	24,453,395	21,913,611	21,405,104	21,145,188	20,748,572	22,055,950	21,979,335	22,470,865	264,497,842	8.39
2004	22,207,063	21,121,636	23,700,468	23,117,718	23,586,605	20,646,398	21,691,552	21,343,835	21,121,117	22,604,538	22,306,135	23,095,410	266,542,474	8.43
2005	23,365,221	20,675,619	23,209,558	23,745,166	24,922,984	23,957,669	22,652,948	22,411,863	21,758,563	22,696,909	22,615,001	23,454,699	275,466,200	8.73
2006	23,685,280	21,779,009	24,833,059	24,689,662	25,494,393	24,423,012	23,329,629	22,832,979	21,852,967	22,220,373	23,107,527	22,587,615	280,835,504	8.91
2007	22,949,487	21,167,807	24,508,061	23,760,438	25,415,281	23,610,736	22,197,982	22,587,255	21,563,116	23,611,760	23,741,515	23,361,607	278,475,045	8.83
2008	24,089,353	23,021,536	24,661,158	25,063,116	26,469,753	23,043,456	22,672,903	22,648,397	22,318,078	23,765,567	23,255,490	24,154,007	285,162,813	9.02
2009	23,897,80	21,977,601	24,477,40	24,054,61	24,881,562	23,616,44	23,590,821	23,326,382	22,241,122	23,883,703	23,216,254	24,322,921	283,486,632	8.9

Fuente: Elaboración a partir de datos del SIAPA, 2013.