



SUBDIRECCIÓN GENERAL TÉCNICA

GERENCIA DE AGUAS SUBTERRÁNEAS

**ACTUALIZACIÓN DE LA DISPONIBILIDAD MEDIA ANUAL DE
AGUA EN EL ACUÍFERO JIMÉNEZ-CAMARGO (0832), ESTADO
DE CHIHUAHUA**

CIUDAD DE MÉXICO, 2024

Contenido

1	GENERALIDADES.....	2
	Antecedentes.....	2
1.1	Localización.....	2
1.2	Situación administrativa del acuífero.....	4
2	FISIOGRAFÍA.....	5
2.1	Provincia fisiográfica.....	5
2.2	Clima.....	6
2.3	Hidrografía.....	7
2.4	Geomorfología.....	7
3	GEOLOGÍA.....	8
3.1	Estratigrafía.....	8
3.2	Geología estructural.....	11
3.3	Geología del subsuelo.....	12
4	HIDROGEOLOGÍA.....	13
4.1	Tipo de acuífero.....	13
5	BALANCE DE AGUAS SUBTERRÁNEAS.....	14
5.1	Entradas.....	14
5.1.1	Recarga vertical (Rv).....	14
5.2	Salidas.....	20
5.2.1	Bombeo (B).....	20
6	DISPONIBILIDAD.....	21
6.1	Recarga total media anual (R).....	21
6.2	Descarga natural comprometida (DNC).....	21
6.3	Volumen de extracción de aguas subterráneas (VEAS).....	22
6.4	Disponibilidad media anual de agua subterránea (DMA).....	22
7	BIBLIOGRAFÍA.....	23

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 Jiménez-Camargo, definido con la clave 0832 en la CONAGUA, se localiza en la porción sur del estado de Chihuahua, entre las coordenadas geográficas 26° 29' y 27° 46' de latitud norte, y 104° 33' y 105° 43' de longitud oeste, cubriendo una superficie de 9948.39 km².

Limita al oeste con Parral-Valle del Verano y Valle de Zaragoza; al norte con Meoqui-Delicias y Llano de Gigantes, al noreste con Las Pampas y al este con Escalón, todos

ellos del estado Chihuahua y al sur con los acuíferos San Fermín, Torreón de Cañas y Cabrería-Ocampo de Durango (figura 1).

Geopolíticamente se localiza en los municipios de San Francisco de Conchos, Camargo, Allende, Jiménez, López, Coronado y Matamoros todos pertenecientes al estado de Chihuahua.

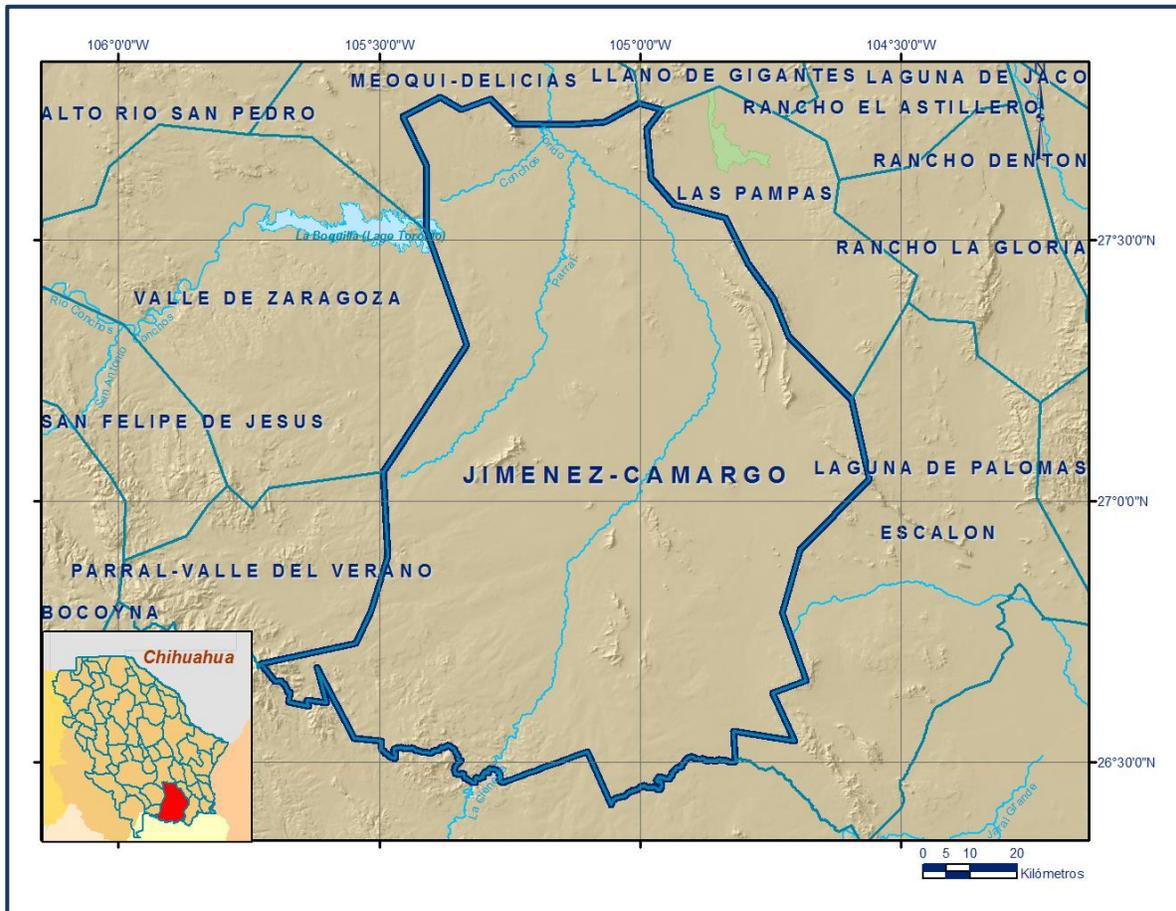


Figura 1. Localización del acuífero

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

Tabla 1. Coordenadas de la poligonal simplificada del acuífero

ACUIFERO 0832 JIMENEZ-CAMARGO							
VERTICE	LONGITUD OESTE			LATITUD NORTE			OBSERVACIONES
	GRADOS	MINUTOS	SEGUNDOS	GRADOS	MINUTOS	SEGUNDOS	
1	105	43	39.6	26	41	22.5	
2	105	32	42.2	26	43	45.8	
3	105	30	56.1	26	47	21.5	
4	105	29	4.1	26	53	43.6	
5	105	29	32.0	27	3	20.7	
6	105	19	59.0	27	17	56.0	
7	105	24	34.7	27	31	2.1	
8	105	24	33.3	27	38	25.6	
9	105	27	19.5	27	44	10.5	
10	105	23	2.9	27	46	26.0	
11	105	20	37.2	27	45	1.8	
12	105	17	9.8	27	46	13.7	
13	105	14	30.2	27	43	22.7	
14	105	8	13.7	27	43	14.3	
15	105	4	4.3	27	43	33.6	
16	105	0	14.1	27	45	44.1	
17	104	57	32.6	27	44	57.9	
18	104	59	15.0	27	42	44.1	
19	104	58	43.1	27	37	8.7	
20	104	56	4.3	27	34	7.3	
21	104	50	9.1	27	32	31.1	
22	104	47	41.1	27	27	21.2	
23	104	44	43.0	27	23	15.8	
24	104	42	58.9	27	19	2.5	
25	104	35	41.7	27	11	45.7	
26	104	33	38.1	27	2	32.0	
27	104	41	36.7	26	54	25.1	
28	104	43	42.6	26	47	9.0	
29	104	40	54.4	26	39	25.9	
30	104	44	49.9	26	37	58.7	
31	104	42	13.0	26	32	29.2	
32	104	49	15.5	26	33	38.5	
33	104	49	6.1	26	30	8.9	DEL 33 AL 1 POR EL LIMITE ESTATAL
1	105	43	39.6	26	41	22.5	

1.2 Situación administrativa del acuífero

El acuífero Jiménez-Camargo pertenece al Organismo de Cuenca VI “Río Bravo”, y al Consejo de Cuenca “Río Bravo” instalado el 21 de enero de 1999. La mitad del acuífero se encuentra sujeto a tres disposiciones de veda: en mayor proporción de acuerdo al “Decreto que establece por tiempo indefinido veda para el alumbramiento de aguas subterráneas en la región de Jiménez, que comprende parte de los municipios de Camargo, Jiménez, Villa López, Allende, Zaragoza y San Francisco de Conchos del Estado de C.”, publicado en el DOF el 12 de julio de 1951, a través del cual, en dicha porción del acuífero, las zonas de veda en las que la capacidad de los mantos acuíferos permite extracciones limitadas para usos domésticos, industriales, de riego y otros. (veda del tipo III). De igual manera está sujeto en menor proporción al “Decreto por el

que se establece veda para el alumbramiento de aguas del subsuelo en la Región Lagunera”, publicado en el DOF el 17 de abril de 1965 (veda del tipo III), zonas de veda en las que la capacidad de los mantos acuíferos permite extracciones limitadas para usos domésticos, industriales, de riego y otros y por ultimo al “Decreto que establece veda, por tiempo indefinido, para el alumbramiento de aguas del subsuelo en la zona de Delicias, Chih.” publicado en el DOF el 16 de julio de 1962 (veda del tipo III), zonas de veda en las que la capacidad de los mantos acuíferos permite extracciones limitadas para usos domésticos, industriales, de riego y otros

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

De acuerdo con la clasificación fisiográfica de Erwin Raisz (1964), el área que cubre el acuífero se ubica en la confluencia de dos provincias fisiográficas: la mayor parte se localiza en la provincia fisiográfica Sierras y Llanuras del Norte y en menor proporción en la provincia fisiográfica Sierra Madre Occidental. Por otra parte, según la regionalización fisiográfica del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI, 1989), el acuífero se localiza en las subprovincias: Bolsón de Mapimi en mayor proporción, Llanuras y Sierras Volcánicas al norte del acuífero y en Sierras y Llanuras de Durango al sur de este.

La provincia de Sierras y Llanuras del Norte es una provincia árida y semiárida se extiende desde el suroeste de los Estados Unidos de América hasta cerca de Nazas de Durango y la Laguna de Mayrán en Coahuila, se orienta más o menos noroeste-sursureste y abarca parte de los estados de Durango, Sonora, Chihuahua y Coahuila.

La provincia de la Sierra Madre Occidental está situada en la parte oriental del estado de Sinaloa, tiene una anchura media de 30 a 50 km; el promedio de elevación en esta región varía de 2,000 a 2,700 msnm; se caracteriza por su constitución ígnea. Los rasgos fisiográficos más importantes de esta provincia se encuentran representados por las subprovincias que a continuación se mencionan: Altas mesetas riolíticas: Incluye un área bastante extensa y tiene grandes elevaciones, presentan ondulaciones e inclinaciones preferentemente al occidente. La mayor parte de estas mesetas están formadas por derrames piroclásticos de composición riolítica, con una topografía

escabrosa debido al gran número de cañones que la disectan. Sierras sepultadas: Se extiende a lo largo de las costas de Sonora, Sinaloa y Nayarit, con una dirección NW-SE. Los acarrees provenientes del flanco oeste de la Sierra Madre Occidental sepultan gran parte de la región montañosa del borde occidental, de tal manera que solamente las cimas y picos de las cordilleras sobresalen como cerros aislados. Estas se localizan entre las altas mesetas riolíticas y la planicie costera, son montañas sepultadas parcialmente y adquieren hacia al oriente elevaciones del orden de 150 m. Las rocas de esta franja son jóvenes, ya que es fácil reconocer sobre las lavas los centros de los focos de erupción y sus formas bien conservadas.

La subprovincia Bolsón de Mapimí está constituida por extensas llanuras aluviales o salinas, con lomeríos ramificados, sierras plegadas y campos de dunas. En las llanuras dominan suelos profundos de origen aluvial o lacustre, de textura media o fina.

La subprovincia de Sierras y Llanuras de Durango es una franja angosta y alargada que forma parte de los costados orientales de la Sierra Madre Occidental, desde Cuauhtémoc en Chihuahua hasta Sombrerete en Zacatecas. Está representada por llanuras amplias y una manifestación importante de mesetas, constituidas principalmente por riolitas e ignimbritas. La Gran Meseta y Cañones Duranguenses está formada por rocas de tipo ígnea extrusiva ácida y formada principalmente por mesetas de gran superficie con cañadas y de sierra alta con cañones. En el acuífero presenta las principales elevaciones topográficas cuya elevación varía de 2500 a 2900 msnm; su principal rasgo son las grandes mesetas limitadas por abruptos y enormes acantilados. Las características especiales de estas subprovincias son su elevación sobre el nivel medio del mar y el gran número y extensión de sus hermosos y fértiles valles, separados uno de otros por altas barreras montañosas.

2.2 Clima

De acuerdo con la clasificación de Köppen modificada por Enriqueta García en 1964, para las condiciones de la República Mexicana, en la mayor superficie del acuífero prevalece tres tipos de clima: semiárido (BS1kw) templado, temperatura media anual entre 12°C y 18°C, temperatura del mes más frío entre -3°C y 18°C, temperatura del mes más caliente menor de 22°C, con lluvias de verano y porcentaje de lluvia invernal del 5% al 10.2% del total anual; clima árido, templado (BS0kw) con temperatura media anual entre 12°C y 18°C, temperatura del mes más frío entre -3°C y 18°C y lluvias de verano, porcentaje de lluvia invernal entre 5% y 10.2% del total anual y clima árido,

semicálido (BSohw), temperatura entre 18°C y 22°C, temperatura del mes más frío menor de 18°C, temperatura del mes más caliente mayor de 22°C.

Para la determinación de las variables climatológicas se cuenta con información de 7 estaciones climatológicas con influencia en el área del acuífero y con datos utilizables: Villa López, Villa Coronado, San Gabriel, Presa Torreoncillos, Parral, Escalón y Colina, cuyo registro comprende el periodo 1991-2011. Con estos datos y utilizando el método de Polígonos de Thiessen, se determinaron valores de precipitación y temperatura media anual de **350 mm** y **19.8 °C**, respectivamente.

2.3 Hidrografía

El acuífero pertenece a la Región Hidrológica No. 24 “Bravo-Conchos”. Correspondiente a la cuenca R. Florido 3, R. Conchos 2 y Río Parral, en menor área pertenece a Arroyo La India-Laguna Palomas, Río Conchos 1 y El Llano-Laguna del Milagro. Se considera la región hidrológica de mayor relevancia ya que incluye al Río Conchos como la corriente más importante del estado.

Los escurrimientos de los arroyos no son perennes, únicamente en temporada de lluvias conducen aguas pluviales. Destacan tres corrientes fluviales: Parral, Florido y Conchos.

2.4 Geomorfología

De acuerdo con la clasificación de las provincias fisiográficas, la zona de estudio se encuentra ubicada dentro de la Provincia Fisiográfica de Sierras y Llanuras del Norte, caracterizada como Bolsón de Mapimí, que está constituida por extensas llanuras aluviales o salinas, con lomeríos ramificados, sierras plegadas y campos de dunas.

El relieve se caracteriza por presentar sierra aisladas, angostas y alargada en sentido NE-SW como la Sierra Almoloya, otras en sentido NW-SE al norte del acuífero y lomeríos suavemente ondulados, con valles intermontanos y desniveles máximos de 700 m. La elevación mínima corresponde a 1200 msnm en el norte del acuífero, y la máxima al suroeste 1900 msnm. Existe en el paisaje sierras plegadas que se encuentran enclavadas en una extensa planicie. Estas sierras son bajas y estrechas, con valles intermontanos. La zona de la planicie, donde es común la acumulación de aluviones, presenta taludes que forman pie del monte.

CRETÁCICO

Grupo Mezcalera (KvapCz-Lu)

Esta unidad tiene los afloramientos más ampliamente distribuidos en la porción central del acuífero, con afloramientos locales en la parte norte y noreste del mismo. Está constituida por una intercalación heterolítica de caliza y lutita, con cambios laterales de facies a una intercalación de arenisca y lutita. La edad de esta unidad se considera del Neocomiano Aptiano. Sobreyaciendo discordantemente a la Formación Mezcalera se presenta una secuencia calcárea de edad Albiano. En la Cuenca Mesozoica se lleva a cabo un cambio de facies con la Formación Taraises, la cual consiste en una secuencia de calizas y lutitas. Sobreyaciendo discordantemente a esta formación, se presenta la Formación Caracol, la cual consiste en una secuencia de areniscas y lutitas. Durante el Cretácico Superior, se presenta una intrusión de un cuerpo de composición diorítica a granodiorítica, que afecta a las unidades descritas. Esta secuencia no aflora en la región cubierta por este acuífero.

Formación Aurora

El nombre Formación Aurora fue propuesto por Burrows (1910) para aquellas rocas que afloran en la porción noreste del estado de Chihuahua, que están constituidas por capas gruesas de calizas fosilíferas, que presentan abundantes nódulos de pedernal. Está constituida por calizas de estratificación media a gruesa con diversos desarrollos arrecifales y algunos horizontes de calcarenitas. Presenta una coloración de tonalidad gris a oscura, escasos nódulos de pedernal y hematita hacia la cima. Presenta fracturamiento general que varía de moderado a intenso, estructuralmente forma pliegues anticlinales cuyo eje se orienta al noroeste-sureste y echados suaves más o menos uniformes.

EOCENO- OLIGOCENO

Formación Ahuichila

Definida formalmente por Rogers (1981), en los afloramientos expuestos en el "Frontón de Ahuichila", ubicado en el límite donde convergen los estados de Durango, Coahuila y Zacatecas, está constituida por depósitos clásticos de origen continental (conglomerados y brechas) conformados por fragmentos de caliza, calcarenitas, calculadita y de rocas volcánicas, con matriz calcárea y limolítica, que se presentan en bancos gruesos y masivos; de colores que varían de gris al rojizo. Debido a su posición estratigráfica y su origen, el cual se relaciona con los primeros depósitos de características continentales, formados como consecuencia de la emersión del

continente generada por la Orogenia Laramie, su edad se considera del Eoceno-Oligoceno.

Grupo Carpintero (Tolg-TR)

Esta unidad fue definida por Swanson et al. (1978) en la localidad del arroyo del Carpintero, ubicado al NW de la ciudad de Durango, relacionándolo con la Formación de la Caldera de Chupaderos. Consiste en las Formaciones El Águila, Cacaria y Santuario, además de una serie de domos y estructuras tipo plugs latíticos, traquíticos y riolíticos, rocas volcánicas ácidas como tobas riolíticas, riolitas, brechas riolíticas e Ignimbritas. La edad de esta unidad es del Oligoceno Medio, a partir de datación radiométrica por el método K-Ar de 28.3 a 31.4 Ma.

Formación Metates (TmB)

Definida como unidad informal por Córdoba (1963) en las inmediaciones del poblado de Metates en el km 20 de la carretera Durango-Mazatlán. Litológicamente está constituido por basaltos alcalinos caracterizados por un color gris oscuro a pardo rojizo, textura vesicular a amigdaloidal con relleno de calcita y olivino. Las edades reportadas para estos basaltos se tienen entre 11.7 Ma y 12.6 Ma, ubicándolos en el Mioceno.

PLIOCENO

Formación Santa Inés, Conglomerado polimíctico (Tm Cgp)

Consiste de una matriz arenosa con clastos de roca volcánica ácida subredondeados a subangulosos del tamaño de guijas finas a cantos medianos, que varía de no consolidado a bien cementado. La litología consta de fragmentos líticos de rocas volcánicas ácidas como tobas riolíticas, riolitas, brechas riolíticas e ignimbritas con un grado de esfericidad de subredondeado a subanguloso mal clasificados con diámetros variables de 1 a 40 cm semicompactos a cementados en una matriz arenosa. En los afloramientos se tiene un espesor de 20 a 200 m y en la región se encuentra cubriendo discordantemente a las formaciones Mezcalera, Baluarte, Grupo Registro, Grupo Carpintero, Grupo Río Chico y Formación Metates; mientras que infrayace concordantemente a los basaltos Guadiana.

CUATERNARIO

Depósitos lacustres (Qhola)

Constituyen una alternancia de arenas finas, limos y arcillas con laminaciones

delgadas de 0.5 a 2 cm de espesor, semicompactados, con algunos horizontes de sales y carbonatos acumulados. Este material se ha formado a partir de la erosión de las rocas volcánicas con su transporte y depósito hacia grandes valles. Se le ha asignado una edad del Holoceno.

Aluvión

Sedimentos cuaternarios transportados por corrientes fluviales de ríos y arroyos que drenan toda el área. Esta unidad queda restringida a las márgenes y lechos de ríos y arroyos. Constituida por gravas, arenas, arcillas y limos no consolidados, mal clasificados, de composición variada, observándose principalmente clastos arredondados de tobas, riolitas, basaltos, conglomerados y ocasionalmente rodados de la Formación Mezcalera. Son el producto de la erosión y arrastre de las unidades preexistentes, por efecto de los ríos y arroyos en un ambiente continental.

3.2 Geología estructural

Se han determinado varios lineamientos que reflejan rasgos morfoestructurales del relieve, siendo los más importantes los de los ríos Florido, Primero y La Chona entre otros, presentan una orientación NE-SW, las dimensiones son de 15 km de longitud y en el caso del lineamiento Rio Florido es de 25 km, en especial estos lineamientos se interpretan como el reflejo del evento tectónico distensivo, con fallamiento normal que estructura el sistema de Cuencas y Sierras de Chihuahua y que son cubiertos por grandes depósitos de molasa continental. Las estructuras que se ubican en las inmediaciones de los cerros Peñoles y Colorado están representadas por un sistema de fallas de tipo lateral izquierda principalmente de orientación en general NW-SE, que afectan a la unidad de granito del Eoceno y a la Formación Indidura, principalmente y en menor proporción a la diorita; sobre la traza de las fallas se tienen horizontes de pizarras con facies de esquistos verde, evidenciando un metamorfismo regional de bajo grado.

La tectónica regional se asocia a la evolución geodinámica del Mar Mexicano cuyas rocas más antiguas son del Carbonífero tardío; a esta secuencia metamórfica le sobreyace, discordantemente conglomerado polimícticos de fragmentos de roca volcánica y metamórfica, arenisca de cuarzo, derrames de andesita y toba de composición intermedia; le sobreyacen de forma discordante caliza, limolita y arenisca del Jurásico Superior que, en base a la posición estratigráfica, se correlacionan con la Formación La Gloria.

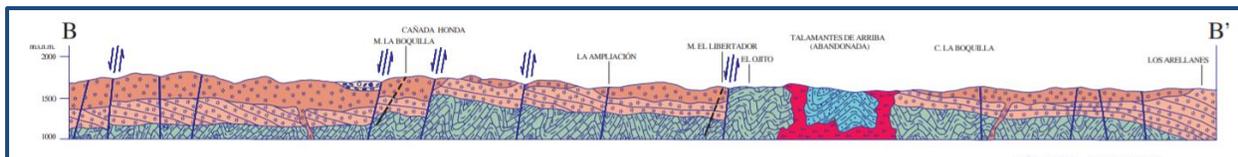
La tectónica extensional se remonta al Oligoceno donde el primer episodio documentado regionalmente sigue inmediatamente el emplazamiento del vulcanismo silícico, cuyo periodo de máxima actividad ocurrió entre 34 y 29 Ma. El Cuaternario se relaciona al relleno de bolsones que actualmente presentan fuertes espesores de conglomerados no consolidados que varían a grava-arena, como producto de la erosión de las rocas pre-existentes formando depósitos de talud y planicie aluvial, hacia los valles depósitos que conforman suelos de limo-arena y por último sobre los ríos Primero y Florido se presentan depósitos de aluvi6n.

3.3 Geología del subsuelo

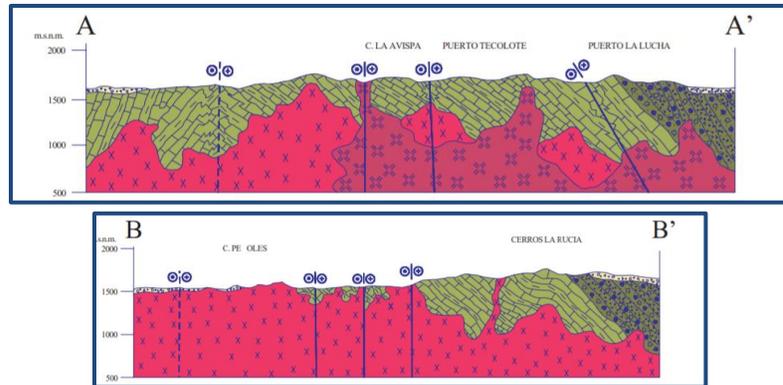
De acuerdo con la informaci6n geol6gica y geofísica recabada tanto en este acuífero como en los vecinos, es posible definir que el acuífero se encuentra alojado, en su porci6n superior, en los sedimentos aluviales de granulometría variable y conglomerados, de permeabilidad media a baja, que constituyen las planicies y los piedemontes.

La porci6n inferior est1 alojada en rocas volc1nicas: basaltos, tobas y riolitas que presentan permeabilidad secundaria por fracturamiento. Las calizas de las formaciones Aurora y Mezcalera, constituyen horizontes acuíferos profundos que no han sido explorados en la zona. Las fronteras al flujo subterráneo y el basamento geohidrol6gico del acuífero est1n representados por las mismas rocas volc1nicas, al desaparecer el fracturamiento (figura 3).

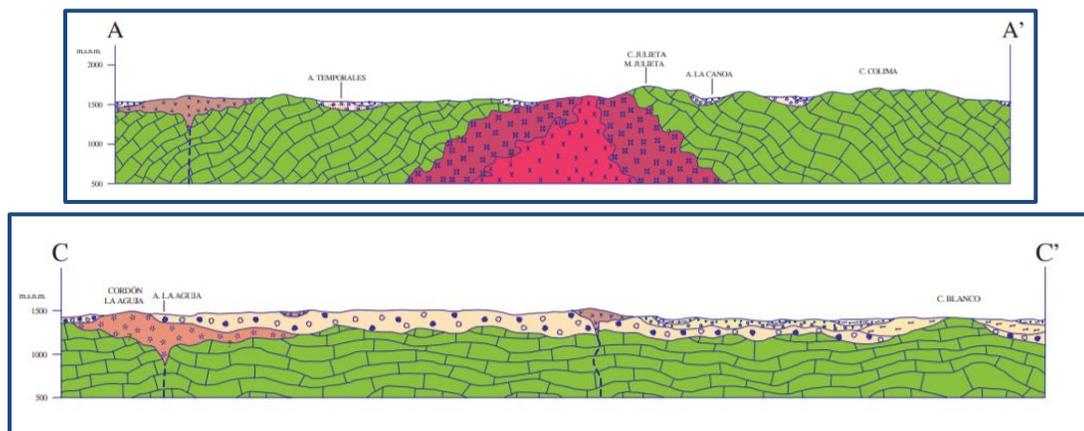
Dichos materiales han permitido la acumulaci6n de agua en el subsuelo, formando un acuífero que se recarga por la infiltraci6n del agua de lluvia desde las sierras constituidas por rocas calizas, basaltos y riolitas, principalmente, y que se almacena en el subsuelo. Salvo los escasos pozos y norias, no se conoce otro tipo de salida o descarga de agua del acuífero.



Fuente: Carta Geol6gica-Minera G13-A58. Valle de Allende. 1:50,000 SGM, 2008



Fuente: Carta Geológica-Minera G13-A59. Pueblito de Allende. 1:50,000 SGM, 2008



Fuente: Carta Geológica-Minera G13-A49. Octaviano López. 1:50,000 SGM, 2008

Figura 3. Secciones geológicas esquemáticas

4 HIDROGEOLOGÍA

4.1 Tipo de acuífero

Las evidencias geológicas, geofísicas e hidrogeológicas permiten definir la presencia de un acuífero de **tipo libre**, constituido en su porción superior, por sedimentos aluviales de granulometría variada y conglomerados, cuyo espesor puede alcanzar varios cientos de metros en el centro de los valles, principalmente los de origen tectónico. La porción inferior puede alojar un acuífero de **tipo confinado a semiconfinado** compuesto por una secuencia de rocas volcánicas entre las que destacan las tobas ácidas, riolitas e ignimbritas, que presentan permeabilidad secundaria por fracturamiento. Así mismo, las rocas calizas representan un acuífero potencial que aún no ha sido explorado y que puede estar confinado por la presencia de lutitas.

5 BALANCE DE AGUAS SUBTERRÁNEAS

No existe información piezométrica actual ni histórica en la superficie que cubre el acuífero. La escasa información disponible, procedente de recorridos de campo, es puntual e inconsistente de tal manera que no es posible extrapolarla para elaborar configuraciones del nivel estático que permitan el planteamiento de un balance de aguas subterráneas.

Por todas estas razones, se optó por plantear un balance hidrometeorológico en la superficie de **9,948.4 km²** del acuífero, para estimar de manera conservadora el volumen de agua susceptible de infiltrarse para recargar al acuífero.

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 con la ley de la conservación de la masa es la siguiente:

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

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 del acuífero:

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

5.1 Entradas

Las entradas al acuífero Jiménez-Camargo están integradas básicamente por la recarga natural que se produce por la infiltración de la lluvia (Rv).

5.1.1 Recarga vertical (Rv)

La recarga vertical total que recibe el acuífero (volumen susceptible de infiltrarse) se obtuvo mediante el planteamiento de un balance hidrometeorológico para toda la superficie del acuífero, mediante la siguiente expresión:

$$V_{LL} = V_{ETR} + V_{ESC} + V_{INF} \quad (1)$$

Donde:

V_{LL} = Volumen de lluvia;

V_{ETR} = Volumen evapotranspirado;

V_{ESC} = Volumen escurrido;

V_{INF} = Volumen infiltrado;

Por lo tanto, despejando el volumen infiltrado, se obtiene lo siguiente:

$$V_{INF} = V_{LL} - V_{ETR} - V_{ESC} \quad (2)$$

El volumen de lluvia que se precipita en la superficie cubierta por el acuífero se obtiene al multiplicar su área (9,948.4 km²) por la lámina de precipitación media anual (350 mm):

$$V_{LL} = 9,948.4 \text{ km}^2 (0.350 \text{ m}) = 3,485.9 \text{ hm}^3 \text{ anuales}$$

Para la estimación de la evapotranspiración real se utilizó la ecuación empírica de Turc, considerando los valores promedio anual de precipitación de 350 mm y temperatura de 19.8°C.

Coutagne propuso la ecuación siguiente para el cálculo de la evapotranspiración real:

COUTAGNE	$ETR = P - \chi P^2$
Donde:	
ETR= Evapotranspiración m/año	
P = precipitación en m/año	
$\chi = 1/(0.8 + 0.14 t)$	
t = temperatura en °C	

La fórmula solo es aplicable para valores de la precipitación media anual (P) comprendidos entre 1/8X y 1/2X, estando ETR y P en metros, y T en °C. Si P es menor que 1/8X la ETR es igual a la precipitación, es decir, no existe escurrimiento; si la precipitación es mayor que 1/2X la ETR es prácticamente independiente de P y su valor está dado por: $ETR = 0.20 + 0.035 T$. Aplicando la fórmula de Coutagne se obtiene una lámina de evapotranspiración real de **316.0 mm anuales**.

Se optó por la estimación conservadora de la infiltración que se obtiene al tomar en cuenta la lámina de evapotranspiración obtenida con la fórmula de Coutagne, que es de 316 mm anuales, que representa el 90.2% de evapotranspiración respecto a la lluvia; por lo que el volumen de la ETR (V_{ETR}) es:

$$V_{ETR} = 9,948.4 \text{ km}^2 (0.316 \text{ m}) = 3,143.7 \text{ hm}^3 \text{ anuales}$$

Para determinar el volumen de escurrimiento debido a la lluvia (V_{ESC}) se utilizó el método establecido en la Norma Oficial Mexicana NOM-011-CONAGUA-2015, publicada en el Diario Oficial de la Federación, con fecha del 27 de marzo de 2015, en la que se señala que para los casos en los que no se cuente con suficiente información para determinar el volumen anual de escurrimiento natural, se puede aplicar el método indirecto denominado precipitación-escurrimiento.

Para determinar el valor de escurrimiento, la normatividad establece la siguiente relación:

$$\text{VOLUMEN ANUAL DE ESCURRIMIENTO NATURAL DE LA CUENCA} = \text{PRECIPITACION ANUAL DE LA CUENCA} * \text{AREA DE LA CUENCA} * \text{COEFICIENTE DE ESCURRIMIENTO}$$

El coeficiente de escurrimiento (C_e) se puede determinar, según la norma antes citada, en función del parámetro K que depende del tipo y uso de suelo, de acuerdo con el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (USCS).

Con apoyo de cartografía del Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, se clasifican los suelos de la cuenca en estudio, de acuerdo con los tres diferentes tipos: A (suelos permeables); B (suelos medianamente permeables); y C (suelos casi impermeables), que se especifican en la tabla 2 y se determina el uso actual del suelo.

En el caso de que, en la cuenca en estudio, existan diferentes tipos y usos de suelo, el valor de K se calcula como la resultante de subdividir la cuenca en zonas homogéneas para obtener el promedio ponderado.

Dependiendo del valor obtenido para K, el coeficiente de escurrimiento (C_e), se calcula mediante las fórmulas siguientes, en la que P es la precipitación media anual

expresada en mm:

Si K resulta menor o igual que 0.15

$$C_e = K (P-250) / 2000$$

Si K es mayor que 0.15

$$C_e = K (P-250) / 2000 + (K - 0.15) / 1.5$$

Donde:

P = Precipitación anual;

C_e = Coeficiente de escurrimiento anual;

K = Parámetro que depende del tipo, uso y cubierta del suelo;

Tabla 2. Valores de k en función del tipo y uso del suelo

USO DE SUELO	TIPO DE SUELO	TIPO DE SUELO	TIPO DE SUELO
	A	B	C
Barbecho, áreas incultas y desnudas	0.26	0.28	0.3
Cultivos:			
En hilera:	0.24	0.27	0.3
Legumbres o rotación de pradera	0.24	0.27	0.3
Granos pequeños	0.24	0.27	0.3
Pastizal:			
% del suelo cubierto o pastoreo			
Más del 75% -poco-	0.14	0.2	0.28
Del 50 al 75% -regular-	0.2	0.24	0.3
Menos del 50% -excesivo-	0.24	0.28	0.3
Bosque:			
Cubierto más del 75%	0.07	0.16	0.24
Cubierto del 50 al 75%	0.12	0.22	0.26
Cubierto del 25 al 50%	0.17	0.26	0.28
Cubierto menos del 25%	0.22	0.28	0.3
Zonas urbanas	0.26	0.29	0.32
Caminos	0.27	0.3	0.33
Pradera permanente	0.18	0.24	0.3
TIPO DE SUELO	CARACTERÍSTICAS		
A	Suelos permeables, tales como arenas profundas y loes poco compactos		
B	Suelos medianamente permeables, tales como arenas de mediana profundidad; loes algo más compactos que los correspondientes a los suelos Tipo A; terrenos migajosos		
C	Suelos casi impermeables, tales como arenas o loes muy delgados sobre una capa impermeable, o bien arcillas		

De acuerdo con la cartografía de CONABIO escala 1:1,000,000 para el tipo de suelo, predominan los tipos: Castañozem, Chernozem, Cuerpos de agua, Feozem, Fluvisol, Litosol, Regosol, Rendzina, Vertisol, Xerosol y Yermosol (figura 4).

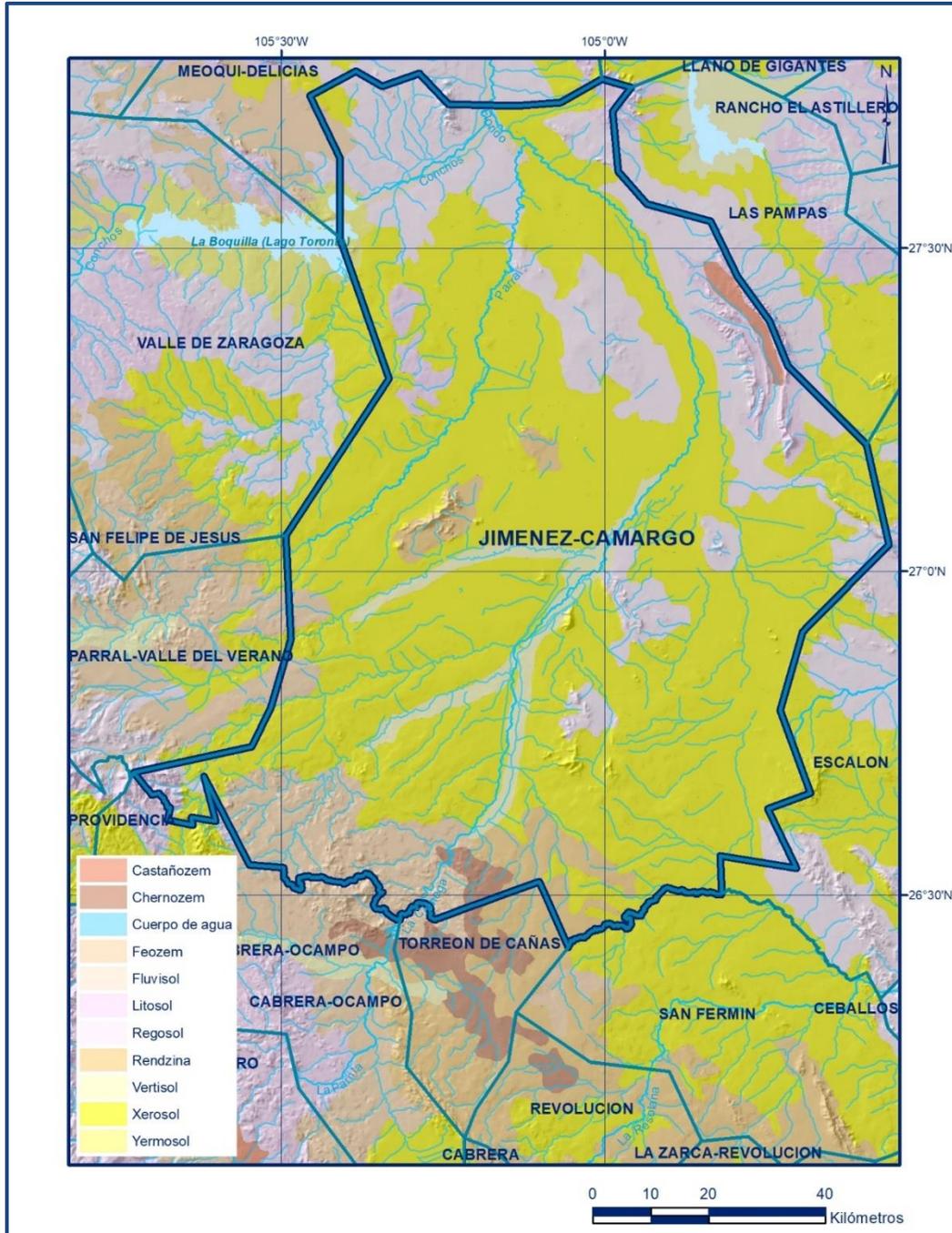


Figura 4. Tipo de suelo

En cuanto al uso de suelo (figura 5), de acuerdo con la cartografía de INEGI escala 1:1,000,000, se tienen los siguientes: agricultura, asentamientos humanos, bosque, cuerpos de agua, matorral, otros tipos, pastizal y sin vegetación aparente.

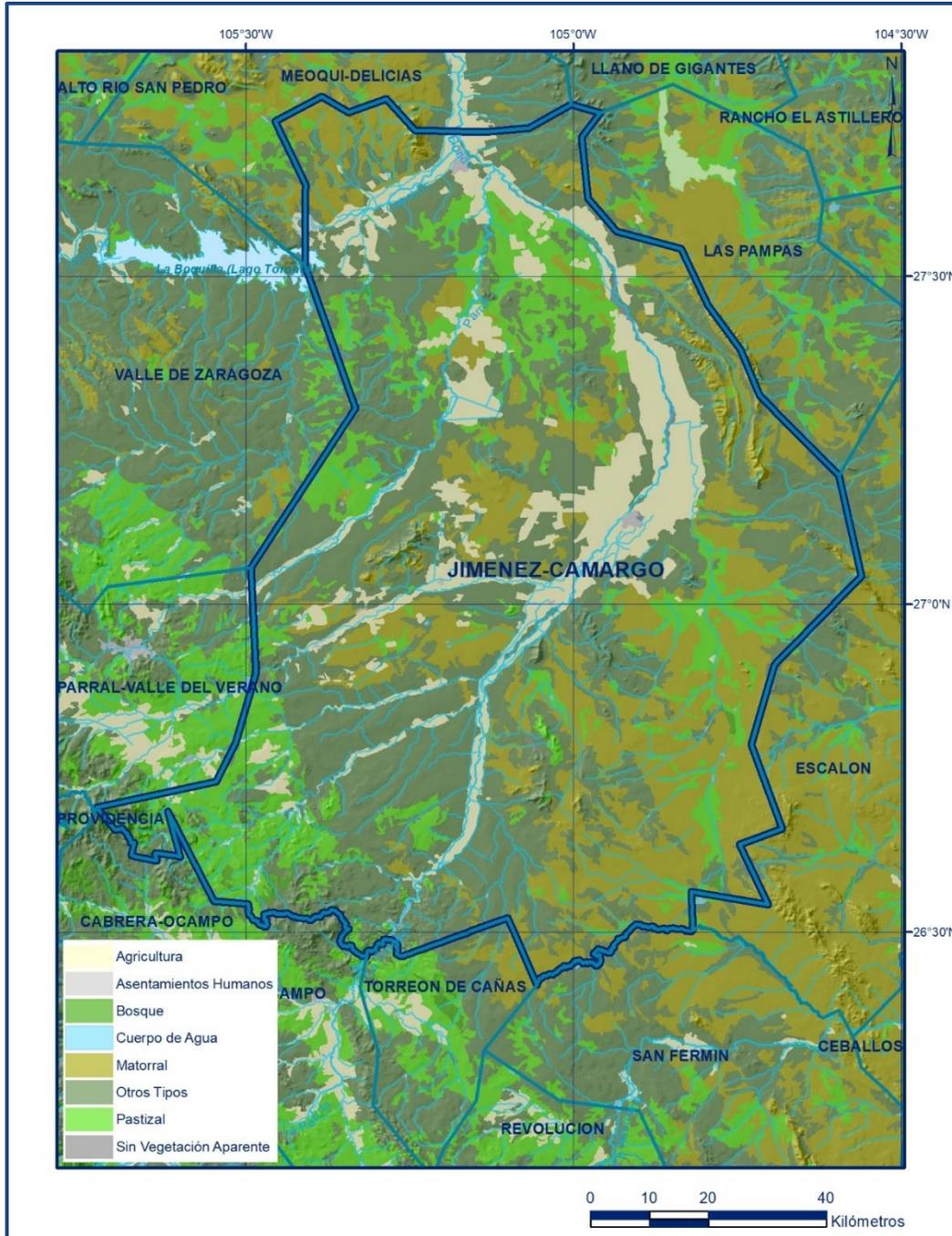


Figura 5. Uso de suelo

De esta manera, el valor de K se obtuvo como promedio ponderado y es igual a 0.21, valor que se aplicó en la siguiente ecuación para obtener el coeficiente de escurrimiento (Ce):

$$Ce = K (P-250) /2000 + (K-0.15)/1.5$$
$$\mathbf{Ce = 0.048}$$

Aplicando este coeficiente de escurrimiento al volumen de lluvia, se obtiene el volumen del escurrimiento:

$$\mathbf{V_{ESC} = 0.048 (3,485.9 \text{ hm}^3) = 167.3 \text{ hm}^3 \text{ anuales}}$$

Sustituyendo valores en la ecuación (2), se obtiene lo siguiente:

$$\mathbf{V_{INF} = V_{LL} - V_{ETR} - V_{ESC} (2)}$$
$$\mathbf{V_{INF} = 3,485.9 - 3,143.7 - 167.3}$$
$$\mathbf{V_{INF} = 174.9 \text{ hm}^3 \text{ anuales}}$$

Al dividir el volumen promedio anual infiltrado, entre el volumen anual promedio precipitado, que es de 3,485.9 hm³/año, se obtiene el coeficiente de infiltración de 0.0502.

De acuerdo con lo anterior, el volumen susceptible de infiltrarse es de 174.9 hm³/año en los 9,948.4 km² de superficie del acuífero.

Por lo que la **Rv = 174.9 hm³ anuales**

5.2 Salidas

Las salidas de agua subterránea estimadas en este balance son las siguientes:

La descarga del acuífero ocurre principalmente por bombeo (B), evapotranspiración y posiblemente a través de salidas subterráneas, pero no se cuenta información piezométrica para su estimación.

5.2.1 Bombeo (B)

De acuerdo con los datos reportados por el Registro Público de Derechos de Agua

(REPD), se tiene registrado un volumen de extracción de **336.7 hm³ anuales**, a la fecha de corte del 30 de diciembre del 2022.

6 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:

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

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

6.1 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 **174.9 hm³ anuales**, todos ellos son de recarga natural.

6.2 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 5.5 hm³ anuales, valor que se tomó del documento de respaldo anterior realizado con el método de Algebra de Mapas y corresponde a la salida por manantiales. **DNC = 5.5 hm³ anuales**.

6.3 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 **336,774,574 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 del 2022**.

6.4 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.

$$\begin{aligned} \text{DMA} &= R - \text{DNC} - \text{VEAS} \\ \text{DMA} &= 174.9 - 5.5 - 336.774574 \\ \text{DMA} &= -167.374574 \text{ hm}^3 \text{ anuales} \end{aligned}$$

La cifra indica que existe un déficit de **167,374,574 m³ anuales**.

7 BIBLIOGRAFÍA

Servicio Geológico Mexicano (SGM). Cartas geológico mineras escala 1:50,000:
Carta Geológica-Minera G13-A58. Valle de Allende. 1:50,000 SGM, 2008.
Carta Geológica-Minera G13-A59. Pueblito de Allende. 1:50,000 SGM, 2008.
Carta Geológica-Minera G13-A49. Octaviano López. 1:50,000 SGM, 2008.

Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), 2018, Municipios; Subprovincias Fisiográficas; 2017, Uso de Suelos; 2008, Unidades climáticas; 2002, Fallas; 2001; Sistema de Topoformas; 2001, Sistema de Topoformas, Provincias Fisiográficas.