



SUBDIRECCIÓN GENERAL TÉCNICA

GERENCIA DE AGUAS SUBTERRÁNEAS

**ACTUALIZACIÓN DE LA DISPONIBILIDAD MEDIA ANUAL DE AGUA
EN EL ACUÍFERO AMECA (1409), ESTADO DE JALISCO**

CIUDAD DE MÉXICO, 2024

Contenido

1. GENERALIDADES.....	1
Antecedentes.....	1
1.1 Localización.....	1
1.2 Situación Administrativa del acuífero.....	3
2. FISIOGRAFÍA	4
2.1 Provincia fisiográfica.....	4
2.2 Climatología.....	4
2.3 Hidrografía.....	4
2.4 Geomorfología.....	5
3 GEOLOGÍA.....	6
4. HIDROGEOLOGÍA	7
4.1 Unidades Hidrogeológicas.....	7
5. MODELO CONCEPTUAL DE FUNCIONAMIENTO DEL ACUÍFERO	11
5.1 Esquema Hidrogeológico.....	11
5.2 Extracción de aguas subterráneas.....	14
5.3 Funcionamiento del acuífero.....	16
6. RECARGA	18
6.1 Cálculo de la Infiltración por Lluvia.....	18
7 BALANCE DE AGUAS SUBTERRÁNEAS.....	21
8 DISPONIBILIDAD	25
8.1 Recarga total media anual (R).....	25
8.2 Descarga natural comprometida (DNC).....	25
8.3 Volumen de extracción de aguas subterráneas (VEAS).....	26
8.4 Disponibilidad media anual de agua subterránea (DMA).....	26
9. BIBLIOGRAFÍA.....	27

1. GENERALIDADES

Antecedentes

La Ley de Aguas Nacionales (LAN) y su Reglamento contemplan que la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) debe publicar en el Diario Oficial de la Federación (DOF), la disponibilidad de las aguas nacionales, en el caso de las aguas subterráneas esto debe ser por acuífero, de acuerdo con los estudios técnicos correspondientes y conforme a los lineamientos que considera la “NORMA Oficial Mexicana NOM-011-CONAGUA-2015, Conservación del recurso agua- Que establece las especificaciones y el método para determinar la disponibilidad media anual de las aguas nacionales”. Esta norma ha sido preparada por un grupo de especialistas de la iniciativa privada, instituciones académicas, asociaciones de profesionales, gobiernos estatales y municipales y de la CONAGUA.

La NOM establece para el cálculo de la disponibilidad de aguas subterráneas la realización de un balance de las mismas donde se defina de manera precisa la recarga, de ésta deducir los volúmenes comprometidos con otros acuíferos, la demanda de los ecosistemas y el volumen de extracción de aguas subterráneas.

Los resultados técnicos que se publiquen deberán estar respaldados por un documento en el que se sintetice la información, se especifique claramente el balance de aguas subterráneas y la disponibilidad de agua subterránea susceptible de concesionar.

La publicación de la disponibilidad servirá de sustento legal para la autorización de nuevos aprovechamientos de agua subterránea, transparentar la administración del recurso, planes de desarrollo de nuevas fuentes de abastecimiento, resolver los casos de sobreexplotación de acuíferos y la resolución de conflictos entre usuarios.

1.1 Localización

El acuífero Ameca, definido con la clave 1409 por la Comisión Nacional del Agua, se localiza en la porción media del estado de Jalisco, en la parte más alta de la cuenca del río Ameca, se presenta una serie de planicies rodeadas de grandes cuerpos volcánicos, como el volcán de Tequila al norte, la sierra La Primavera al oriente, la sierra de Quila al sur y el cerro Grande de Ameca en el centro y poniente (Figura 1).

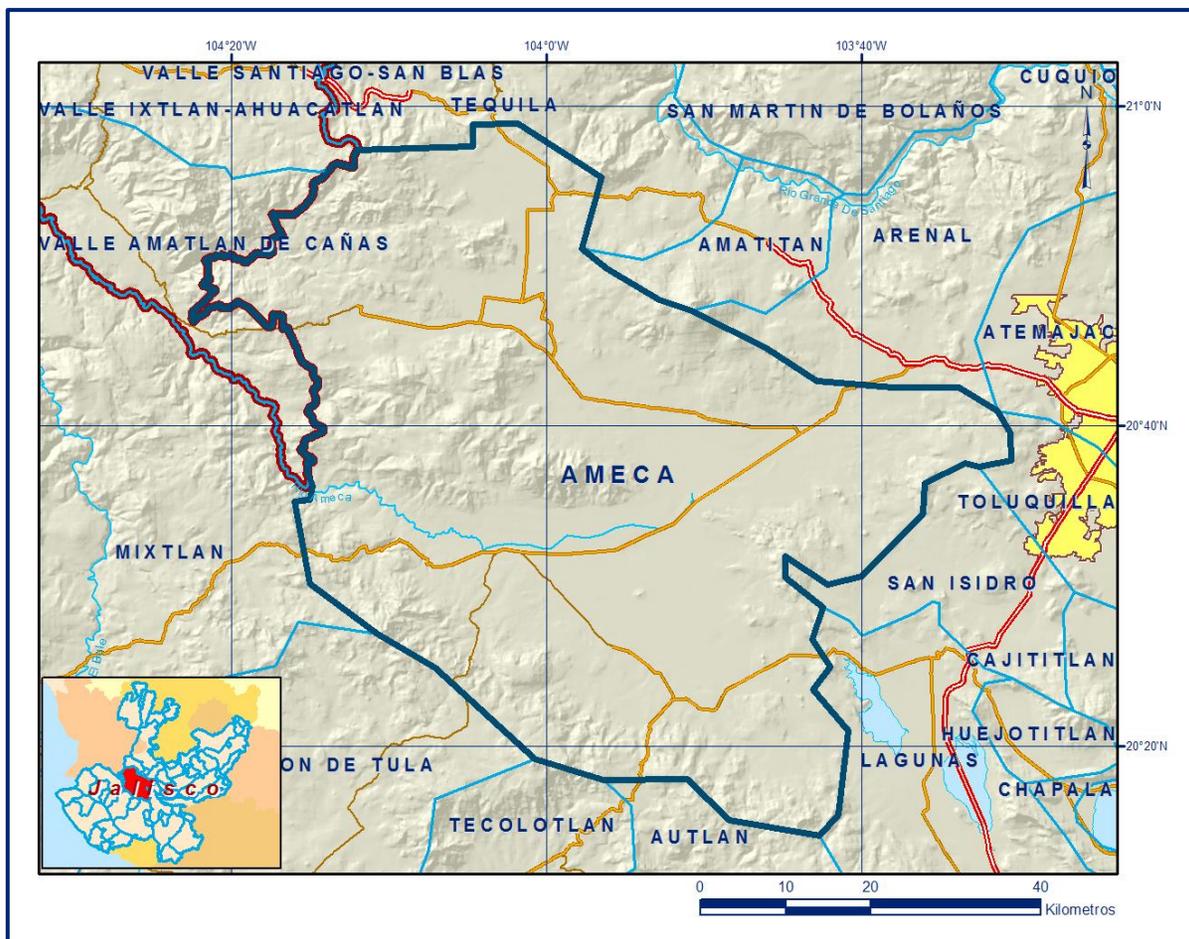


Figura 1. Localización del acuífero

Existen varias poblaciones de tamaño intermedio que concentran la mayor parte de la población, por ejemplo, las ciudades de Tala, Ahualulco, Ameca, Magdalena, Etzatlán, San Martín de Hidalgo y Cocula son las poblaciones con mayor número de habitantes, pero cada una no excede los 70,000 habitantes.

Originalmente se ha identificado una extensa zona geohidrológica que comprende estas poblaciones, desde los orígenes del río Ameca hasta los límites con el estado de Nayarit, aguas debajo de Ameca. Esta zona geohidrológica incluye los municipios de Ahualulco, Ameca, Cocula, Etzatlán, Magdalena, San Marcos, San Martín Hidalgo, Tala y Teuchitlán; y una parte pequeña del de Villa Corona.

La poligonal simplificada que delimita el acuífero se encuentra definida por los vértices cuyas coordenadas se muestran en la tabla 1.

ACUIFERO 1409 AMECA							
VERTICE	LONGITUD OESTE			LATITUD NORTE			OBSERVACIONES
	GRADOS	MINUTOS	SEGUNDOS	GRADOS	MINUTOS	SEGUNDOS	
1	103	42	29.6	20	28	41.1	
2	103	43	12.0	20	26	40.2	
3	103	42	2.6	20	24	58.8	
4	103	43	6.7	20	23	33.4	
5	103	40	53.2	20	20	58.6	
6	103	41	30.6	20	15	43.6	
7	103	42	45.3	20	14	23.5	
8	103	48	27.0	20	15	22.2	
9	103	51	7.2	20	17	57.0	
10	103	56	27.5	20	17	51.7	
11	104	0	46.7	20	19	12.6	
12	104	7	8.2	20	24	53.5	
13	104	10	47.1	20	27	1.6	
14	104	15	3.3	20	30	8.5	
15	104	16	2.0	20	35	18.1	
16	104	15	3.3	20	35	23.4	
17	104	14	52.7	20	36	17.0	
18	104	15	8.0	20	36	55.8	
19	104	15	13.1	20	37	3.9	DEL 19 AL 20 POR EL LIMITE ESTATAL
20	104	13	40.7	20	56	12.8	DEL 20 AL 21 POR EL LIMITE ESTATAL
21	104	12	0.9	20	57	18.4	
22	104	4	44.0	20	57	32.8	
23	104	4	44.0	20	58	52.9	
24	104	1	53.2	20	58	58.2	
25	103	56	32.9	20	55	35.3	
26	103	57	47.6	20	51	8.4	
27	103	56	11.5	20	49	53.7	
28	103	52	53.1	20	47	55.1	
29	103	50	49.9	20	47	14.5	
30	103	46	6.7	20	44	53.2	
31	103	42	54.1	20	42	50.9	
32	103	38	3.7	20	42	26.5	
33	103	33	53.0	20	42	26.5	
34	103	31	26.3	20	40	57.8	
35	103	30	37.3	20	39	35.3	
36	103	30	34.3	20	37	51.3	
37	103	32	36.6	20	37	29.9	
38	103	33	28.5	20	37	42.2	
39	103	36	0.0	20	36	25.7	
40	103	36	10.6	20	34	32.6	
41	103	40	2.9	20	30	37.2	
42	103	42	11.3	20	30	6.7	
43	103	44	53.3	20	31	53.7	
44	103	44	53.4	20	30	33.6	
1	103	42	29.6	20	28	41.1	

Tabla 1. Coordenadas geográficas de la poligonal simplificada del acuífero

1.2 Situación Administrativa del acuífero

De acuerdo con la Ley Federal de Derechos en Materia de Agua 2024, el acuífero se clasifica como zona de disponibilidad 1.

2. FISIOGRAFÍA

2.1 Provincia fisiográfica

La zona geohidrológica de Ameca se localiza al poniente de Guadalajara, Jalisco y cubre un área aproximada de 3020 km²; cubre totalmente los municipios mencionados en Generalidades dentro del Estado de Jalisco. Forma parte de la región hidrológica de Ameca y de la provincia fisiográfica del Eje Neovolcánico.

2.2 Climatología

En cuanto a la climatología, la zona de estudio presenta un régimen de precipitación continua en verano y parte del otoño y escasa lluvia en invierno y primavera. Los valores máximos de precipitación corresponden a las partes altas de los cerros, con valores de 1150 mm/año en el volcán de Tequila y 1050 mm/año en la sierra La Primavera; el promedio anual es de 924 mm.

La temperatura media anual es de alrededor de 21° centígrados, presentándose variaciones propias de la altitud, más frío en las alturas y más calor hacia la población de Ameca, donde se han registrado temperaturas extremas de 39 grados durante los meses cálidos. Se tienen registros confiables de 10 estaciones para el cálculo de la precipitación en la región y de la evapotranspiración potencial, de acuerdo al cálculo que se detallará más adelante.

2.3 Hidrografía

La red hidrográfica de la región tiende a ser dendrítica radial de las partes altas hacia los valles, notándose en la sierra La Primavera que los materiales son más erosionables y por lo tanto los arroyos tienen una expresión superficial más importante que en las otras porciones de la zona de estudio.

La porción de Magdalena al noroeste de la zona de estudio presenta características diferentes del resto de los valles, en particular porque el agua de las corrientes se concentra en aprovechamientos o pequeñas lagunas que posibilitan su aprovechamiento en actividades de riego y porque hidrológicamente se trata de una cuenca cerrada.

Dentro de las corrientes principales se tienen los arroyos del Cocoliso y Chapulimita que circulan del poniente al oriente, pasan cerca de la población de Aqualulco hasta la presa La Vega. De la primavera se originan los arroyos Las Animas y Ahuisculco que forman después de cruzar el poblado de Cuisillos, el río de ese mismo nombre.

En esa sierra se origina también la corriente del río Salado, en el nacimiento de varios manantiales termales que acumulan cerca de 400 lps en forma constante y que a lo largo de su cauce hasta el ingenio de Tala recibe otras aportaciones subterráneas, hasta ser la principal alimentación de la presa La Vega.

Esta presa tiene una gran importancia para el régimen hidrológico de la región, pues a ella confluyen las corrientes más importantes de este valle y a la vez, de aquí se origina el río Ameca. Almacena un volumen útil de aproximadamente 42.8 Mm³ y tiene capacidad para desalojar hasta 250 m³/s, el agua superficial es utilizada en la zona de riego del valle de Ameca de aproximadamente 8,000 ha.

Desde el sudeste de la zona de estudio, son tributarios del río Ameca los arroyos de Cocula y de San Martín que nacen en las estribaciones del norte de la Sierra Quila y cruzan el valle de Ameca hacia el poniente hasta confluir con el río Ameca.

El colector principal de estos valles es el río Ameca que tiene como principales tributarios, los ríos Salado al noreste, San Martín al sur y los arroyos El Cocoliso y Chapulimita al noroeste. El sentido del flujo superficial es de este a oeste.

Existen varios manantiales de gastos y características fisicoquímicas diversas, en el valle de Magdalena se presentan con pequeño gasto e intermitentes; en el valle de Tala-Ahualulco se presentan manantiales termales y fríos, algunos de gran gasto como los de Río Caliente, Tala y Teuchitlán y muchos otros de gasto reducido, pero aproximadamente constante; en el valle de Ameca en cambio no se conocen manantiales importantes, pues solo se conocen algunos intermitentes.

2.4 Geomorfología

La zona geohidrológica de Ameca se caracteriza por presentar una alineación oriente poniente, con una longitud aproximada de 70 km y una anchura máxima de 40 km en su porción más amplia.

En medio y hacia el poniente se presenta intersectando la zona, el cerro Grande de Ameca que corta este gran valle, seccionándolo parcialmente para diferenciar dos valles fisiográficos bien definidos, el de Tala-Ahualulco y el de Ameca-Cocula. Inicialmente dentro de esta región, pero formando un valle aparte, se encuentra la zona de Magdalena que se orienta de norte a sur.

Las montañas que rodean esta zona se encuentran en una etapa juvenil de su desarrollo y los arroyos que corren hacia el valle llegan a formar pequeñas lagunas como la de Palo Verde, La Colorada y la de Magdalena. Toda el área se encuentra ubicada en la Faja Neovolcánica Transmexicana, aunque al sur se presentan intersecciones con la sierra Madre del Sur y hacia el noroeste se cruza con el inicio de la Sierra Madre Occidental.

Las principales estructuras geológicas presentan orientación NW-SE, aunque de forma local se manifiestan fallas de orientación E-W que dan lugar a la formación de los valles principales.

3 GEOLOGÍA

En la zona predominan las rocas volcánicas, y en los valles se presentan algunos materiales formados mediante procesos sedimentarios (Figura 2).

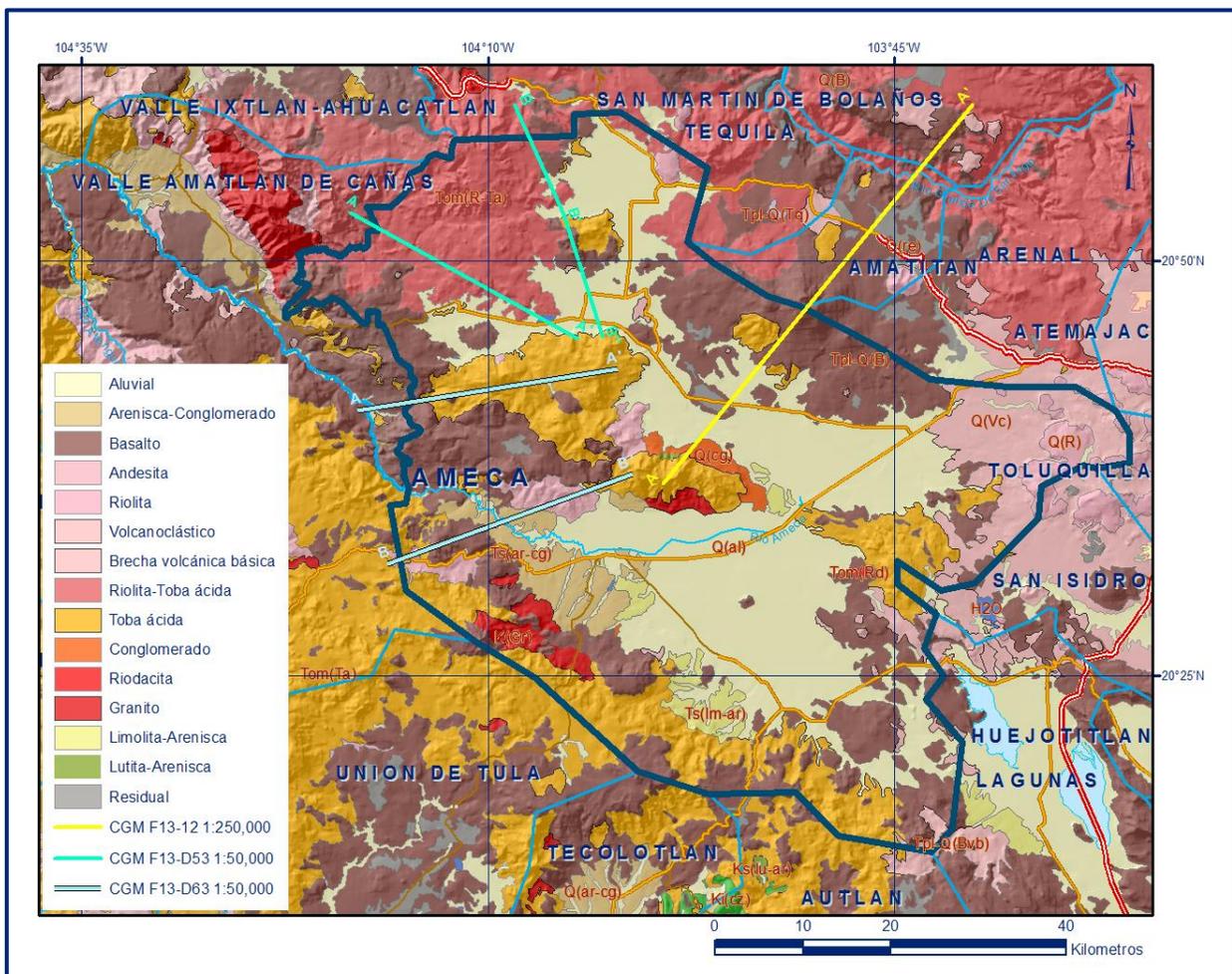


Figura 2. Geología general del acuífero

Las rocas ígneas más antiguas afloran en el flanco sur del cerro Grande de Ameca y en las estribaciones de la sierra de Quila, son de composición ácida y textura granítica.

Con el transcurso del tiempo se formaron las zonas montañosas de Quila, de San Marcos y del cerro Grande de Ameca de composición riolítica, representadas por brechas, tobas y flujos parcialmente cubiertas por basaltos en algunos sitios.

Las siguientes rocas en aparecer y de muy amplia distribución, son las rocas basálticas que forman el volcán de Tequila al norte, porción occidental del cerro Grande de Ameca y sur y sudeste del valle de Ameca.

Aunque no todas estas rocas presentan un centro de erupción común, si parecen ser contemporáneas y originadas por procesos volcánicos de edad Terciario inferior. Estas rocas presentan alineaciones de orientación SE-NW, aunque los aparatos de dimensión pequeña tienen una orientación NW-SE.

Las rocas más recientes de edad cuaternaria están representadas por rocas riolíticas de la sierra La Primavera, que representan la última etapa eruptiva de una caldera volcánica que forma parte del eje neovolcánico, aparecen ignimbritas y tobas de amplia distribución en el valle de Tala.

4. HIDROGEOLOGÍA

4.1 Unidades Hidrogeológicas

En el desarrollo de este tema se ha tomado información del estudio geohidrológico de 1988, denominado Estudio de Actualización geohidrológica en el valle de Ameca-Ahualulco, para definir el caudal aprovechable y zona de explotación para abastecimiento de agua en bloque a la Cd. de Guadalajara, Jal., elaborado por la SARH a contrato de EXICO, S.A.

Las rocas más importantes para la Hidrogeología de esta zona tienen un origen volcánico, como resultado del emplazamiento y desarrollo de eventos volcánicos y tectónicos correspondientes al eje Neovolcánico; incluso se presentan materiales originados por procesos sedimentarios que rellenaron las depresiones entre las estructuras volcánicas principales.

Estos materiales de relleno en combinación con las rocas volcánicas permeables, forman los acuíferos más importantes, casi todos se han explotado desde la antigüedad, a través de los numerosos manantiales que existen en los tres valles.

En el valle de Magdalena por ejemplo, la secuencia de unidades hidrogeológicas de abajo hacia arriba es la siguiente: coladas andesíticas del Oligoceno que pueden considerarse como basamento relativo de la unidad sobreyacente que consiste en rocas basálticas del Mioceno o Plioceno alternadas con brechas basálticas, todas ellas forman una unidad de permeabilidad baja a intermedia que no es plenamente conocida para la explotación del agua subterránea; finalmente se presenta una secuencia heterogénea de sedimentos lacustres alternados con tobas de grano muy fino que en general no tienen buena permeabilidad.

La unidad hidrogeológica que más se explota corresponde a los materiales granulares superiores, pues en general es posible perforar pocos metros para obtener gastos reducidos que pueden ser aprovechados para usos que no requieran mucha agua.

En cuanto al valle ubicado entre las poblaciones de Ahualulco y Tala se tiene una clara diferenciación entre las rocas originadas por el volcán de Tequila al norte y la caldera de la primavera al oriente. La base de la secuencia no es realmente conocida, pero las rocas alteradas y masivas que afloran cerca de Buenavista y en la cortina de la presa, por tener poca permeabilidad pueden funcionar como basamento relativo del subsuelo.

El volcán de Tequila es un estratovolcán que en sus últimas erupciones arrojó lavas basálticas que fluyeron radialmente durante el Plioceno, siguiendo la topografía existente y rellenando los cauces de ríos antiguos.

Junto con las rocas basálticas se han cortado brechas y escorias de la misma composición que aunado al fracturamiento de las rocas representan muy buena permeabilidad y buenas posibilidades para formar acuíferos.

Por otra parte, y desde el oriente del valle, se presentaba vulcanismo de tipo riolítico asociado a la caldera de La Primavera, especialmente los materiales que se han cortado en la porción de Tala corresponden a productos piroclásticos del cuaternario de esa caldera, básicamente consisten en tobas de caída con muy alto contenido de pómez y muy poco consolidadas, lo cual les confiere alta permeabilidad.

Ambos tipos de materiales se mezclan y se profundizan en los alrededores de la presa La Vega, sitio en el cual no se tienen pozos profundos por lo que no se conoce cuál es la relación hidrogeológica entre ambos tipos de materiales.

Los materiales más recientes en este valle presentan una graduación lateral de arcillas y arenas en Ahualulco, pasando por arcillas y limos cerca de la presa La Vega, hasta llegar a las arenas cerca de Tala. Estos materiales tienden a engrosarse hacia la presa y a variar también con la profundidad, hecho que se refleja también en diferencias en porosidad y permeabilidad, esta última incluso varía de un extremo a otro del valle en varias órdenes de magnitud.

Por otra parte, en el valle de Ameca, las rocas del subsuelo presentan mayor regularidad, y de más antigua a reciente se tienen las siguientes unidades: rocas antiguas de composición riolítica de la sierra de Quila al sur del valle con muy poca permeabilidad; hacia el centro se intercalan con las rocas que surgieron posteriormente, de composición basáltico-andesítica en porciones de estructura lajeada, de edad Mioceno Superior - Plioceno Inferior.

Estas rocas básicas tienen un intenso fracturamiento, sobre todo al oriente de este valle en las proximidades de los pueblos de Agua Caliente y Los Camichines, lo cual les confiere alta permeabilidad secundaria; sin embargo, también se ha reportado una alteración de la roca original, lo cual significa una reducción de esa permeabilidad. La productividad de los pozos que extraen de estas rocas llega a ser muy buena, y el agua presenta en general buena calidad.

Sobreyace a estas rocas volcánicas, un paquete de materiales de relleno lacustres y aluviales, con espesores variables, de menos de diez metros en las zonas de pie de monte, hasta profundizarse hacia el centro y poniente de este valle, llegando a cortarse 300m alrededor del poblado de Ameca.

La heterogeneidad de estos materiales no consolidados se aprecia en los cortes geológicos de los pozos de este valle, con granulometrías que van desde gravas o arenas gruesas hasta arcillas y limos, en matrices de gran variabilidad también. Por esta razón, sus propiedades hidrogeológicas varían también de acuerdo a su compactación y granulometría.

La mayor parte de los pozos corta a estos materiales granulares y sus rendimientos en consecuencia no son tan altos como en el caso de los basaltos antes descritos, sin embargo, se llegan a tener gastos del orden de 30 lps con abatimientos poco significativos.

Existe una separación fisiográfica de tres valles principales dentro de la zona geohidrológica de Ameca, por una parte, se tiene un valle de orientación N-S, la zona Magdalena, por otra parte se ubican en dirección E-W dos valles de forma parecida, Tala-Ahualulco al centro de la zona geohidrológica y Ameca-Cocula al sur de la misma.

La zona de Magdalena es una cuenca cerrada y debido a la poca permeabilidad de los materiales que afloran en el tajo Los Rosillos que comunica a la laguna Colorada con el valle de Tala-Ahualulco y tiene un área cercana a los 276 km², medidos en las cartas topográficas 1:50,000.

Respecto al valle de Tala-Ahualulco su extensión se ha determinado en aproximadamente 380 km², tiene importantes zonas de recarga, como el volcán de Tequila al norte y la sierra La Primavera al oriente y en menor medida una porción del cerro Grande de Ameca.

Al sudoeste de la cortina de esta presa aparecen unas areniscas conglomeráticas mezcladas con caliche que parecen tener alteración hidrotermal, muy probablemente asociadas con los manantiales antes descritos; esta característica reduce la permeabilidad de estos materiales y probablemente sirva como barrera al flujo subterráneo, dependiendo de la extensión y espesor de estos materiales.

En la cortina de la presa La Vega se han detectado rocas masivas basálticas o andesíticas que pueden limitar el flujo subterráneo de este valle hacia el sur; esta posibilidad se analizará junto con las líneas de flujo que resultan de la configuración de niveles estáticos.

La zona de Ameca tiene una extensión de casi 660 km² y comprende las poblaciones de Cocula en su extremo sudeste, de Ameca en su extremo poniente, e intermedias como San Martín Hidalgo y Buenavista. Incluye también una superficie de casi 90 km² correspondientes al distrito de riego, en el cual prácticamente no hay pozos.

El espesor de materiales granulares que constituyen el acuífero principal es de aproximadamente 100 m desde Cocula hasta San Martín Hidalgo y Buenavista, profundizándose hacia Ameca, donde se han cortado hasta 300 m.

En cuanto a los basaltos, estos se explotan en derredor del valle y dentro de este, solo donde el material granular es de poco espesor. Adicionalmente a la zona Ameca, se presenta una pequeña porción de casi 50 km² que corresponde a la pequeña zona de Estípac, la cual contiene también aprovechamientos para usos agropecuarios.

5. MODELO CONCEPTUAL DE FUNCIONAMIENTO DEL ACUÍFERO

5.1 Esquema Hidrogeológico

El flujo subterráneo en la zona de Magdalena es concéntrico al valle principal, aunque como no existen suficientes datos de profundidad de niveles estáticos no ha sido posible definir mejor el movimiento del agua subterránea; además no se cuenta con suficientes aprovechamientos para completar los estudios de cuantificación, pero aún no presenta una problemática de explotación. En cambio, en las zonas restantes si existe un número significativo de sitios para obtención de datos que ayuden a entender el funcionamiento del agua subterránea, con apoyo en la piezometría, se conoce que en general el agua subterránea sigue las direcciones y sentidos de las principales corrientes superficiales, especialmente las de los ríos Salado y Ameca junto con sus afluentes principales.

En la zona de Tala y Cocula se encuentra el mayor número de manantiales, que se han identificado sobre todo en las zonas de pie de monte al borde de las planicies. Muy pocos manantiales se encuentran en el centro de los valles, solo se conocen los que se presentan en los alrededores de la presa La Vega; incluso no es posible identificarlos pues se trata de aportaciones directas subterráneas.

Existen manantiales termales relacionados con el sistema geotérmico de La Primavera de características fisicoquímicas aptas para uso en servicios y algunos usos agrícolas, en casi todo el oriente de la zona de Tala; y otra clase de manantiales, fríos y de gran gasto al norte de la presa La Vega, los cuales afloran en el contacto de los basaltos de Tequila y los materiales lacustres de Teuchitlán.

De interés especial por sus características de afloramiento y ubicación son los manantiales de los Hervores del Agua Caliente, localizados entre El Amarillo y La Vega al pie del cerro Grande de Ameca.

Son únicos por su forma en que el agua emerge, pues consiste en un surtidor a presión superior a la atmosférica y temperatura entre 65° y 70° centígrados, de gasto actual cercano a 30 lps y con características fisicoquímicas que limitan su uso al de servicios recreativos.

Las zonas de recarga se asocian a los grandes rasgos geomorfológicos del paisaje, por ejemplo, la sierra La Primavera al oriente, el volcán de Tequila al norte, el cerro Grande de Ameca al centro y la sierra de Quila al sur.

La recarga ocurre tanto en las partes altas donde afloran las rocas permeables y/o fracturadas, como en las zonas de pie de monte, donde los materiales sedimentarios de grano grueso facilitan la infiltración.

El agua subterránea en la zona de Tala se mueve hacia la presa de La Vega, la cual representa el sitio de descarga preferencial del acuífero; se aprecia al oriente del valle que las líneas de flujo no muestran una dirección marcada de entradas subterráneas.

Este movimiento del agua subterránea se puede apreciar en la figura 3, que se obtuvo con las mediciones del nivel estático de julio de 1997.

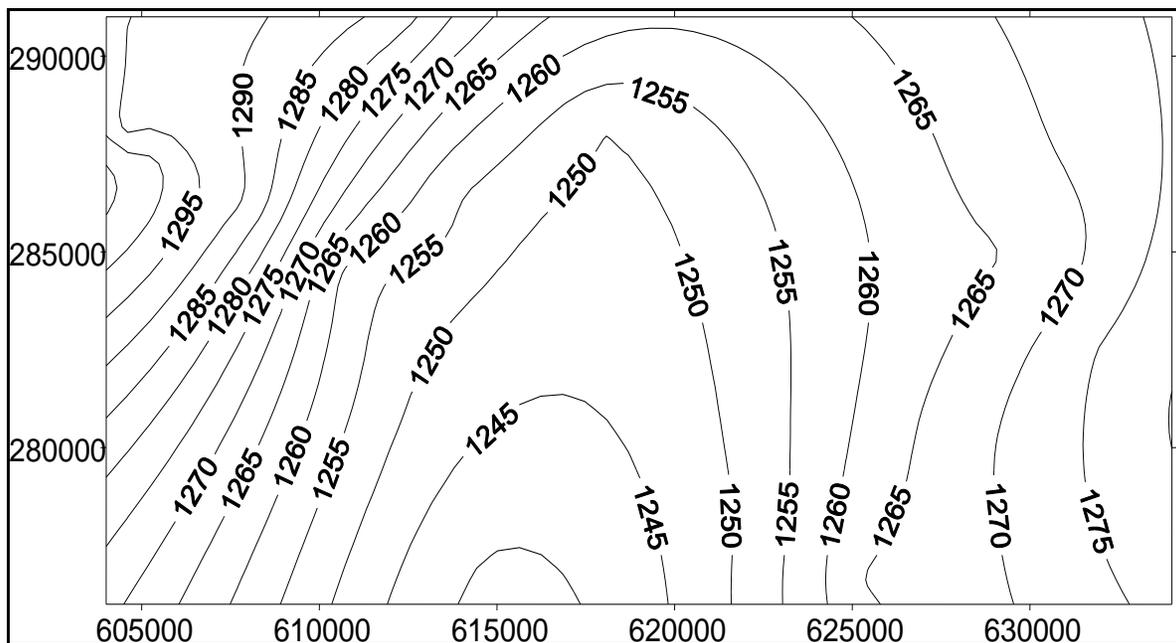


Figura. 3.- Esquema del flujo subterráneo en la zona de Tala

En esa misma figura, no se aprecia alguna barrera al flujo subterráneo en la porción sur, lo cual podría significar que existe la posibilidad de una comunicación hidráulica directa entre ambos acuíferos.

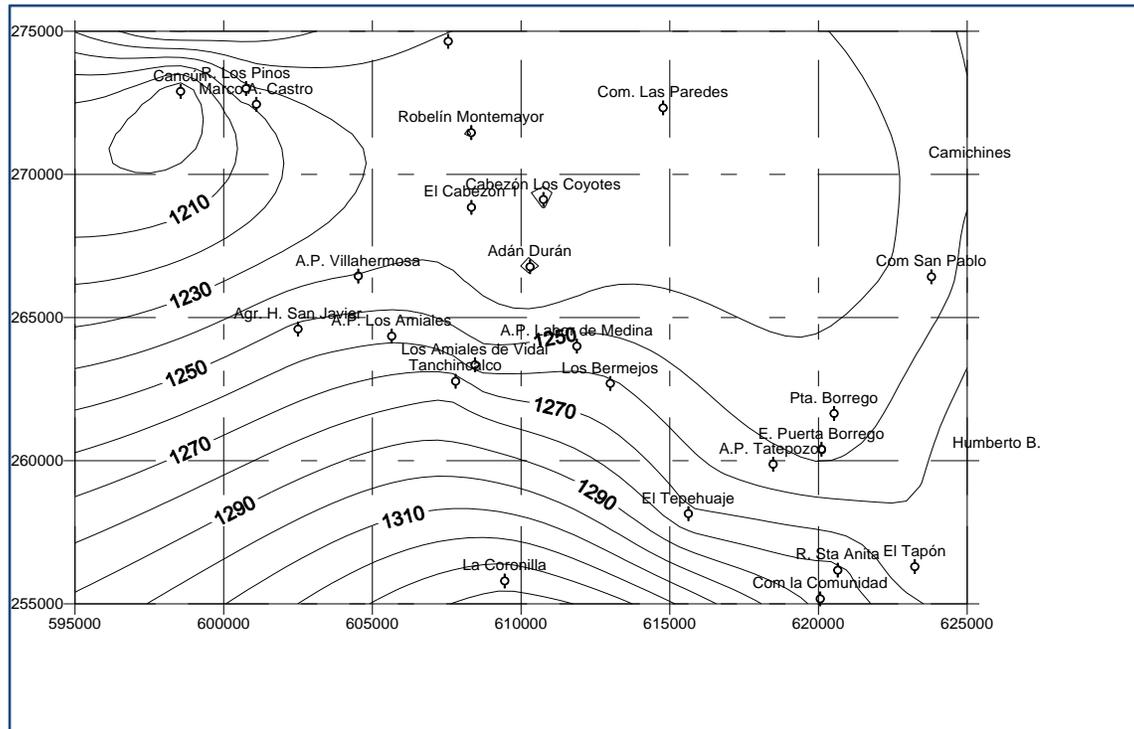


Fig. 4. Esquema actual del flujo subterráneo en la zona de Ameca

Los manantiales que se identifican en la zona de Ameca se localizan en pie de monte y algunos de ellos, al oriente de este valle presentan ciertas características de termalismo, aunque con una temperatura ligeramente superior a la media y en general de poco gasto.

A partir de los resultados del estudio geohidrológico de 1988 (Exico), se tienen los siguientes rangos de valores de transmisividad para la zona de Tala: las más altas de 1 a $21 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$, en la zona de Ahualulco de $2.5 \text{ m}^2/\text{s}$ y los más bajos alrededor de la presa La Vega de 0.9 a $1.3 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$. De ese mismo estudio se obtienen los siguientes rangos de valores de la transmisividad para la zona de Ameca: los más altos corresponden a la porción de Cocula de 1.9 a $8 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$ y gradúan poco a poco hasta ser los más bajos en la porción de Ameca, de 0.4 a $3.2 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$.

Los valores de almacenamiento específico no se han determinado mediante pruebas de bombeo, pero se considera que varía de 0.05 a 0.3.

5.2 Extracción de aguas subterráneas

El antecedente que existe para este tema corresponde al recorrido de campo del año 1988, mediante el cual se efectuó una actualización del censo de aprovechamientos hidráulicos del año 1992. Esta actualización se llevó a cabo con el llenado de la forma IAS-1 que formuló la SARH.

Los resultados del censo para toda la zona geohidrológica (Magdalena, Tala y Ameca) señalaban que existía un total de 723 aprovechamientos, de los cuales 320 son pozos, y a su vez 272 son pozos activos.

En cuanto a la extracción obtenida para ese año, en el estudio no resulta claro cuál fue el o los métodos empleados para determinar la extracción; pues en el texto no se menciona en forma específica los resultados de la hidrometría de pozos, en cambio en la tabla IX-1 aparece una relación de aprovechamientos que suman por zonas los siguientes volúmenes anuales:

Para la zona de Ahualulco se tienen 34,064,162 m³ con 62 aprovechamientos, para la zona de La Vega resultaron 58,703,271 m³ con 62 aprovechamientos, en la zona de Ameca 46,019,301 con 82 aprovechamientos, en Magdalena 17,376,246 m³ con 37 aprovechamientos y en la zona de Cocula 10'134637 m³ con 19 aprovechamientos.

Esta distribución por zonas equivaldría a que en Magdalena se extraían aproximadamente 17.37 hm³/año, en Tala se extraían 92.77 hm³/año y en Ameca se extraían 56.15 hm³/año, todos en el año de 1988.

Debido a la forma poco clara o errónea de calcular estos volúmenes de extracción, no es posible tomarlos como base para la determinación actual de la extracción. Si bien es cierto que este estudio contiene un censo muy completo, también lo es que la hidrometría de los aprovechamientos no es la más apropiada para calcular la extracción global. En la actualidad, el agua es aprovechada en los usos agropecuarios principalmente; la caña es el cultivo mayoritario en todos estos valles y tanto las aguas superficiales como las subterráneas son utilizadas para este uso. De menor importancia son los usos pecuario, público urbano e industrial, de acuerdo a la estadística siguiente:

Con base en el censo de aprovechamientos que existe en la oficina de Aguas Subterráneas y en su comparación con la base de usuarios de Administración del Agua se efectuó una estimación de los aprovechamientos y de la extracción.

Así en el municipio de Ahualulco existen 95 aprovechamientos de los cuales, 17 son norias; en el municipio de Tala se tienen 99 y de ellos 6 son norias; en Teuchitlán se han inventariado 40 y de ellos 3 son norias. En total se tiene un registro de 234 aprovechamientos.

En la zona de Tala que incluye esos municipios se tiene la siguiente distribución de la extracción: los usos agropecuarios suman casi 82 Mm³/año, el uso público urbano es de 3.34 Mm³/año, el industrial y de servicios de 3.85 Mm³/año y los demás usos de 0.55 Mm³/año.

El total aproximado de extracción es de 89.64 Mm³/año en todo el acuífero.

La zona de Ameca cuenta con la mayor extensión superficial plana y esto sugiere que las aguas subterráneas son las más explotadas, sin embargo, dos factores contribuyen a disminuir el potencial de usos más consuntivos como los agropecuarios, por una parte, la existencia de la zona de riego de aguas superficiales y por la otra, que el espesor de materiales granulares de menor permeabilidad, es menor que en las otras zonas.

La densidad de explotación es mayor en la zona de Tala, pero desde el punto de vista de rendimiento de los pozos también es en general más alta. La distribución de aprovechamientos del inventario es la siguiente, en el municipio de Ameca se tienen 171, en Cocula 133 y en San Martín Hidalgo 126 aprovechamientos. En total existe un registro de 430 aprovechamientos.

En Tala la distribución por usos de la extracción es como sigue: 94.12 Mm³/año corresponden a los usos agropecuarios, el uso público urbano extrae casi 14 Mm³/año, los usos domésticos son de 1.34 Mm³/año y el sector industrial y de servicios es de 1.12 Mm³/año.

En total se ha determinado una extracción total en este acuífero de alrededor de 110.58 Mm³/año.

En Ameca por la permeabilidad de los materiales granulares, los pozos no tienen un rendimiento tan bueno como en la zona anterior, y por esta razón se presentan localmente abatimientos del nivel estático en aquellas áreas donde existe una concentración de pozos relativamente alta, sin embargo, la explotación global no afecta significativamente al almacenamiento del acuífero.

5.3 Funcionamiento del acuífero

Para este apartado, la explicación se abocará a la zona de Tala-Ahualulco en primer término y al de Ameca-Cocula en segundo, debido a que en Magdalena tanto la explotación del agua subterránea, como los datos geohidrológicos derivados de la existencia de pozos son muy reducidas.

Aunque es posible definir para fines de manejo de ambas zonas un límite que coincide con el parteaguas superficial, tomando como punto de control la cañada existente en el río Salado, cerca del poblado La Vega, la configuración de niveles estáticos no muestra una separación clara entre ellas. Se puede apreciar que existe continuidad de las líneas equipotenciales de agua subterránea, lo que a su vez permite suponer la continuidad de las líneas de flujo de agua subterránea.

Sin embargo, debe notarse que esta configuración se realizó con muy pocas mediciones del nivel estático (solo 5 mediciones), pero esto se debe a que existen pocos pozos en los cuales se puedan medir confiablemente los niveles estáticos.

La mayoría de los numerosos manantiales en los valles de Tala, Ahualulco, Ameca y Cocula no tienen relación directa con el acuífero principal, pues su ubicación corresponde a la transición de zonas montañosas al valle, siendo por lo general, manantiales de gasto reducido y variable de acuerdo con la temporada de lluvias, representando salidas de sistemas locales de flujo subterráneo.

En la zona de Tala se encuentra la presa La Vega desde 1952 y aunque no se cuenta con elementos para definir las condiciones de gasto y afloramiento de manantiales antes de esa época, si es posible inferir que una de sus salidas principales era el río Salado y el que venía de Teuchitlán.

Es posible que el flujo base resultante fuera aprovechado para cubrir las necesidades de esa época.

Debido a que no se cuenta con suficientes datos hidrológicos de la presa y su entorno, no ha sido posible cuantificar los términos de interacción con el acuífero; en particular las salidas naturales del acuífero hacia el vaso o hacia la atmósfera, a través de los términos de salidas a cuerpos superficiales y de evapotranspiración.

La zona de Ameca tiene una relación estrecha con el río Ameca y con sus afluentes principales, desde épocas muy remotas, incluso el sentido del flujo subterráneo es de oriente a poniente, siguiendo el curso del río principal. Antes de que comenzara la explotación intensiva de este recurso, las salidas naturales eran hacia las corrientes superficiales que todavía existen.

No se tiene conocimiento que se hayan analizado los registros hidrométricos en el tramo del río entre Puerta de La Vega y Ameca debido a que anteriormente a la construcción de la presa no había estaciones hidrométricas; en la actualidad existen aportaciones de retornos de riego no cuantificados, de los canales y de los afluentes secundarios, que impiden una estimación confiable del flujo base.

En la actualidad, Tala es el que más pronto recibe las aportaciones de agua meteórica en forma de recarga, tanto del volcán de Tequila al norte como de la sierra La Primavera al oriente; a diferencia de Ameca que por su menor transmisividad y mayor extensión no presenta la misma velocidad de recarga.

Por lo tanto, para que no se presenten problemas de abatimientos de niveles aun cuando la condición geohidrológica sea subexplotada, es necesario que la separación entre aprovechamientos sea diferente, más alejados uno respecto al otro en donde la permeabilidad sea menor.

En cuanto a las características hidrogeoquímicas del agua subterránea, el estudio geohidrológico de 1988 señala a partir de los resultados de 90 muestras, que la familia de agua predominante es la bicarbonatada-sódica, resultante de la infiltración directa de agua meteórica.

Con la información consultada y procesada, se presentan barreras al flujo subterráneo en la porción occidental de la zona de Tala y en el cerro Grande de Ameca. Las otras porciones de la zona geohidrológica funcionan como recarga en el acuífero y como transición del agua subterránea que fluye subterráneamente hacia el espesor saturado.

La unidad hidrogeológica más explotada es la que corresponde a los materiales aluviales, que presenta interdigitaciones de granos finos y gruesos que le confieren diferentes grados de permeabilidad. En el mismo paquete, pero con una tendencia a aumentar el contenido de arcillas y el espesor alrededor de la presa La Vega y hacia Ameca, se tiene una unidad hidrogeológica en materiales lacustres de menor permeabilidad que la anterior.

Además, dependiendo de la proximidad a las grandes elevaciones volcánicas, como el volcán de Tequila, la sierra La Primavera y la sierra de Quila se tiene la unidad hidrogeológica de rocas ígneas, con variación en el fracturamiento que le da una permeabilidad variable y diferencial.

Las aguas subterráneas presentan características fisicoquímicas dependiendo de las rocas que intercepten, las que circulan por los basaltos de Tequila y por los de la sierra de Quila tienen excelente calidad natural; le siguen las de las rocas ácidas de la caldera de la Primavera, con la diferencia que estas últimas tienen termalismo. En los materiales lacustres se presentan zonas de mala calidad natural, debido a la materia orgánica y bicarbonatos, que limita su potabilidad.

6. RECARGA

6.1 Cálculo de la Infiltración por Lluvia

Para este apartado, utilizaremos los datos que se miden en 8 estaciones climatológicas y en tres estaciones hidrométricas de la cuenca del río Ameca: se utilizará un balance de aguas superficiales, que nos permite calcular la infiltración del agua que llueve según la fórmula:

$$P(\text{Precipitación})=S(\text{Escurrimiento})+E_{vt}(\text{Evapotranspiración})+I(\text{Infiltración})$$

Como primer paso, se seleccionaron los valores de precipitación de las ocho estaciones climatológicas siguientes: Ahualulco, Ameca, Antonio Escobedo, Arenal, El Salitre, La Vega, San Martín Hidalgo y Tala; se descartaron los valores de la estación Teuchitlán por ser demasiado bajos para ser tomados en cuenta y porque representan condiciones locales muy particulares.

Se construyó un plano de isoyetas a escala 1:250000, a partir del cual se escogieron áreas de igual valor de la precipitación, midiéndose su área con planímetro y se obtuvieron los siguientes resultados:

En La Primavera, área de 115 km² y volumen de 112.125 hm³/a; en el volcán de Tequila, un área de 112.8 km² y volumen de 115.54 hm³/a; en la zona del Refugio a Ahuisculco, área de 391.667 km² y volumen de 362.29 hm³/a; al norte del cerro de Ameca, un área de 63.833 km² y volumen de 67.025 hm³/a; finalmente en el valle de Aqualulco, un área de 164.33 km² y volumen de 67.025 hm³/a. En total, para el área de Tala y su zona de recarga se tiene un área de 781 km² un volumen llovido de 796.66 hm³ 7año.

En la zona de San Martín Hidalgo, con área de 498.5 km² y volumen de lluvia de 461.112 hm³/a, para el sur de sierra de Quila, sobre un área de 329.333 km², precipita un volumen de 345.799 hm³/a; en la zona de Cocula, con área de 274.33 km², llueve un volumen de 240.04 hm³/a; la zona al sur del cerro Grande de Ameca, con área de 100 km² y volumen llovido de 105 hm³/a; finalmente en el valle de Ameca que tiene un área de 189.39 km², el volumen de lluvia es de 184.66 hm³/a.

Resultando para toda la zona de Ameca y su área de recarga un área total de 1391.5 km² y volumen precipitado de 1,336.61 Millones de metros cúbicos anuales.

En cuanto al cálculo de la evapotranspiración, que incluye a los términos de evaporación del suelo y la transpiración por plantas; originalmente se planteó usar los datos climatológicos y agrícolas de la cuenca superficial correspondiente a las zonas de Ameca y Tala, para determinar la evapotranspiración potencial, y a partir de estos valores, con base en el método del balance hídrico edafológico obtener la evapotranspiración real.

De esta forma se utilizó el método de Thornwaite para calcular la evapotranspiración potencial en las zonas montañosas, en donde usualmente la cobertura vegetal es nativa o inexistente, es decir, se trata de pastizales, bosque o barrancas sin vegetación. Asimismo, en los valles se utilizó el método de Blaney-Criddle, con el cultivo de caña de azúcar, como el factor principal por considerar. Se aplicó la metodología de acuerdo al texto de D.F. Campos Aranda Vol. I, tomo 2/2, a las zonas de La Primavera y del volcán de Tequila, considerando un suelo arenoso y una cobertura vegetal nos proporciona un valor de 100 mm, que se aplica en la tabla correspondiente a la retención de humedad que viene en ese texto.

Se obtuvieron valores mes con mes de la evapotranspiración real, totalizando para La Primavera una altura de 696.04 mm de lámina evapotranspirada y para el volcán de Tequila, 661.74 mm.

Para el resto de las zonas en que se dividió la cuenca se tienen diferentes propiedades de los suelos y los cultivos, por lo cual la humedad utilizada por los suelos y plantas difiere de los valores para la sierra La Primavera y del volcán de Tequila; así, se resolvió utilizar métodos empíricos que evalúan directamente la evapotranspiración real. Por facilidad del cálculo se utilizaron los métodos de Turc y de Coutage.

Seleccionando los valores más representativos de la evapotranspiración real para cada zona, se tienen los siguientes resultados: para el cerro Grande de Ameca se determinó un valor de 692.25 mm; para la sierra de Quila, se determinó 727.505 mm; para el valle de Ameca, un valor de 723.5 mm. Así en resumen en el acuífero de Ameca y su zona de recarga se determinó un volumen evapotranspirado de 1003.38 Mm³/año.

De igual forma se determinaron los siguientes resultados para la zona de Tala y su zona de recarga, para el valle de Tala, se determinó 674.92; para las otras zonas como La Primavera, volcán de tequila, y cerro Grande de Ameca, se toman los mismos valores ya indicados. En total resulta un volumen evapotranspirado de 531.23 Mm³/año.

Para el caso de la zona Tala-Ahualulco las salidas superficiales se concentran actualmente en la presa La Vega, siendo regulada por esta obra y medidas en las estaciones de La Vega. El promedio de extracciones de la presa es de alrededor de 133 millones de metros cúbicos por año.

Por otra parte se tienen valores de escurrimiento en el periodo de 1953 a 1955 medidos en el río Ameca, durante la construcción de la presa La Vega. De acuerdo con el boletín hidrológico de la SARH, se midió un promedio de 143.56 hm³/año en esos años, que corresponden a la zona de Tala.

Cerca de la población de Ameca existe una estación hidrométrica, que se sitúa a 20 km aproximadamente del límite de la zona geohidrológica; debido a que no se cuenta con una estación hidrométrica más cerca del límite, estos datos nos podrán servir como un volumen mínimo de escurrimiento para la subcuenca de Ameca.

Calculando el volumen medio aforado en el periodo de 1988 a 1997 se tiene un volumen de 144.418 hm³/año, el cual en principio puede considerarse como el mínimo volumen que escurre por cuenca propia. La consideración de que este es un volumen representativo del escurrimiento de la subcuenca correspondiente a la zona de Ameca y su zona de recarga es debido a que los volúmenes regulados por la presa ya han sido utilizados en el distrito de riego. Sin embargo, esta determinación no incluye los volúmenes aprovechados mediante obras de retención o bombeo directos de los afluentes, ni tampoco los volúmenes aportados por los retornos de riego.

Resumiendo, los valores antes señalados se obtiene para la zona de Tala, en un área de 781 km² que incluye su zona de recarga, llueven en promedio 796.66 hm³ anuales, de los cuales, 531.23 se evapotranspiran, 143.56 constituyen el escurrimiento y la diferencia constituye el volumen de infiltración de 121.87 hm³ anuales. En forma similar para la zona de Ameca y su zona de recarga, en un área de 1391 km², llueve un volumen de 1336.61 hm³/año, se evapotranspiran alrededor de 1003.38 Mm³/a, y escurren 144.418, por lo que la infiltración resulta de 188.81 hm³ anuales.

Estos resultados de infiltración indican la máxima recarga que puede llegar al acuífero por lluvia y desde luego, debido a la incertidumbre que se tiene al evaluar los términos de evapotranspiración y escurrimiento, su grado de confianza no permite su utilización en la evaluación de la disponibilidad.

7 BALANCE DE AGUAS SUBTERRÁNEAS

ENTRADAS - SALIDAS = CAMBIO DE ALMACENAMIENTO

Las entradas incluyen los términos de Recarga vertical (Rv), Infiltración por ríos o lagos (Rlr), Recarga inducida por pérdidas en redes de abastecimiento, drenajes y canales de riego (Ri) y Entradas por flujo horizontal (Eh), todos ellos son volúmenes que difícilmente pueden ser obtenidos en cálculos individuales, y en general de acuerdo con la metodología presentada en el Anteproyecto de Norma Oficial Mexicana pueden agruparse colectivamente en un solo término a denominarse Recarga total (Rt). Por su parte las salidas se componen por los términos de Salidas por flujo horizontal (Sh), salidas naturales por manantiales o por flujo base (Dn), salidas verticales por evapotranspiración (Sevt) y salidas artificiales por bombeo (B), algunas de estas salidas ya se han evaluado en los capítulos anteriores y tienen los siguientes valores: Para la zona de Tala, se ha evaluado el total de las salidas de manera global en

aproximadamente $128.8 \text{ hm}^3/\text{año}$, con salidas por manantiales de aproximadamente $4.3 \text{ hm}^3/\text{a}$. En la porción sur de Ameca, las salidas globales son de aproximadamente $148.53 \text{ hm}^3/\text{año}$, con salidas por manantiales de alrededor de $1.5 \text{ hm}^3/\text{año}$.

En el acuífero no se ha detectado que existan abatimientos significativos en los últimos 10 años, esta situación se comprobó al medir en agosto de 1997 los niveles estáticos de los mismos pozos que se midieron en el estudio geohidrológico de 1988.

Al configurar las diferencias no se notó la existencia de algún abatimiento significativo, pues las diferencias negativas en unas zonas se compensaban con las diferencias positivas en otras. Esto significa que el cambio de almacenamiento es nulo.

En la zona de Tala, se tienen las salidas más importantes por descargas a los arroyos y río Salado y a la presa La Vega; desafortunadamente, estas salidas se juntan con la evapotranspiración de estos cuerpos superficiales y no es posible calcularlas con toda exactitud.

Sin embargo, se puede hacer el siguiente cálculo: a través de los registros hidrométricos de la presa La Vega, en el periodo de 1958 a 1974 se tiene registrado un volumen de lluvia en el vaso de $17.093 \text{ hm}^3/\text{año}$ y salidas totales de $152.468 \text{ hm}^3/\text{año}$, esto significa que la diferencia de $135.37 \text{ hm}^3/\text{año}$, debe ser cubierta con el agua escurrida en los ríos, con las aportaciones de los manantiales y subterráneas directas al vaso.

Si tomamos en cuenta el volumen escurrido en toda la subcuenca de $143.56 \text{ hm}^3/\text{año}$ y le descontamos el volumen aforado en el río Ahualulco que no aporta a la presa, resulta que el volumen escurrido es de aproximadamente $100 \text{ hm}^3/\text{año}$.

Finalmente haciendo la diferencia entre este volumen y el obtenido a través del funcionamiento de la presa, se tienen $35.355 \text{ hm}^3/\text{año}$ que son aportados por manantiales y por entradas de agua subterránea. El volumen cuantificado de los manantiales es de $4.3 \text{ hm}^3/\text{año}$ que descontando al volumen anterior resulta finalmente en aproximadamente $31 \text{ hm}^3/\text{año}$, que suponemos es el que le aporta el acuífero a la presa.

En la porción sur de Ameca las salidas naturales son hacia el río Ameca y hacia los manantiales, y no existen salidas por evapotranspiración. Las salidas hacia el río se podrían calcular directamente si existiera una medición precisa del gasto que pasa a la entrada y a la salida del acuífero sobre el río Ameca y de sus afluentes principales; a falta de estas mediciones tenemos lo siguiente:

Se tiene medido un volumen de 43.54 hm³/año en la estación FFCC II del río Ahualulco, que representa el caudal inicial del río Ameca; posteriormente, se tienen aportes por margen izquierda de 33.57 hm³/año y de 24 hm³/año de los ríos Cocula y San Martín Hidalgo, y finalmente se estima por comparación de cuencas que en la margen derecha el río recibe un volumen de 16 Mm³/año. Estos aportes suman 117.11 Mm³/año que comparados con el promedio obtenido en la estación puente Ameca de 144.42, producen una diferencia de 27.31 hm³/año, volumen que puede ser considerado como aporte del acuífero al río.

Para evaluar los términos de interacción de entradas y salidas por flujo subterráneo, se usaron los planos ilustrados en las figuras 3 y 4, tratando de relacionar las entradas y salidas con rasgos hidrogeológicos que nos indiquen la posibilidad de que efectivamente exista flujo subterráneo, y los datos de transmisividad señalados en el apartado 5.1.

Para Tala existen entradas por las zonas de La Primavera y de Magdalena, aunque también existen otras, sólo es posible cuantificar las que hemos indicado; usando la relación de Darcy la suma de los cálculos resulta en un volumen de 20.37 hm³/año, que son aportados principalmente desde La Primavera. Las salidas identificadas se evaluaron tomando en cuenta la red de flujo de la zona de Tala, con una transmisividad de 1.15×10^{-3} m²/s, resulta un volumen calculado de 0.86 hm³/año. Este término resulta una entrada para la zona de Ameca, de la misma magnitud.

Para Ameca, se han identificado salidas hacia el río Ameca a través de la red de flujo de la figura 7; sin embargo, para el cálculo del volumen de salida se empleó un plano de configuración de elevación de niveles a escala 1:50000, con los datos de la compañía Moro Consultores. Con una transmisividad de 1.6 a 2.5×10^{-3} m²/s, se obtiene un volumen aproximado de 9.14 hm³/año.

Se conoce que en un área pequeña de aproximadamente 10 km² existen plantas freátofitas y zonas de humedales que son alimentadas por agua subterránea.

Para fines de cálculo se considera una lámina promedio de 30 cm en los meses de estiaje, que produce un volumen cercano a los 3 hm³ por año.

En el siguiente cuadro se consignan los principales elementos que componen el balance de aguas subterráneas del acuífero Ameca:

BALANCE DE AGUAS SUBTERRÁNEAS EN EL ACUÍFERO AMECA

ZONA TALA		ZONA AMECA	
Entradas horizontales:	20.37	Entradas horizontales:	0.86
Salidas horizontales:	0.86	Salidas horizontales:	9.14
Descarga manantiales:	4.30	Descarga manantiales:	1.50
Descarga a cuerpos:	31.00	Descarga a cuerpos:	27.31
Evapotranspiración:	3.00	Evapotranspiración:	0.00
Extracción por bombeo:	89.64	Extracción por bombeo:	110.58
Cambio de almacenamiento:	0.00	Cambio de almacenamiento:	0.00
Recarga vertical:	incógnita	Recarga vertical:	incógnita
Recarga inducida:	incógnita	Recarga inducida:	incógnita

Puede observarse que los términos de recarga vertical e inducida se han dejado como incógnitas y serán obtenidas al despejar estos términos de la ecuación de balance, obteniendo lo siguiente:

$$\text{Recarga vertical} + \text{Recarga inducida} = \text{Suma de las salidas} - \text{Entradas horizontales.}$$

Debido a que el acuífero Ameca incluye a la zona de Tala, el balance integrado de ambas regiones es la que se considera para el cálculo de la disponibilidad.

El balance de aguas subterráneas queda por lo tanto de la siguiente manera:

ENTRADAS		SALIDAS	
Entradas horizontales	21.23	Descarga por manantiales	5.80
Recarga por infiltración más la recarga inducida	256.10	Descarga a cuerpos de agua	58.31
		Evapotranspiración	3.00
		Bombeo	200.22
		Salidas horizontales	10.00
		Cambio de almacenamiento	0.0
Sumas:	277.33		277.33

La recarga total resulta ser de **R= 277.33 hm³ /año**

8 DISPONIBILIDAD

Para el cálculo de la disponibilidad de aguas subterráneas, se aplica el procedimiento de la Norma Oficial Mexicana NOM-011-CONAGUA-2015, Conservación del recurso agua-que establece las especificaciones y el método para determinar la disponibilidad media anual de las aguas nacionales; en su fracción relativa a las aguas subterráneas, menciona que la disponibilidad se determina por medio de la expresión siguiente:

$$\begin{array}{ccccccc} \text{DISPONIBILIDAD MEDIA} & = & \text{RECARGA} & - & \text{DESCARGA} & - & \text{EXTRACCIÓN DE} \\ \text{ANUAL DE AGUA DEL} & & \text{TOTAL} & & \text{NATURAL} & & \text{AGUAS} \\ \text{SUBSUELO EN UN} & & \text{MEDIA} & & \text{COMPROMETIDA} & & \text{SUBTERRÁNEAS} \\ \text{ACUÍFERO} & & \text{ANUAL} & & & & \end{array}$$

Donde:

DMA = Disponibilidad media anual de agua del subsuelo en un acuífero

R = Recarga total media anual

DNC = Descarga natural comprometida

VEAS = Volumen de extracción de aguas subterráneas

8.1 Recarga total media anual (R)

La recarga total media anual que recibe el acuífero (R), corresponde con la suma de todos los volúmenes que ingresan al acuífero. Para este caso, su valor es de **277.3 hm³/año**, todos ellos son de recarga natural.

8.2 Descarga natural comprometida (DNC)

La descarga natural comprometida se determina sumando los volúmenes de agua concesionados de los manantiales y del caudal base de los ríos que está comprometido como agua superficial, alimentados por el acuífero, más las descargas que se deben conservar para no afectar a los acuíferos adyacentes; sostener el gasto ecológico y prevenir la migración de agua de mala calidad hacia el acuífero.

Para este caso, su valor es de **DNC = 20.9 hm³ anuales.**

8.3 Volumen de extracción de aguas subterráneas (VEAS)

La extracción de aguas subterráneas se determina sumando los volúmenes anuales de agua asignados o concesionados por la Comisión mediante títulos inscritos en el Registro Público de Derechos de Agua (REPDA), los volúmenes de agua que se encuentren en proceso de registro y titulación y, en su caso, los volúmenes de agua correspondientes a reservas, reglamentos y programación hídrica, todos ellos referidos a una fecha de corte específica.

En el caso de los acuíferos en zonas de libre alumbramiento, la extracción de aguas subterráneas será equivalente a la suma de los volúmenes de agua estimados con base en los estudios técnicos, que sean efectivamente extraídos, aunque no hayan sido titulados ni registrados, y en su caso, los volúmenes de agua concesionados de la parte vedada del mismo acuífero.

Para este acuífero el volumen de extracción de aguas subterráneas es de **300,830,419 m³ anuales**, que reporta el Registro Público de Derechos de Agua (REPDA) de la Subdirección General de Administración del Agua, a la fecha de corte del **30 de diciembre de 2022**.

8.4 Disponibilidad media anual de agua subterránea (DMA)

La disponibilidad de aguas subterráneas, constituye el volumen medio anual de agua subterránea disponible en un acuífero, al que tendrán derecho de explotar, usar o aprovechar los usuarios, adicional a la extracción ya concesionada y a la descarga natural comprometida, sin poner en peligro a los ecosistemas.

Conforme a la metodología indicada en la norma referida anteriormente, se obtiene de restar al volumen de recarga total media anual, el valor de la descarga natural comprometida y el volumen de extracción de aguas subterráneas.

$$\begin{aligned} \text{DMA} &= \text{R} - \text{DNC} - \text{VEAS} \\ \text{DMA} &= 277.3 - 20.9 - 300.830419 \\ \text{DMA} &= -44.430419 \text{ hm}^3/\text{año.} \end{aligned}$$

El resultado indica que no existe un volumen disponible para otorgar nuevas concesiones; por el contrario el déficit es de **44,430,419 m³ anuales**.

9. BIBLIOGRAFÍA

Estudio de Actualización Geohidrológica en el Valle de Ameca-Ahualulco, para definir el caudal aprovechable y zona de Explotación para abastecimiento de Agua en bloque a la ciudad de Guadalajara, Jal.; 1988. Elaborado por Exyco, S.A. para la SARH.