

SUBDIRECCIÓN GENERAL TÉCNICA
GERENCIA DE AGUAS SUBTERRÁNEAS

**ACTUALIZACIÓN DE LA DISPONIBILIDAD MEDIA ANUAL DE
AGUA EN EL ACUÍFERO VALLE DE AMAZCALA (2202),
ESTADO DE QUERÉTARO**

CIUDAD DE MÉXICO, 2024

Contenido

1. GENERALIDADES	2
Antecedentes.....	2
1.1 Localización.....	2
1.2 Situación administrativa del acuífero	4
2. FISIOGRAFÍA.....	4
2.1 Provincia fisiográfica	4
2.2 Clima	5
2.3 Hidrografía.....	5
2.4 Geomorfología	5
3. GEOLOGIA.....	6
3.1 Estratigrafía.....	7
4. HIDROGEOLOGIA.....	8
4.1 Piezometría.....	9
4.2 Hidrogeoquímica y calidad del agua subterránea	10
5. CENSO DE APROVECHAMIENTOS	11
6. BALANCE DE AGUA SUBTERRANEA	12
7. DISPONIBILIDAD DE AGUA SUBTERRÁNEA.....	16
7.1 Recarga total media anual (R)	16
7.2 Descarga natural comprometida (DNC)	16
7.3 Volumen de extracción de aguas subterráneas (VEAS).....	17
7.4 Disponibilidad media anual de agua subterránea (DMA).....	17

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 Valle de Amazcala, definido con la clave 2202 por la Comisión Nacional del Agua, se localiza en la porción suroccidental del estado de Querétaro, entre las coordenadas geográficas 20° 40' y 20° 59' de latitud norte y 100° 05' y 100° 27' de longitud oeste, cubriendo una superficie de 601 km². Limita al norte con el acuífero Dr. Mora-San José Iturbide y Xichú-Atarjea, pertenecientes al estado de Guanajuato; al este con Tolimán, al sureste Valle de Tequisquiapan, al sur Valle de San Juan del Río, al suroeste Valle de Querétaro y al oeste Valle de Buenavista, todos estos pertenecientes al estado de Querétaro (figura 1).

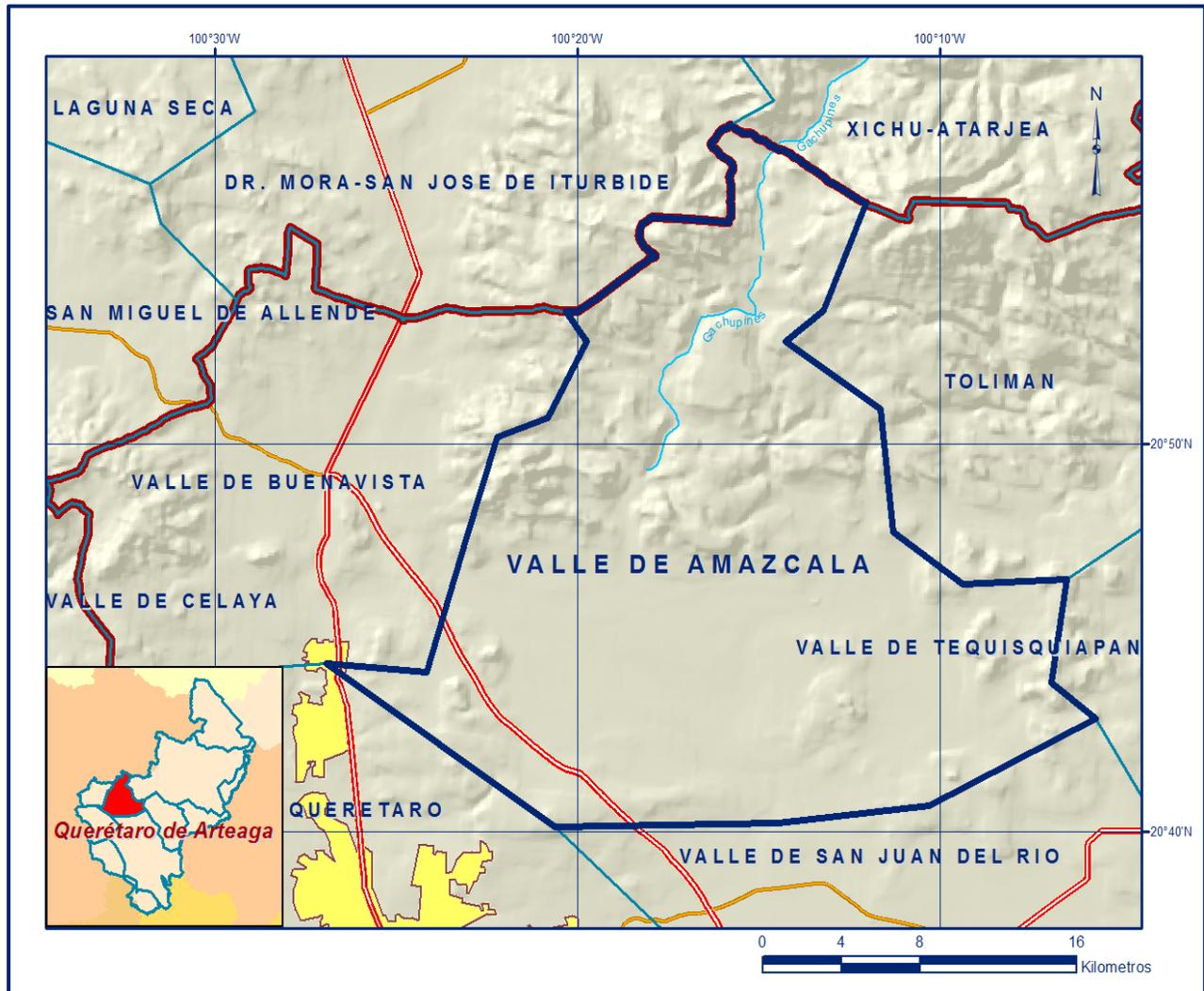


Figura 1. Localización del acuífero.

El acuífero Valle de Amazcala cubre parcialmente el municipio de El Marqués. Dentro de las principales poblaciones se encuentran Santa María Begoña, Chichimequillas, Amazcala, Tierra Blanca, Santa Cruz, Atongo, San Rafael entre otras.

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

Tabla 1. Coordenadas geográficas de la poligonal simplificada del acuífero

VERTICE	LONGITUD OESTE			LATITUD NORTE			OBSERVACIONES
	GRADOS	MINUTOS	SEGUNDOS	GRADOS	MINUTOS	SEGUNDOS	
1	100	20	38.0	20	40	8.0	
2	100	26	55.0	20	44	20.0	
3	100	24	10.0	20	44	7.0	
4	100	23	3.8	20	47	35.6	
5	100	22	14.2	20	50	9.9	
6	100	20	49.3	20	50	39.8	
7	100	19	45.3	20	52	38.5	
8	100	20	19.1	20	53	25.7	DEL 8 AL 9 POR EL LIMITE ESTATAL
9	100	15	48.1	20	58	13.3	DEL 9 AL 10 POR EL LIMITE ESTATAL
10	100	12	3.0	20	56	11.9	
11	100	13	14.1	20	53	26.6	
12	100	14	16.3	20	52	38.5	
13	100	11	39.9	20	50	54.2	
14	100	11	17.8	20	47	43.6	
15	100	9	23.5	20	46	23.4	
16	100	6	31.1	20	46	30.0	
17	100	6	57.1	20	43	50.9	
18	100	5	42.9	20	42	55.5	
19	100	10	19.0	20	40	40.0	
20	100	14	28.7	20	40	14.2	
1	100	20	38.0	20	40	8.0	

1.2 Situación administrativa del acuífero

Actualmente se tienen vedas para el aprovechamiento de agua del subsuelo desde el año de 1949 mediante Decreto oficial publicado en el Diario Oficial de la Federación: de fecha 13 de noviembre de 1957, 17 de marzo de 1964, 24 de septiembre de 1964 y 30 de diciembre de 1957 que señalan que por causa de interés público y para protección de los mantos acuíferos se establece veda por tiempo indefinido, dentro de los municipios de Querétaro, Corregidora y El Marques.

Respecto a los decretos de reserva o reglamento no existe antecedente de alguna publicación en el Diario Oficial de la Federación, existiendo únicamente a nivel de propuesta y mediante el Comité Técnico de Agua Subterránea (COTAS) del acuífero Valle de Amazcala. 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

El acuífero Valle de Amazcala se emplaza dentro de la provincia fisiográfica del Eje Neovolcánico según clasificación de E: Raíz 1964 en su porción septentrional; el valle de Amazcala es el producto de una serie de acontecimientos naturales que tuvo lugar desde fines del Cretácico hasta principios del Terciario, entre los que destaca la Revolución Laramide, que originó la dislocación y plegamiento de las rocas sedimentarias marinas, dando lugar a la formación de sierras y fallas.

2.2 Clima

El clima de acuerdo con los criterios de Köppen modificados por Enriqueta García, se clasifica en general como semiseco, semicalido, con lluvia en verano y con un porcentaje de lluvia invernal menor de 5, la precipitación media anual en el valle es del orden 520 mm datos de la estación climatológica de Nogales y el Zamorano, para el período de 1921 a 1996; la temperatura media anual es del orden de 17° C.

La evaporación potencial media anual en el valle es del orden de 2,050 a 2,200 mm, valores que sobrepasan por mucho a la precipitación pluvial, razón por lo que se considera al clima como semiseco.

2.3 Hidrografía

El Valle de Amazcala pertenece a la Región Hidrológica N° 12 Cuenca del Río Lerma. La corriente superficial más importante es el río Chichimequillas y sus afluentes principales lo constituyen un sin número de arroyos del tipo intermitente.

El río Chichimequillas nace en la porción centro norte del estado, adopta un rumbo SE-NW que modifica a E-W al entrar al valle de Querétaro el cual cambia su nombre por el del Río Querétaro para finalmente aportar al río La Laja.

En la sierra del norte se generan los escurrimientos del río Chichimequillas, que con dirección sureste llega y cruza los poblados de Chichimequillas y Amazcala, donde tuerce al SW y atraviesa la llanura hasta La Cañada, donde cambia de nombre por el del Río Querétaro.

2.4 Geomorfología

El área de estudio se puede dividir en dos zonas morfológicamente:

1. Zona de Llanuras y Sierras de Querétaro e Hidalgo abarca toda la zona de estudio y se puede subdividir en:
 - a) Zonas de Llanuras. Comprende los valles de Querétaro, Amazcala y San Juan del Río.
 - b) Zona de Sierras. Son de forma alargada en dirección norte-sur desde El Zamorano hasta el poblado de Huimilpan constituyendo sierras de laderas tendidas en lomeríos.
2. Una pequeña parte, al noroeste de Huimilpan, corresponde a la subprovincia de Mil Cumbres, compuesta por sierras de laderas abruptas, esta zona queda fuera del área de estudio.

El valle de Amazcala corresponde a un extenso valle de forma alargada en dirección noroeste-sureste, relleno de sedimentos aluviales con espesor de más de 200 metros, rocas volcánicas como son: ignimbritas, andesitas, basaltos y tobas asociadas.

3. GEOLOGIA

En la zona en la que se ubica el acuífero afloran rocas sedimentarias, ígneas y depósitos aluviales (Figura 2).

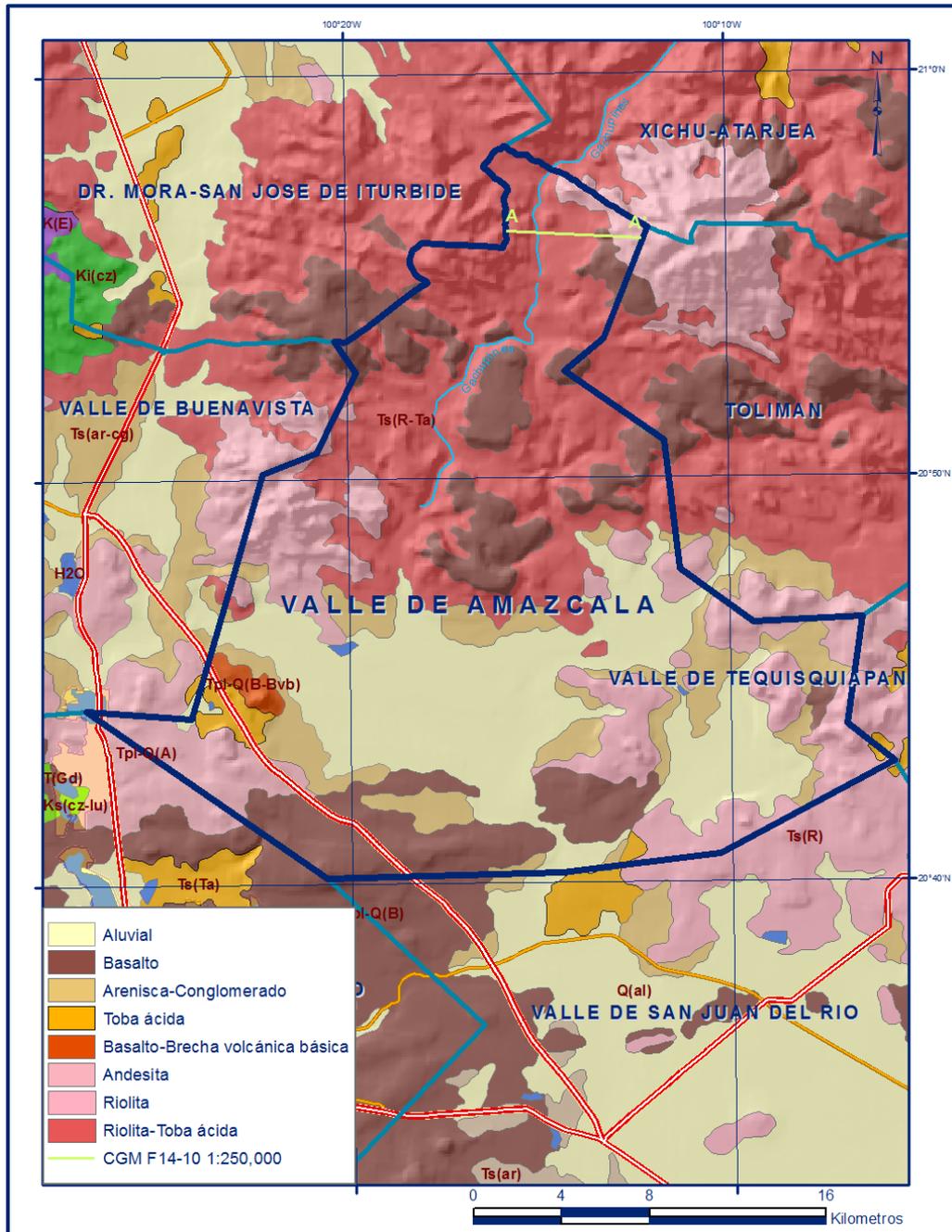


Figura 2. Geología general del acuífero

3.1 Estratigrafía

El acuífero Valle de Amazcala lo conforman en sus partes altas solo rocas volcánicas como ignimbritas, andesitas, basaltos y tobas asociadas, y en las partes bajas del valle se ubican materiales de relleno del tamaño de las gravas y arenas (figura 2). Las características de cada unidad se describen a continuación, haciéndolo desde la más antigua a la reciente.

Terciario Andesítico

Corresponde a emisiones volcánicas en donde se agrupa a la denominada “Andesita Buenavista” de textura porfídica y cristales de plagioclasas parcialmente alterada; en su parte superior en ocasiones presenta zonas brechoides y piroclásticas con tezontle rojizo. La constituyen emisiones volcánicas masivas andesíticas con variación a basálticas, es la de mayor distribución en la zona y a la que se le ha asignado una permeabilidad media a alta, en función del grado de fracturamiento que presente.

Terciario Areniscas-Conglomerados

Unidad clástica de origen continental que consta de areniscas de moderada compactación, con matriz arcillosa parcialmente calcárea en estratos que varían de 20 a 80 cm; se presenta con intercalaciones de conglomerados en lentes y horizontes de 0.80 a 1.20 metros de clastos subangulosos a subredondeados de rocas ácidas, básicas y vidrio volcánico con matriz arenosa de color café; se le considera que tiene una permeabilidad baja.

Terciario Ignimbrita Zamorano

Forma toda la sierra del Zamorano, es parte del frente norte del valle de Amazcala, este macizo montañoso también se prolonga hacia el subsuelo del valle de Amazcala encontrándose a distintas profundidades dependiendo de la localidad y la estructura geológica. El miembro inferior consiste en una alternancia mayor de tobas vítreas de caída libre con intercalaciones de tobas vitrocrystalinas; el miembro superior se presenta en paquetes acantilados y escalonados, con fracturamiento casi vertical, presenta una permeabilidad de baja a media.

Terciario Toba Zamorano

Tobas de caída libre limoarenosas y vítreas de coloración amarilla claro a oscuro; presenta fragmentos subangulosos de pómez, fragmentos de roca y vidrio, afloran en el oriente del poblado Carboneras al sur de Chichimequillas. Se le atribuye una permeabilidad de media a baja.

Terciario Andesita Mesa Redonda

Lavas andesíticas y traquiandesíticas gris oscuro y en ocasiones rojizo, con apariencia basáltica, con fracturas verticales y lajeamiento intenso cortado por otras fracturas perpendiculares; se localiza en el poblado El Saucillo descansando sobre las ignimbritas de caída libre del miembro inferior, con permeabilidad de media a baja.

Cuaternario Basaltos

Son derrames lávicos de naturaleza basáltica, con fracturas naturales por contracción en sentido vertical abiertas; además de un fracturamiento intenso prácticamente lajeado, debido a la liberación de presión. Afloran hacia la parte poniente de la zona, se les asigna una permeabilidad alta.

Cuaternario Basalto y Brechas Volcánicas

Las brechas están constituidas por piroclásticos tipo tezontle de coloración rojizo, solo afloran al poniente del área; su permeabilidad es alta.

Cuaternario Depósitos de Pie de Monte y Conglomerados

Es un banco de arenas, gravas y boleas bien graduados prácticamente en partes iguales dentro de un aglutinante limo arenoso de baja consolidación, que se localiza en el poblado de Santa María de Los Baños al norte del valle; su espesor es de 3 m y tiene una permeabilidad alta.

Cuaternario Depósitos Aluviales

Conforma el valle de Amazcala y consiste en depósitos de gravas, arenas, y arcillas bien graduados, en el área de San Vicente Ferrer presentan espesores de hasta 280 metros en combinación con depósitos volcanoclásticos. Tanto los depósitos conglomeráticos como los aluviales, corresponden a la última etapa de depósitos sobre la zona y cubren indistintamente otras unidades más antiguas, esta unidad presenta alta permeabilidad.

4. HIDROGEOLOGIA

Dentro del acuífero Valle de Amazcala en su zona comprendida en el valle se han realizado actividades de exploración geofísica consistente en la ejecución de sondeos eléctricos verticales tipo Schlumberger, distribuidos a lo largo y ancho del valle, trabajos realizados por varias empresas en diferentes años cuyos resultados apoyados en cortes litológicos de pozos construidos en el valle sirvieron para definir el modelo conceptual del acuífero.

4.1 Piezometría

Con el propósito de conocer la posición y la evolución que presentan los niveles del agua subterránea a partir del año de 1994 a la fecha se han realizado dos recorridos de medición de niveles; la primera se efectúa en los meses de mayo-junio y la segunda en los meses de noviembre - diciembre.

Estos recorridos se están efectuando con apoyo del Gobierno del Estado a través del Organismo operador de Agua Potable (CEA), a continuación, se dan los resultados actuales de dichos recorridos.

La profundidad del nivel estático en la zona plana del valle es de 35 a 119 metros. Localmente las máximas profundidades se encuentran en el poblado de Tierra Blanca, En la zona de Chichimequillas se localiza entre 35 y 50 m.

Las líneas equipotenciales en la sierra formada hacia la población de Santa María de los Baños, constituyen una importante zona de recarga para el acuífero Valle de Amazcala, su dirección de flujo es casi norte sur y un gradiente de 11.1×10^{-3} hasta el poblado de Chichimequillas. También en esta zona se puede observar la tendencia de diferentes flujos hacia un cono de abatimiento que se forma en el poblado de Santa Cruz; un primer flujo se observa de Tierra Blanca a Santa María Begoña con una dirección noroeste- sureste y un gradiente hidráulico aproximado de 1×10^{-3} cambiando este gradiente a 10×10^{-3} hasta Santa Cruz.

Un segundo flujo se observa al suroeste del poblado de Atongo, desde el Rancho El Pilar hasta Bordo Colorado; los cambios en los gradientes hidráulicos que se manifiestan desde la zona norte, indican diferencias en el espesor del acuífero, el cual es reducido hacia las orillas del valle y aumenta su espesor hacia la zona central.

La evolución anual del nivel estático en promedio es de 2.5 m, atribuida ésta, a la operación de un número de pozos cada vez mayor. En la zona de San Vicente Ferrer se presentan abatimientos de -4.0 m, entre las localidades de Dolores y San Vicente Ferrer esto debido a la ubicación de los pozos del organismo operador de la ciudad de Querétaro que exporta hacia la zona norte de la capital del estado para el abastecimiento de la población.

4.2 Hidrogeoquímica y calidad del agua subterránea

La interpretación hidrogeoquímica se basa en el análisis de las diversas representaciones gráficas de los análisis químicos: las curvas de isovalores de las distintas concentraciones o relaciones iónicas, así como los diferentes diagramas comparativos entre los más usados son: Shoeller, Willcox y Piper.

Estos diagramas se utilizan para la clasificación del agua conforme a su relación iónica, la cual permite la identificación de las posibles fuentes acuíferas, así como para delimitar zonas atendiendo a la calidad del agua.

La calidad y tipo de compuestos en solución va a depender tanto de la composición química de las rocas como de algunas propiedades físicas del acuífero. La cantidad de elementos disueltos en el agua será tanto mayor cuanto más permanezca y avance su recorrido (circulación regional), ya que tendrá más tiempo de contacto con los minerales solubles de las rocas por las cuales circula.

En la actualidad la mayoría de los cuerpos de agua superficial se encuentran contaminados ya sea en mayor o menor, dependiendo de la cercanía con las fuentes emisoras de los contaminantes el río Chichimequillas, localizado en el centro del valle y que atraviesa varias localidades no está exento de este fundamento ya que su lecho alberga descargas municipales principalmente.

De acuerdo a los resultados obtenidos en el periodo noviembre –diciembre de 1986 del proyecto “Estudio Hidrogeoquímico en Diversos Valles del Estado de Querétaro” elaborado por la extinta Residencia de Control de Sistema Hidrológicos, Unidad de Aguas Subterráneas, se realizó el análisis físico- químico con el fin de evaluar la calidad del agua subterránea para lo cual se hicieron un muestreo 14 pozos pilotos.

El método para clasificar el agua de acuerdo a su composición química, lo constituyen los diagramas triangulares. Dichos diagramas se forman graficando en un triángulo equilátero los cationes (+) y en otro triángulo similar los aniones (-). Para tal efecto, se toman los resultados obtenidos en porcentaje de miliequivalente/litro. De esta forma, se deduce gráficamente cual es el catión o anión predominante para cada muestra.

Se puede definir como familia de agua, a la composición química que esta presenta, dicha composición se obtiene mediante los diagramas triangulares.

En el plano se muestra la familia de agua que se presenta en los diferentes valles del Estado donde fue factible el muestreo. Esta delimitación fue en base a los resultados obtenidos del análisis químico.

Chase Palmer dio a conocer un método geoquímico de clasificación de aguas, basado en las propiedades químicas que las aguas subterráneas van adquiriendo al circular por diferentes medios geológicos.

Este método consiste en el cálculo del índice geoquímico, mediante el balance iónico de cationes y aniones. El índice geoquímico, la determinación de litio y sílice, son los parámetros que nos indican el origen, edad y dirección de flujo del agua subterránea.

Se compararon los resultados obtenidos de los análisis con las normas de calidad que exige la Secretaría de Salubridad, resultando un agua de buena calidad para uso doméstico.

Como resultado de la clasificación agrológica de Wilcox, que clasifica el agua según el grado de salinidad y el contenido de sodio, se concluye que 11 muestras de agua pertenecen a la clase C2-S1, 2 a la clase C1-S1 y 1 a la clase C3-S1, que correspondan a agua de buena calidad.

Los resultados se graficaron en diagramas de piper, para clasificar el agua “en familia de agua”, en un plano de los diversos valles del estado de Querétaro, obteniéndose familias de agua sódicas bicarbonatadas, cálcica y magnésica bicarbonatadas.

Con base a los puntos anteriores, se concluye que el agua del valle de Amazcala, es en general de buena calidad para consumo humano, excelente para el abrevadero y apropiada para riego agrícola.

5. CENSO DE APROVECHAMIENTOS

La actualización del censo de aprovechamientos se ha venido realizando a partir del año de 1991 a la fecha a través de Gobierno del Estado y la Comisión Nacional del Agua, en esta actualización se tiene registrados todos los aprovechamientos activos, su clasificación de acuerdo al uso, se cuenta con una red de pozos pilotos, además se lleva la hidrometría subterránea para conocer los volúmenes de extracción y la situación que guardan los pozos.

En este valle se tienen censados 134 aprovechamientos activos, de los cuales 105 corresponden al uso agrícola, abrevadero 11 y 18 pozos se utilizan para uso público-urbano.

6. BALANCE DE AGUA SUBTERRANEA

Se realizó la actualización del balance volumétrico de aguas subterráneas, con el propósito de evaluar las condiciones de funcionamiento del Valle de Amazcala. A la fecha en estas zonas se han localizado nuevas reposiciones de pozos, las cuales se han integrado al funcionamiento del acuífero, de tal forma que se cuenta con una historia de censo de aprovechamientos, hidrometría, piezometría y pruebas de bombeo. La diferencia entre la suma total de las entradas (recarga) y la suma total de las salidas (descarga), representa el volumen de agua perdido o ganado por el almacenamiento del acuífero en el periodo de tiempo establecido. La ecuación general de balance, de acuerdo a la ley de la conservación de la masa es la siguiente:

$$\text{Entradas (E)} - \text{Salidas (S)} = \text{Cambio de almacenamiento}$$

Aplicando esta ecuación al estudio del acuífero, las entradas quedan representadas por la recarga total, las salidas por la descarga total y el cambio de masa por el cambio de almacenamiento:

$$\text{Recarga total} - \text{Descarga total} = \text{Cambio de almacenamiento}$$

La ecuación de balance considerada para el acuífero Valle de Amazcala es de la siguiente forma:

$$E - S = \Delta V * S$$

donde:

E = entradas totales al sistema

S = salidas totales del sistema

ΔV = cambio de almacenamiento

S = coeficiente de almacenamiento

La ecuación anterior expresa la diferencia entre los volúmenes de recarga y descarga para un sistema acuífero y equivale al cambio en el volumen de almacenamiento para un periodo de tiempo determinado.

A continuación, se hace una descripción de los términos que involucran a las entradas totales al sistema, se expresan por la siguiente fórmula:

$$E = E_s + R_{rp} + R_{rs} + R_v$$

donde:

E_s = entradas subterráneas

R_{rp} = retornos de riego por bombeo

R_{rs} = retorno riego agua superficial

R_v = Recarga vertical

Los términos que involucran a las salidas totales del sistema, se expresan por la siguiente fórmula:

$$S = B + S_s$$

Donde:

B = extracción por bombeo de pozos

S_s = salidas subterráneas

Almacenamiento del sistema

$$\Delta V * S$$

$\pm \Delta V$ = cambio de almacenamiento

$\pm S$ = coeficiente de almacenamiento

De esta forma involucrando todos los términos mencionados anteriormente en la ecuación general de balance se tiene:

$$(E_s + R_v + R_{rp} + R_{rs}) - (B + S_s) = \pm \Delta V * S$$

En la ecuación anterior el coeficiente de almacenamiento es un dato obtenido en el estudio de 1992 realizado por Guysa S.A.

Entradas y salidas subterráneas

Para el cálculo de las entradas subterráneas horizontales del sistema se utilizaron las configuraciones de elevación del nivel estático correspondientes a los años 1970, 1976, 1980, 1982, 1990, 1993 y 1996.

De esta forma se ubicaron las direcciones preferenciales de flujo subterráneo y los gradientes entre las curvas equipotenciales.

Se obtuvieron a través de pruebas de bombeo los valores de transmisividad en pozos cercanos a los canales con el fin de poder aplicar la ecuación de Darcy para el cálculo de los volúmenes de agua a través de estos canales.

Retornos de riego por pozo:

En vista que el 87% del volumen de extracción de agua subterránea se utiliza para riego agrícola en el valle, se hizo el cálculo de los retornos por riego utilizando la metodología propuesta en el estudio geohidrológico de 1995 elaborado por la empresa Guysa S.A.

El Distrito de Desarrollo Rural 122 perteneciente al distrito de Querétaro proporciono a esta compañía una tabla con valores de lámina neta, lámina bruta y uso consuntivo para diversos tipos de cultivos en la zona, además de las superficies totales destinadas para el riego en su ciclo agrícola correspondientes a 1995 y el cual fue transferido para el periodo de 1996.

Los volúmenes de retorno se calcularon a partir de la lámina neta menos el uso consuntivo, multiplicada a su vez por el área de riego de esta forma se obtuvo un volumen de retorno para el periodo de enero a diciembre en todo el valle de Amazcala.

Retornos por riego de agua superficial

Dentro de la zona de balance se conoce que la superficie regada con agua superficial asciende a 610 hectáreas, donde los cultivos principales son frijol y maíz; el volumen derivado de la presa

El Carmen anualmente es de 4,270,000 metros cúbicos para cubrir la superficie agrícola.

Se calculó el uso consuntivo para cada tipo de planta y extrapolando para el área descrita se obtiene una lámina de uso consuntivo, finalmente se obtiene la diferencia entre la lámina bruta y el uso consuntivo obteniendo con esto un volumen susceptible de infiltrarse.

Extracción por bombeo

El volumen de extracción por bombeo se toma de la hidrometría subterránea correspondiente a los estudios sobre Actualización Geohidrológica de los Acuíferos del estado de Querétaro de 1994 a 1996 realizado por la empresa GUYSA por considerar que cubren la totalidad del valle.

Volúmenes de extracción por bombeo en la zona de balance para 1996

Uso	Volumen (hm ³)
Agrícola	48.0
Abrevadero	0.8
Público-Urbano	6.2
TOTAL	55.0

Cambio de Almacenamiento

Para el cálculo del cambio de almacenamiento se utilizó la configuración de la evolución del nivel estático para el periodo diciembre de 1996 a diciembre de 1997.

Coeficiente de almacenamiento. El valor del coeficiente de almacenamiento considerado para la ecuación de balance, es el mismo que se usó en el estudio de 1992 por Guysa S. A. su valor es de 0.078.

Solución de la ecuación de balance

Una vez definidos los términos de la ecuación se procedió a dar solución a la ecuación de balance considerando que esta se aplica para el periodo de diciembre de 1995 a diciembre de 1996 con un tiempo de duración de un año.

Si aplicamos la solución de balance para el año de 1997, se tiene:

$$\begin{aligned} E_s &= 5.2 \text{ hm}^3 \\ S_s &= 2.8 \text{ hm}^3 \\ R_r &= 3.1 \text{ hm}^3 \\ B &= 55.0 \text{ hm}^3 \\ R_v &= 25.7 \text{ hm}^3 \\ A &= 210.0 \text{ km}^2 \end{aligned}$$

De esta forma el valor de entradas y salidas del sistema es igual a:

$$\begin{aligned} & \text{Es+Rr+Rv} \\ E &= 34.0 \text{ hm}^3 \text{ en el periodo} \\ S &= B + S_s \\ S &= 57.8 \text{ hm}^3 \text{ en el periodo} \end{aligned}$$

Los resultados anteriores indican que existe un déficit de -23.82 hm^3 entre la recarga y descarga total del acuífero lo que equivale al 41% de la recarga total y esto representa un abatimiento de 1.84 m al año.

7. DISPONIBILIDAD DE AGUA SUBTERRÁNEA

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

7.1 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 **34.0 $\text{hm}^3/\text{año}$** .

7.2 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 corresponde a las salidas subterráneas que aún presenta el acuífero. **DNC = 2.8 hm³ anuales.**

7.3 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 (REPGA), 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 **53,361,829 m³ anuales**, que reporta el Registro Público de Derechos de Agua (REPGA) de la Subdirección General de Administración del Agua, a la fecha de corte del **30 de diciembre de 2022.**

7.4 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.

$$\begin{aligned} \text{DMA} &= R - \text{DNC} - \text{VEAS} \\ \text{DMA} &= 34.0 - 2.8 - 53.361829 \\ \text{DMA} &= -22.161829 \text{ hm}^3/\text{año.} \end{aligned}$$

El resultado indica que no existe un volumen disponible para otorgar nuevas concesiones; por el contrario el déficit es de **22,161,829 m³ anuales.**