



SUBDIRECCIÓN GENERAL TÉCNICA
GERENCIA DE AGUAS SUBTERRÁNEAS

**ACTUALIZACIÓN DE LA DISPONIBILIDAD MEDIA ANUAL DE
AGUA EN EL ACUÍFERO TOLIMÁN (2207), ESTADO DE
QUERÉTARO**

CIUDAD DE MÉXICO, 2024

Contenido

1. GENERALIDADES.....	2
Antecedentes.....	2
1.1 Localización.....	2
1.2 Situación administrativa del acuífero.....	5
2. FISIOGRAFÍA.....	5
2.1 Provincia fisiográfica.....	5
2.2 Clima.....	5
2.3 Hidrografía.....	5
2.4 Geomorfología.....	5
3. GEOLOGIA.....	6
3.1 Estratigrafía.....	6
4. HIDROGEOLOGIA.....	9
4.1 Piezometría.....	10
4.2 Hidrogeoquímica y calidad del agua subterránea.....	10
5. CENSO DE APROVECHAMIENTOS.....	12
6. BALANCE DE AGUA SUBTERRANEA.....	13
7. DISPONIBILIDAD.....	17
7.1 Recarga total media anual (R).....	18
7.2 Descarga natural comprometida (DNC).....	18
7.3 Volumen de extracción de aguas subterráneas (VEAS).....	18
7.4 Disponibilidad media anual de agua subterránea (DMA).....	19
8. BIBLIOGRAFIA.....	20

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 Tolimán, definido con la clave 2207 por la Comisión Nacional del Agua, se ubica en la porción central del estado de Querétaro, entre las coordenadas geográficas 21° 14' y 20° 40' de latitud norte y 99° 19' y 100° 15' de longitud oeste, cubriendo una superficie de 2,956 km²(Figura 1)

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

ACUIFERO 2207 TOLIMAN							
VERTICE	LONGITUD OESTE			LATITUD NORTE			OBSERVACIONES
	GRADOS	MINUTOS	SEGUNDOS	GRADOS	MINUTOS	SEGUNDOS	
1	99	43	31.3	21	8	43.4	
2	99	41	24.2	21	8	13.0	
3	99	39	40.9	21	7	1.9	
4	99	36	35.5	21	8	0.9	
5	99	33	27.7	21	7	23.9	
6	99	31	1.8	21	5	49.0	
7	99	28	14.9	21	7	21.5	
8	99	25	13.8	21	7	3.4	
9	99	22	11.3	21	8	15.8	
10	99	20	45.0	21	11	18.3	
11	99	19	38.1	21	9	12.9	
12	99	19	45.4	21	7	48.2	DEL 12 AL 13 POR EL LIMITE ESTATAL
13	99	23	39.3	21	4	44.2	
14	99	23	53.7	21	3	16.8	
15	99	23	56.1	21	1	18.1	
16	99	25	16.4	20	59	27.7	
17	99	26	59.6	20	58	44.7	
18	99	28	28.4	20	54	38.2	
19	99	30	37.4	20	53	10.8	
20	99	32	6.3	20	54	23.9	
21	99	35	22.6	20	51	26.2	
22	99	33	43.7	20	47	21.1	
23	99	32	17.7	20	44	52.5	DEL 23 AL 24 POR EL LIMITE ESTATAL
24	99	32	2.4	20	42	21.7	
25	99	33	55.4	20	40	20.3	
26	99	36	38.0	20	41	41.2	
27	99	38	4.7	20	42	45.7	
28	99	39	36.0	20	41	20.7	
29	99	40	58.5	20	43	6.0	
30	99	44	0.8	20	43	27.2	
31	99	47	53.8	20	46	41.4	
32	99	52	41.3	20	44	45.6	
33	99	55	41.4	20	45	1.0	
34	99	56	11.0	20	46	0.8	
35	99	57	58.1	20	45	46.4	
36	100	1	28.7	20	49	40.5	
37	100	6	31.1	20	46	30.0	
38	100	9	23.5	20	46	23.4	
39	100	11	17.8	20	47	43.6	
40	100	11	39.9	20	50	54.2	
41	100	14	16.3	20	52	38.5	
42	100	13	14.1	20	53	26.6	
43	100	12	3.0	20	56	11.9	DEL 43 AL 44 POR EL LIMITE ESTATAL
44	99	45	40.1	21	12	47.2	
45	99	44	29.4	21	11	26.7	
1	99	43	31.3	21	8	43.4	

1.2 Situación administrativa del acuífero

Actualmente no se tienen vedas para el aprovechamiento de agua del subsuelo dentro de este valle, está considerado zona de Libre Alumbramiento suspendido. 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 Tolimán se emplaza dentro de la provincia fisiográfica denominada Sierra Madre Oriental, dentro de la subprovincia Carso Huasteco.

2.2 Clima

El clima de acuerdo con los criterios de Köppen modificados por Enriqueta García, se clasifica en general como seco, dentro del subtipo semicálido, con una precipitación media anual de 407 mm, es decir, la más baja registrada en el territorio del estado de Querétaro; la temperatura media anual varía entre 18° a 20° C.

2.3 Hidrografía

El valle de Tolimán pertenece a la Región Hidrológica N° 26 Cuenca del Río Pánuco.

La corriente superficial más importante es el Río Tolimán que está regulado por la presa La Soledad, sus afluentes principales lo constituyen dos ríos de menor orden que confluyen al cauce principal del río Tolimán, tales como los ríos San Pedro y La Palma, así como de un sin número de arroyos tributarios.

El río Tolimán nace en la porción suroeste del valle, adopta un rumbo hacia el noreste, es afluente del río Extórax y Moctezuma los que pertenecen a la Cuenca Hidrológica N° 26 del Río Pánuco.

2.4 Geomorfología

Las topofomas están indicadas por una serie de cerros y mesas que se encuentran distribuidas de tal forma que dan lugar al valle del Río Tolimán.

La serranía de la porción nororiental está formada por sedimentos del Mesozoico alcanzando elevaciones hasta de 2,200 metros sobre el nivel del mar; las formas generadas por el relieve son de pendientes suaves hasta la parte central del valle.

Esta unidad cubre alrededor del 40% de la zona de estudio y el funcionamiento hidrogeológico que presenta es de una unidad impermeable, pudiendo ser basal, aunque pudiera existir en la parte superior de la unidad una zona alterada con saturación de agua. Algunos autores denominan esta unidad como formación Las Trancas, aflorando en esta zona en dos facies.

CRETÁCICO INFERIOR

Formada por calizas en capas criptocristalinas compactas, revelando oquedades de disolución, algo de pedernal e interestratificaciones de lutitas de coloración rojiza. Se localiza en afloramientos de reducida extensión. Algunos autores han clasificado a esta unidad como formación El Doctor, que en esta porción se presenta en la facie denominada como La Negra. Hidrogeológicamente esta unidad se considera de buena permeabilidad por disolución de la caliza cuando éstas se encuentran saturadas, sin embargo, la posición topográfica impide esta condición restringiéndose únicamente a escurrimientos que en algunas localidades se presentan como manantiales.

TERCIARIO INFERIOR

Unidad compuesta por material clástico continental producto de desintegración de las unidades descritas anteriormente por ello se encuentra cubriéndolas en forma discordante.

A estos afloramientos se les asignó una edad de terciario inferior porque se encuentran cubriendo a las unidades mesozoicas y a su vez son cubiertas por derrames ácidos de rocas volcánicas.

Ya que esta unidad está formada por dos tipos de rocas según su origen, el funcionamiento hidrogeológico también está dividido, por un lado, las rocas procedentes de lutitas dan origen a depósitos arcillosos con permeabilidad baja en tanto que las rocas originadas por calizas podrían considerarse con permeabilidad media dependiendo de otros factores tales como recarga, posición topográfica etc.

TERCIARIO SUPERIOR

Con análisis geológicos realizados en proyectos anteriores por la empresa GUYSA 1993, se llegó a la conclusión que las rocas de naturaleza ácida del área pueden ser bien diferenciadas en dos paquetes.

Por sus aspectos litológicos, por la posición estratigráfica y por el funcionamiento hidrogeológico, estos paquetes se diferenciaron en Ignimbrita Zamorano miembro inferior e Ignimbrita Zamorano miembro superior.

Ignimbrita Zamorano miembro inferior Cubriendo en forma discordante a las rocas mesozoicas marinas y a los sedimentarios continentales sobre todo en la porción occidental, se presenta una alternancia en su mayoría de tobas vítreas de caída libre ampliamente distribuida, con intercalación de tobas vitrocrystalinas en menor escala, con algunos horizontes pumíticos blanquecinos de grano fino con cierta piroconsolidación de estructura masiva fluidal; presenta oquedades producto del escape de gases. La distribución de esta unidad en la zona de estudio es en la porción occidental.

El comportamiento hidrogeológico indica baja a nula permeabilidad. Esta unidad se presenta en el estudio geohidrológico de San Juan del Río, (GUYSA, 1992), como Ignimbrita Sierra de En medio, ya que se correlacionan tanto en tiempo geológico como en litología.

Ignimbrita Zamorano miembro Superior. Se localiza en la porción norte del estudio entre las localidades de Mesa de Ramírez y El Madroño, formando afloramientos de pequeña extensión. Es bastante clara su distinción de otros grupos de rocas por sus direcciones de flujo que forman mesetas arqueadas y por los cantiles casi verticales, así como por la superficie casi plana, formando planchas con fracturas que en superficie forman polígonos de 4 a 6 lados.

Presenta un grado de mayor piroconsolidación de abundantes fenocristales de cuarzo y vidrio en matriz microcrystalina en ocasiones criptocrystalina con líneas de fluidez y fragmentos de rocas de naturaleza intermedia.

Hidrogeológicamente se considera a esta unidad con permeabilidad por fracturamiento dependiendo del grado de ruptura, funcionando únicamente como unidad transmisora con nula capacidad de almacenamiento.

Paquete de Tobas de caída libre limoarenosas y vítreas de coloración amarillo claro, que fragmentos subangulosos de pómez, fragmentos y roca y vidrio. Se encuentra distribuida al occidente de Tolimán formando afloramientos de pequeña extensión, así como de espesor variable.

Esta unidad guarda semejanza con la ignimbrita del miembro inferior del Zamorano por lo que se descarta su asociación. La permeabilidad varía de acuerdo a la cantidad de pómez y vidrio por ello se considera de media a baja.

Andesitas localizadas en afloramientos de poca extensión al sureste de San Pablo Tolimán, y al oriente (cerros Tesi, Malavates y Fronton). Están formadas por lavas de naturaleza química intermedia color gris, afanítica con apariencia basáltica, morfológicamente en mesas. El comportamiento hidrogeológico está regulado por el grado de fracturamiento, es decir si es abierto se considera permeabilidad secundaria y como zona de infiltración, de lo contrario es un macizo impermeable. De acuerdo con la posición estratigráfica se correlaciona esta unidad con la denominada Andesita Mesa Redonda.

SISTEMA CUATERNARIO

Basaltos localizados al sur de Tolimán en pequeños afloramientos aislados como derrames con fracturamiento intenso. Por esto último, esta unidad funciona como transmisora de agua a las unidades que le subyace, pero desde el punto de vista geohidrológico, estos derrames son de poco interés por su reducida extensión.

Depósitos Aluviales. Conforman el valle de Tolimán, y se localizan en los cauces de los principales arroyos y ríos de la zona.

Consiste en depósitos de gravas, arenas, limos y arcillas, bien clasificados que en el cauce de los ríos llega a tener un espesor hasta de 20 metros. En esta unidad se localiza la principal zona de extracción de agua subterránea, con niveles de saturación someros (5 metros en promedio).

4. HIDROGEOLOGIA

Dentro de la zona Geohidrológica de Tolimán 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

Se cuenta con información de 1980 sobre la medición de niveles de saturación, hacia el norte donde se localiza la confluencia de los ríos San Pedro y Tolimán, quedan ubicados los menores valores de profundidad donde se halla el nivel de saturación (5 m), en tanto que las mayores profundidades se localizan en la porción sur entre las localidades de Buenavista y los Pada, con valores aproximados a los 50 m.

De acuerdo con las elevaciones del nivel estático referido al nivel del medio del mar, se concluye que existe un sentido general de flujo de agua subterránea de sur a norte, el cual coincide con la red de escurrimientos superficiales, cuyo colector principal es el cauce del río San Pedro. El gradiente hidráulico coincide con el topográfico, (0.018).

De acuerdo con el análisis realizado y tomando en cuenta la información recopilada se establece que la profundidad del nivel estático no ha evolucionado en forma importante desde 1980, tal y como lo demuestran los pozos 1148 y 1149 con niveles de 35.86 y 11.51 metros respectivamente.

Para el pozo 1148 no existió una evolución de su nivel, por el contrario, reportó 65 centímetros de recuperación, y por lo que toca al 1149 el dato reportado es exactamente el mismo de 11.51 metros de profundidad al nivel estático.

Se puede concluir, que, aunque el almacenamiento es muy limitado se ha mantenido en las mismas condiciones hasta ahora; por otra parte, no se puede hablar de un acuífero sobreexplotado ya que por lo menos los niveles reflejan un equilibrio hidrodinámico.

De la información disponible, entre 1980 y 1996, no se detectaron decrementos en la profundidad del nivel del agua, debido a que la explotación se realiza preponderantemente por norias equipadas con bombas de baja potencia y en algunos casos por medios manuales, además que la mayoría de los terrenos de cultivo se riegan por medio de agua superficial de la presa La Soledad.

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 isovaciones 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.

De acuerdo a los resultados obtenidos en el periodo nov-dic 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 tomaron muestras de agua en 6 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 con base en 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 a la 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 las muestras de agua corresponden 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 Buenavista en general es de buena calidad para consumo humano, para el abrevadero y apropiada para riego agrícola.

5. CENSO DE APROVECHAMIENTOS

La actualización del censo general de captaciones y la hidrometría subterránea son dos actividades que se realizaron de forma conjunta con el objeto de complementar y retroalimentar las características y condiciones actuales de los pozos localizados en el valle de Tolimán. La actualización del censo general consistió en conocer los cambios y variaciones respecto al número total de aprovechamientos en el valle, considerando como principales a: la situación de obra, uso y por último localizar las nuevas captaciones perforadas recientemente. La hidrometría subterránea consistió en visitar en una o más ocasiones, las captaciones activas que se localizan en el valle y determinar su situación de obra, las variaciones o cambios con respecto a la hidrometría de 1980, el régimen de extracción o tiempo de bombeo, el número total de medidores volumétricos instalados, el tipo de cultivo y superficie de riego de los pozos de uso agrícola.

La actualización del censo de aprovechamientos se realizó en el año de 1996 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.

Es posible concluir que de 1980 a 1996 existió un incremento de casi tres veces el número de captaciones localizadas.

De ellas el mayor incremento se debe a las norias, lo que sugiere que en la zona se mantiene aún esta forma de explotación del acuífero; por otra parte, el número de pozos profundos únicamente aumentó el 20%.

En este valle se tienen censados 64 aprovechamientos, de las cuales 37 corresponden a pozos profundos, 22 son norias y 4 manantiales. De estas captaciones se encuentran activas: 15 pozos profundos, 16 norias y 4 manantiales.

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 Tolimán.

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 un historial muy completo del censo de aprovechamientos, hidrometría y piezometría.

Para poder determinar el valor de ciertos parámetros desconocidos que intervienen en el funcionamiento de un acuífero, es necesario plantear una ecuación que relacione los cambios que ocurren en él, la cual puede expresarse de la siguiente manera:

La diferencia entre los volúmenes de recarga y descarga de un acuífero en un período de tiempo determinado, es igual al cambio del almacenamiento experimentado por el acuífero en ese mismo intervalo de tiempo.

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:

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

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:

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

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

$$E - S = AV * S$$

Donde:

E = entradas totales al sistema

S = salidas totales del sistema

AV = 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 formula:

$$E = Es + Rr + Rv$$

Donde:

Es = entradas subterráneas

Rr = retornos riego

Rv = Recarga vertical

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

$$S = B + Ss + Evp$$

Donde:

B = extracción por bombeo de pozos

Ss = salidas subterráneas

Evp = evapotranspiración

Almacenamiento del sistema

$$AV * S$$

± AV = cambio de almacenamiento

± S = coeficiente de almacenamiento

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

$$(Es + Rv + Rr) - (B + Ss + Evp) = \pm Av * s$$

Entradas y salidas subterráneas

Todos estos componentes fueron medidos o calculados por métodos empíricos para un área de 89 km² donde se contó con mayor información recopilada durante los trabajos de campo y gabinete; la recarga vertical se calculó por medio del coeficiente de infiltración.

De acuerdo con el análisis realizado y tomando en cuenta la información recopilada del estudio de la empresa ITSA de 1980 y del estudio realizado por la empresa GUYSA de 1996, se establece que la profundidad del nivel estático no ha evolucionado en forma importante desde 1980.

El gradiente hidráulico coincide con el topográfico, (0.018)

Por simple análisis y comparación con el esquema de funcionamiento hidráulico de 1980, la dirección de flujo subterráneo se conserva de norte a sur y de poniente a oriente, y también se puede concluir que los principales factores de recarga del acuífero son la infiltración por lluvia y retornos de riego.

Retornos de riego:

Como otra actividad adicional a los trabajos de actualización que desarrolló la empresa GUYSA se obtuvo información sobre los principales cultivos y hectáreas de riego de los pozos y del agua de la presa La Soledad destinados para uso agrícola, ya que este sector ocupa el primer lugar de las actividades que se desarrollan en el estado y además es el que demanda un mayor volumen de extracción de agua subterránea respecto a los otros usos.

De la información recopilada se hizo un análisis de los principales cultivos y superficies totales de riego, correspondientes al ciclo primavera- verano y otoño – invierno de 1995

El retorno por riego (infiltración por riego) es el volumen de agua que recibe el acuífero derivado de prácticas de riego, y se obtiene afectando el volumen aplicado en riego por un coeficiente de infiltración, o sea:

$$I_r = Vol_r (C_i)$$

En donde:

I_r = Volumen de infiltración por riego

Vol_r = Volumen de riego

C_i = Coeficiente de infiltración

De acuerdo al inventario de censo de campo en el acuífero existen 34 aprovechamientos subterráneos que extraen un volumen de 2,420,000 m³, de los cuales 1,730,000 m³ se utiliza para uso agrícola. Aunado a lo anterior existe un aprovechamiento de agua superficial que riega una superficie de 514 hectáreas con un volumen anual de 7,400,000 m³ para uso agrícola.

Por lo tanto, el volumen total utilizado en riego es:

$$Vol_r = 1.73 + 7.40 = 9.13 \text{ hm}^3$$

Por lo general la agricultura se practica en zona de rellenos aluviales, a los que se le da un coeficiente o infiltración del 20%.

Por consiguiente, el volumen infiltrado por riego será:

$$I_r = 9.13 \times 0.2 = 1.82 \text{ hm}^3$$

Extracción por bombeo

El volumen de extracción por bombeo se toma de la hidrometría subterránea correspondiente a los estudios sobre Prospección Geohidrológica en algunas localidades del área del municipio de Tolimán Querétaro de septiembre de 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	1.7
Pecuario	0.021
Público-Urbano	0.7
TOTAL	2.4

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 1993 a diciembre de 1994 con un tiempo de duración de un año.

Si aplicamos la solución de balance para el año de 1995, se tiene:

$$\begin{aligned} E_s &= 2.0 \text{ hm}^3 \\ E_{vp} &= 1.4 \text{ hm}^3 \\ S_s &= 2.9 \text{ hm}^3 \\ R_r &= 1.8 \text{ hm}^3 \\ B &= 2.4 \text{ hm}^3 \\ R_v &= 4.6 \text{ hm}^3 \\ A &= 89.0 \text{ km}^2 \end{aligned}$$

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

$$\begin{aligned} E &= E_s + R_r + R_v \\ E &= 8.4 \text{ hm}^3 \text{ en el periodo} \\ S &= B + S_s + E_{vp} \\ S &= 6.71 \text{ hm}^3 \text{ en el periodo} \end{aligned}$$

7. 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:

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

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 **8.4 hm³/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 es de **2.9 hm³ anuales**, que corresponde a las salidas subterráneas que aún presenta el acuífero.

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 **10,436,470 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.

$$\begin{aligned} \text{DMA} &= R - \text{DNC} - \text{VEAS} \\ \text{DMA} &= 8.4 - 2.9 - 10.436470 \\ \text{DMA} &= -4.936470 \text{ hm}^3/\text{año.} \end{aligned}$$

El resultado indica que no existe un volumen disponible para otorgar nuevas concesiones; por el contrario el déficit es de **4,936,470 m³ anuales**.

8. BIBLIOGRAFIA

Estudio Geohidrológico de los Valles de Querétaro. INSISA 1970