CONAGUA
COMISIÓN NACIONAL DEL AGUA

Subdirección General Técnica

Gerencia de Aguas Subterráneas

Actualización de la disponibilidad media anual de agua en el acuífero Valle de Buenavista (2204), estado de Querétaro

Ciudad de México, 2024

Contenido

1 GENERALIDADES 2
Antecedentes 2
1.1 Localización 2
1.2 Situación administrativa del acuífero 3
2 FISIOGRAFÍA 5
2.1 Provincia fisiográfica 5
2.2 Clima 5
2.3 Hidrografía 6
2.4 Geomorfología 6
3 GEOLOGÍA 6
3.1 Estratigrafía 6
3.2 Geología estructural 8
3.3 Geología del subsuelo 9
4 HIDROGEOLOGÍA 10
4.1 Tipo de acuífero 10
4.2 Parámetros hidráulicos 10
5 BALANCE DE AGUAS SUBTERRÁNEAS 11
5.1 Entradas 11
5.1.1 Recarga vertical (Rv) 11
5.2 Salidas 17
5.2.1 Bombeo (B) 17
5.2.2 Descarga por manantiales (Dm) 17
6 DISPONIBILIDAD 17
6.1 Recarga total media anual (R) 18
6.2 Descarga natural comprometida (DNC) 18
6.3 Volumen de extracción de aguas subterráneas (VEAS) 18
6.4 Disponibilidad media anual de agua subterránea (DMA) 19
7 BIBLIOGRAFÍA 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 Valle de Buenavista, definido con la clave 2204 por la Comisión Nacional del Agua, se localiza en la porción oeste del estado de Querétaro, entre las coordenadas geográficas 20° 43' y 20° 54' de latitud norte y 100° 19' y 100° 35' de longitud oeste, cubriendo una superficie de 311.64 km^2.

Limita al norte con el acuífero Dr. Mora-San José de Iturbide, al oeste con San Miguel de Allende y Valle de Celaya pertenecientes al estado de Guanajuato y al este con Valle

de Amazcala y al sur con Valle de Querétaro del estado de Querétaro (figura 1).

Geopolíticamente, comprende casi la superficie total del municipio de Querétaro, y una pequeña porción pertenece al municipio de El Marqués. La poligonal simplificada que delimita el acuífero se encuentra definida por los vértices cuyas coordenadas se muestran en la tabla 1.

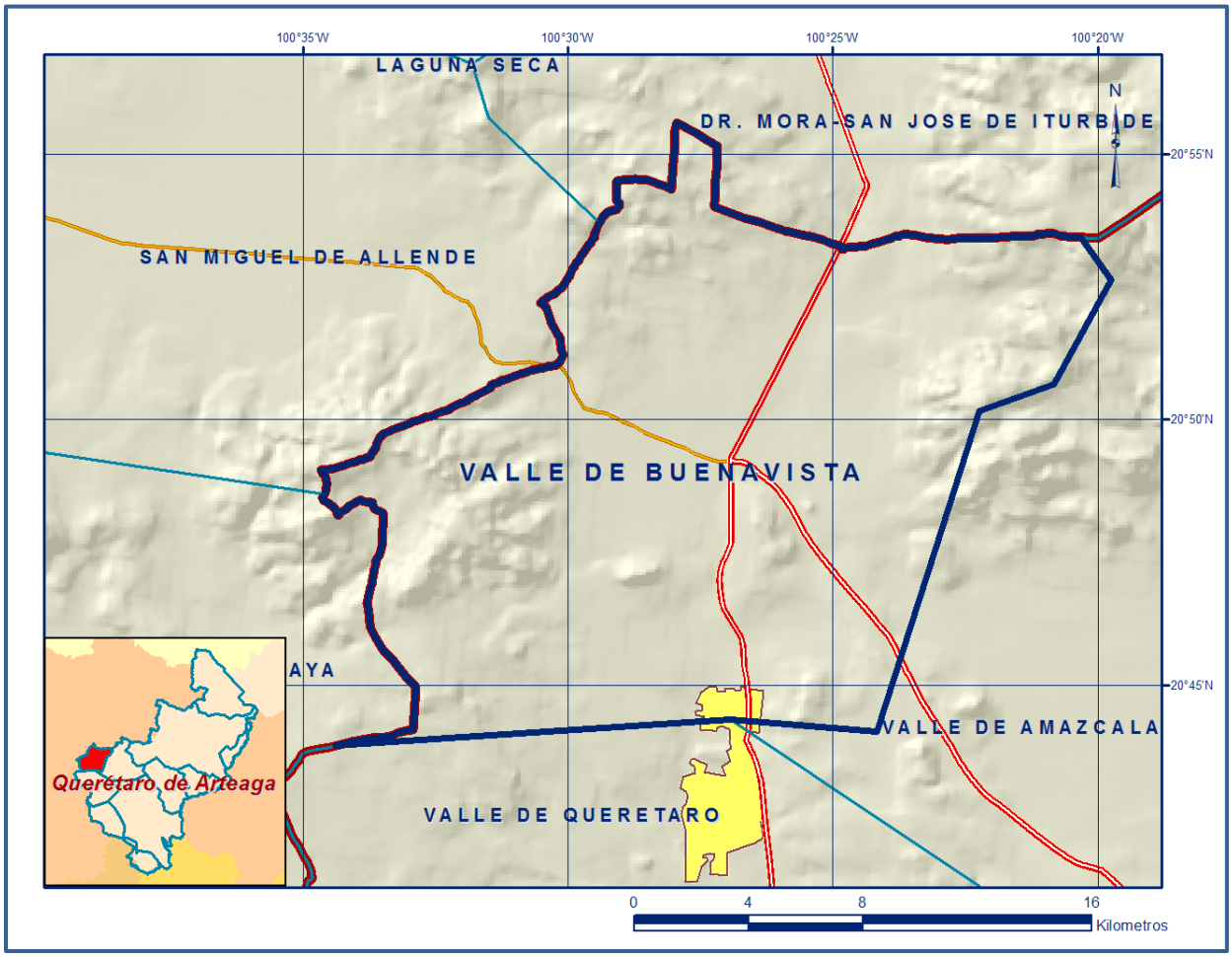


Figura 1. Localización del acuífero

1.2 Situación administrativa del acuífero

El acuífero Valle de Buenavista pertenece al Organismo de Cuenca VIII "Lerma-Santiago-Pacífico", al Consejo de Cuenca "Lerma-Chapala", instalado el 28 de enero del 1993, y es jurisdicción territorial de la Dirección Local Querétaro de Arteaga.

Su territorio se encuentra casi en su totalidad vedado y sujeto a las disposiciones de dos decretos de veda. En la mayoría de su territorio está sujeto a las disposiciones del "*Decreto por medio del cual se establece veda por tiempo indefinido para el alumbramiento de aguas del subsuelo en la zona que comprende parte de los Municipios de Querétaro, Qro., San José Iturbide, Doctor Mora y San Luis de la Paz, Gto.*" publicado en el DOF el 7 de mayo de 1964, esta veda se clasifica como tipo III, en las que la capacidad de los mantos acuíferos permite extracciones limitadas para usos domésticos, industriales, de riego y otros; una porción al sureste del acuífero está regido por el "*Decreto que establece veda para el alumbramiento de aguas del subsuelo, en la zona de los valle de Querétaro y San Juan del Río, en el Estado de Querétaro*" publicado en el DOF el 3 de enero de 1958. Una pequeña porción al este del acuífero se encuentra sujeto a las disposiciones del *"ACUERDO General por el que se suspende provisionalmente el libre alumbramiento en las porciones no vedadas, no reglamentadas o no sujetas a reserva de los 21 acuíferos que se indican"*, publicado en el DOF el 5 de abril de 2013.

De acuerdo con la Ley Federal de Derechos en Materia de Agua 2024, el acuífero se clasifica como zona de disponibilidad 1. El uso principal del agua subterránea es el agrícola. No existe un Comité Técnico de Aguas Subterráneas (COTAS) ni Distritos de Riego dentro del acuífero.

Tabla 1. Coordenadas geográficas de la poligonal simplificada del acuífero

ACUIFERO 2204 VALLE DE BUENAVISTA

VERTICE	LONGITUD OESTE			LATITUD NORTE			OBSERVACIONES
	GRADOS	MINUTOS	SEGUNDOS	GRADOS	MINUTOS	SEGUNDOS	
1	100	20	19.1	20	53	25.7	
2	100	19	45.3	20	52	38.5	
3	100	20	49.3	20	50	39.8	
4	100	22	14.2	20	50	9.9	
5	100	23	3.8	20	47	35.6	
6	100	24	10.0	20	44	7.0	
7	100	26	55.0	20	44	20.0	
8	100	34	23.6	20	43	51.2	DEL 8 AL 9 POR EL LIMITE ESTATAL
9	100	34	36.2	20	48	35.6	DEL 9 AL 10 POR EL LIMITE ESTATAL
10	100	29	24.1	20	53	43.0	DEL 10 AL 11 POR EL LIMITE ESTATAL
11	100	23	10.5	20	53	25.9	DEL 11 AL 1 POR EL LIMITE ESTATAL
1	100	20	19.1	20	53	25.7	

2 FISIOGRAFÍA

2.1 Provincia fisiográfica

De acuerdo a la clasificación fisiográfica de Erwin Raisz (1959), modificada por Ordoñez (1964), la mayor parte de la superficie del acuífero se localiza en la provincia fisiográfica X Eje Neovolcánico y pequeñas porciones al norte del acuífero, con la provincia fisiográfica IX Mesa del Centro. Con respecto a las subprovincias, corresponden de la zona norte y sur, Sierras y Llanuras del Norte de Guanajuato y Llanuras y Sierras de Querétaro e Hidalgo, respectivamente.

El Eje Neovolcánico es una provincia cenozoica de origen volcánico formada en un ambiente tectónico de arco continental (Ortega-Gutiérrez et al., 1992), que se caracteriza por una secuencia de rocas volcánicas de composición andesítica y basáltica, predominando la composición andesítica dentro del acuífero. Esta secuencia es producto de coladas de lava, conos cineríticos, domos de lava, maars, volcanes escudo, volcanes compuestos y calderas, que se emplazaron en episodios sucesivos entre el Mioceno y Cuaternario.

La provincia Mesa del Centro se caracteriza por ser una región elevada constituida por amplias llanuras interrumpidas por sierras dispersas, cubiertas en su mayor parte por rocas volcánicas cenozoicas presentes en el acuífero.

2.2 Clima

De acuerdo con la clasificación de Köppen, modificada por Enriqueta García en 1964 para las condiciones de la República Mexicana, el clima semiseco templado BS1kw(w) cubre casi en su totalidad la mayor superficie del acuífero, con temperatura media anual entre 12°C y 18°C, temperatura del mes más frio entre -3°C y 18°C, temperatura del mes más caliente menor de 22°C. y una pequeña porción al noreste del acuífero con clima Cw0 Templado, subhúmedo, temperatura media anual similares al clima semiseco templado, y presenta precipitaciones en el mes más seco menor de 40 mm; lluvias de verano con índice P/T menor de 43.2 y porcentaje de precipitación invernal del 5% al 10.2% del total anual.

Para la determinación de las variables climatológicas se cuenta con información de 3 estaciones climatológicas con influencia fuera del área del acuífero: Presa Jalpa-GTO (11122), El Charape-GTO (11144) y E.T.A. 128 Carrillo-QRO (22027), con los registros obtenidos para el periodo 1987-2006.

Utilizando el método de los Polígonos de Thiessen, se determinaron valores medios anuales de precipitación (**455.4 mm**) y temperatura (**18.2 °C**).

2.3 Hidrografía

El área cubierta por el acuífero Valle de Buenavista se encuentra dentro de la Región Hidrológica No.12 "Lerma-Santiago", y pertenece a la cuenca Río Querétaro y porciones al norte y suroeste de la cuenca Río La Laja 2.

Superficialmente la zona no cuenta con ríos de gran caudal por lo que se caracteriza por contener corrientes intermitentes que forman arroyos como son: La Monja, Los Órganos, El Macho, La Pileta y arroyo Jurica.

2.4 Geomorfología

El marco geológico de la zona, tiene una marcada influencia de vulcanismo, episodio geológico cuyos productos configuraron un paisaje dominado por geoformas características de este medio magmático.

El panorama geomorfológico del acuífero está conformado principalmente por tres sistemas de topoformas: sierras altas escarpadas rodeando un sistema de lomeríos con llanuras en las partes más bajas, caracterizada por cuencas amplias y planas y; al oeste del acuífero una sierra derivada de un sistema de escudos volcánicos, así como montañas bajas y aisladas que no alcanzan más de 2,500 m de altitud.

3 GEOLOGÍA

Dentro del área del acuífero afloran rocas sedimentarias, ígneas y metamórficas que conforman el marco geológico. La parte norte en zonas topográficamente más altas está constituida por pequeños afloramientos de rocas calizas, descendiendo a rocas volcánicas como riolitas y andesitas alrededor de toda el área y la parte central se encuentran areniscas, conglomerados y depósitos aluviales (figura 2).

3.1 Estratigrafía

En la zona afloran rocas sedimentarias cuyo registro estratigráfico varía del Jurásico Inferior al Reciente. A continuación, se describen las unidades de roca iniciando por la más antigua:

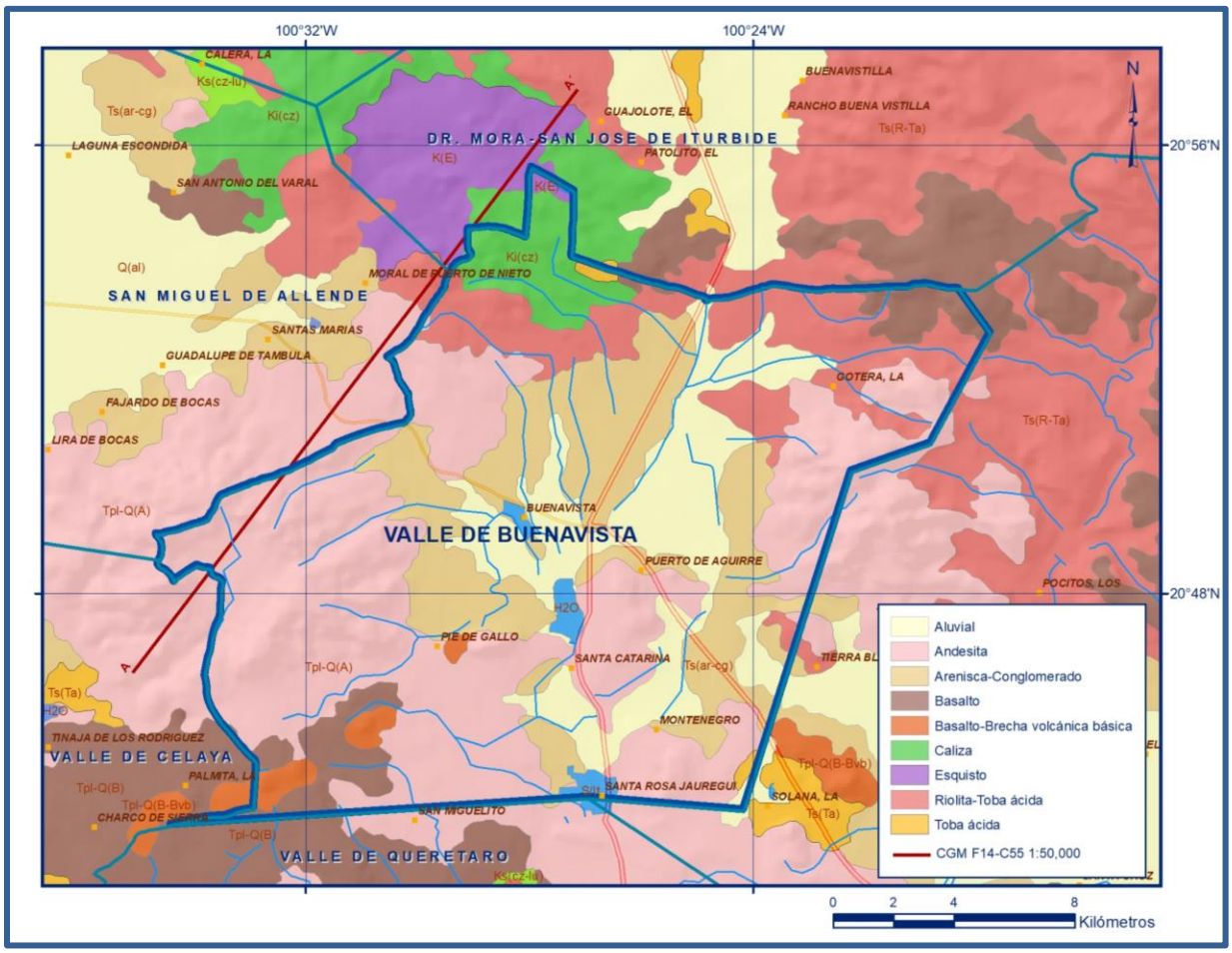


Figura 2. Geología general del acuífero

JURÁSICO SUPERIOR

Esquistos

Representando a las rocas más antiguas de la zona, se encuentran aflorando en la porción norte de la zona. Estos esquistos verdes son producto de metamorfismo regional derivados de una secuencia sedimentaria pelítica calcárea.

Subyacen a calizas del Cretácico Inferior, su base probablemente corresponde al Jurásico Superior, ya que López Ramos menciona la primera localidad fosilífera en Rincón de Centeno, donde encontró amonitas del Tithoniano, lo cual indica mares relativamente profundos. Tentativamente el evento metamórfico se asigna al Cretácico Inferior por su posición estratigráfica, aunque su alineamiento con los esquistos presumiblemente triásicos que afloran en la Sierra de Guanajuato los correlaciona.

CRETÁCICO INFERIOR

Aptiano-Albiano

Caliza

Le sobreyace a la unidad litológica anterior constituida por calizas y lutita, la caliza es compacta con interestratificaciones delgadas de lutita, limolita y calcarenita: contiene lentes de pedernal negro y estratos de 15 a 60 cm de espesor.

CENOZOICO

Oligoceno

El vulcanismo está representado por emisiones diversas, entre las que se tiene de andesitas y tobas. La andesita es de textura afanítica, estructura fluidal y compacta, en partes con un alto grado de fracturamiento.

También está presente las emisiones de riolita-toba riolítica, con horizontes delgados de ignimbrita, basalto y ocasional limolita. La riolita es de textura piroclástica, matriz de grano grueso, estructura masiva.

Plioceno

Evento volcánico más reciente dentro del acuífero donde se tienen coladas de andesita con variación a basalto y paquetes de ceniza escoreácea. Hidrogeológicamente, se considera de baja permeabilidad.

Neógeno

Arenisca-Conglomerado

Paralelamente con las emisiones del volcanismo del mioceno y plioceno, se depositaron sedimentos lacustres de arenisca-conglomerado estas son arenas gruesas a medias y arenas en ocasiones, en estas últimas llegan a predominar las gravas y cantos mayores y dar lugar a conglomerados. Los clastos de los conglomerados son de origen riolítico o basálticos según sea la constitución de las elevaciones al pie de la cual se ubiquen.

3.2 Geología estructural

Durante una época del inicio del Paleógeno se formó un panorama estructural de grabens y horst. Los primeros fueron rellenados por material erosionado de los pilares circundantes, y en mayor proporción, del material volcánico producto de esa actividad, principalmente de rocas riolíticas.

De ahí que el material de relleno en las llanuras esté constituido por intercalaciones de tobas riolíticas y materiales de acarreo como arenas y gravas.

El vulcanismo Pliocénico extendió su actividad hasta la era Cuaternaria, aunque con menor intensidad, como lo atestiguan los escasos derrames y conos en los límites del área. Posteriormente se define un período erosivo que ha conformado la actual morfología.

Estructuralmente el acuífero corresponde a un alto del sistema de fallas regionales de tipo normal, como lo comprueban sus alturas topográficas con respecto a la llanura, así como los tipos de rocas que observan entre ellas; Ixtla y La Joya, que separan la Mesa Central del Eje Neovolcánico (sistema de fallas NE-SW) y la falla Querétaro considerando un alargamiento activo desde el Mioceno dando lugar al graben San José Iturbide.

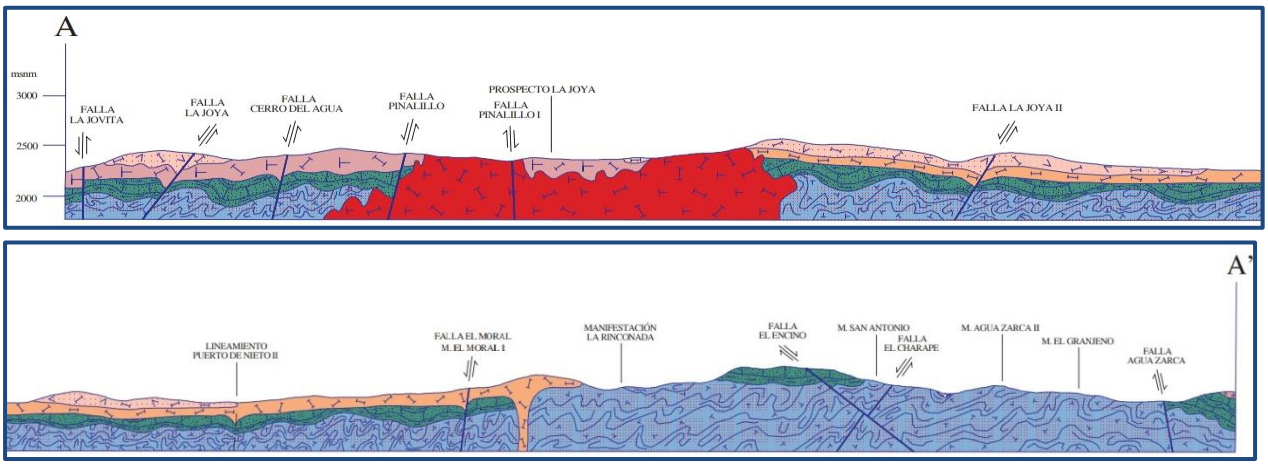
3.3 Geología del subsuelo

De acuerdo con la información geológica recaba en el acuífero, cartas geológicas con secciones litológicas del Servicio Geológico Nacional (figura 3) y por correlación con acuíferos vecinos, es posible establecer la existencia de dos medios hidrogeológicos, uno de naturaleza porosa y otro fracturado.

El medio poroso está conformado por depósitos lacustres de origen riolítico o basálticos son formadores de potente espesor de sedimentos granulares que rellenan los valles, constituidos por arena y grava intercaladas con arcilla y, en ocasiones, de areniscas y conglomerados, tienen buena permeabilidad y capacidad de almacenamiento, debido a su buena porosidad y al espesor de sus depósitos.

La porción inferior está constituida por rocas volcánicas fracturadas, principalmente de composición basáltica y en menor proporción riolítica. Presentan un gran espesor y doble porosidad por su permeabilidad primaria y secundaria por fracturamiento, con marcadas propiedades heterogéneas-anisótropas debido al patrón de fracturamiento que determina la ocurrencia y distribución del agua subterránea. Con permeabilidad variable se presentan las rocas riolíticas que en ocasiones se presentan en forma de tobas suaves de matriz arcillosa, con baja permeabilidad o en su defecto si están fracturadas presentan una permeabilidad secundaria.

Las fronteras y barreras al flujo subterráneo del acuífero están representadas por las rocas calizas intercaladas por capas de lutitas y areniscas que debido a su baja permeabilidad sólo son capaces de producir pequeños volúmenes de agua mediante norias de poca profundidad cuando están fracturadas, funcionando como acuitardos o acuifugos o como basamento geohidrológico.



Fuente: Carta Geológico-Minera F14-C55 "Buenavista". Esc. 1:50,000 (SGM, 2017)

Figura 3. Sección geológica esquemática

4 HIDROGEOLOGÍA

4.1 Tipo de acuífero

Las evidencias geológicas, geofísicas e hidrogeológicas permiten definir la presencia de un acuífero de **tipo libre** heterogéneo y anisótropo, constituido en su porción superior, por sedimentos aluviales, conglomerados y depósitos lacustres; en tanto que su porción inferior se alija en un medio fracturados conformado por rocas volcánicas (basaltos, riolitas y tobas) y sedimentarias (areniscas y lutitas), que presentan permeabilidad secundaria por fracturamiento.

Las fronteras al flujo subterráneo y el basamento están constituidas por las mismas rocas sedimentarias y volcánicas cuando a profundidad desaparece su fracturamiento y a mayor profundidad el basamento está conformado por esquistos.

4.2 Parámetros hidráulicos

Dentro del acuífero no se cuenta con pruebas de bombeo. Sin embargo, con los datos de acuíferos vecinos es posible correlacionar estos datos considerando los componentes geológicos similares que comparten.

En este caso es posible correlacionar los parámetros hidráulicos con el acuífero Dr. Mora-José de Iturbide. Los valores de transmisividad fueron obtenidos a través de pruebas de bombeo de larga y corta duración realizadas en estudios previos. De esta manera, los valores de transmisividad varían de **1.0 a 7.3 x10-3 m² /s.**

5 BALANCE DE AGUAS SUBTERRÁNEAS

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:

Entradas (E) - Salidas (S) = Cambio de masa

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

Recarga total - Descarga total = Cambio de almacenamiento

5.1 Entradas

Las entradas al acuífero Valle de Buenavista están integradas básicamente por la recarga natural que se produce por la infiltración de la lluvia (Rv). No existe información piezométrica actual ni histórica que cubra la zona del acuífero. La escasa información disponible, procedente de recorridos de campo hechos se encuentra dispersa en tiempo y espacio, 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 estas razones, se optó por plantear el balance hidrometeorológico en la superficie de **312.7 km²** del acuífero para estimar el volumen de agua susceptible de infiltrarse para recargar al acuífero.

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:

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

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:

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

El volumen de lluvia que se precipita en la superficie cubierta por el acuífero se obtiene al multiplicar su área (312.7 km^2) por la lámina de precipitación media anual (455.4 mm):

$$\mathbf{V_{LL} = 312.7\ km^2\ (0.4554\ m) = 142.4\ hm^3\ anuales}$$

Para la estimación de la evapotranspiración real se utilizó la ecuación empírica de Coutagne, considerando el valor medio anual de precipitación de 455.4 mm y temperatura de 18.2°C. De acuerdo con lo anterior, se obtiene un valor de lámina de evapotranspiración de **393.0 mm anuales.**

$ETR = P - \chi P^2$			
Donde:			
ETR = Evapotranspiración m/año			
P = Precipitación en m/año			
χ = 1/(0.8+0.14t)			
t = temperatura en °C			
T (°C) =	18.2		
P(m) =	0.455	P^2 =	0.207
χ	0.299		
ETR (mm) =	393		

Por lo tanto, el volumen de ETR es:

$$\mathbf{V_{ETR} = 312.7\ km^2\ (0.393\ m) = 122.9\ hm^3\ anuales}$$

Para determinar el volumen de escurrimiento debido a la lluvia se utilizó el método establecido en la Norma Oficial Mexicana NOM-011-CONAGUA-2015, publicada en el

Diario Oficial de la Federación, de fecha 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.

El volumen anual medio de escurrimiento natural es igual a la precipitación media anual por el área y por un coeficiente de escurrimiento.

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

VOLUMEN ANUAL DE ESCURRIMIENTO NATURAL DE LA CUENCA	**=**	**PRECIPITACION ANUAL DE LA CUENCA**	*****	**AREA DE LA CUENCA**	*****	**COEFICIENTE DE ESCURRIMIENTO**

El coeficiente de escurrimiento (Ce) 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 la cartografía del Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática y de visitas de campo, 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 (Ce), 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 $\quad Ce = K\,(P-250) / 2000$

Si *K* es mayor que 0.15 $\quad Ce = K\,(P-250) / 2000 + (K - 0.15) / 1.5$

Donde:

P = Precipitación anual;
Ce = 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 (NOM-011-CONAGUA-2000)

USO DE SUELO	TIPO DE SUELO A	TIPO DE SUELO B	TIPO DE SUELO 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	CARACTERISTICAS
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 el sistema FAO/UNESCO y modificado por la Dirección General de Geografía, en la zona que comprende el acuífero Valle de Buenavista, predominan los siguientes tipos de suelo: Castañozem, Feozem, Litosol, y Vertisol (figura 4).

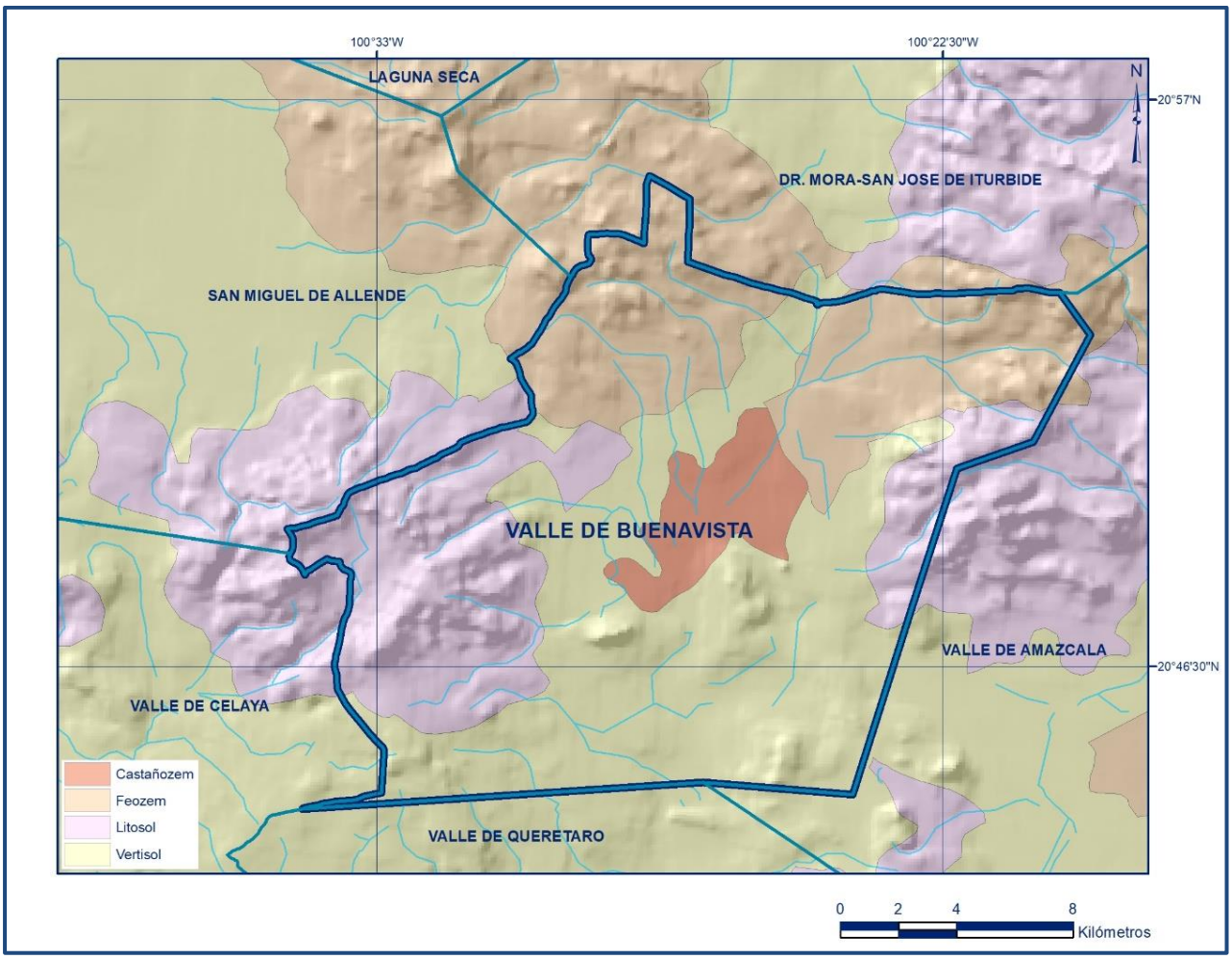


Figura 4. Tipo de suelo

En cuanto al uso de suelo, de acuerdo con la cartografía del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) escala 1: 250,000 en el área donde se localiza el acuífero hay siete usos de suelo diferentes: agricultura, asentamientos humanos, bosque, cuerpos de agua, matorral, otros tipos y pastizal (figura 5).

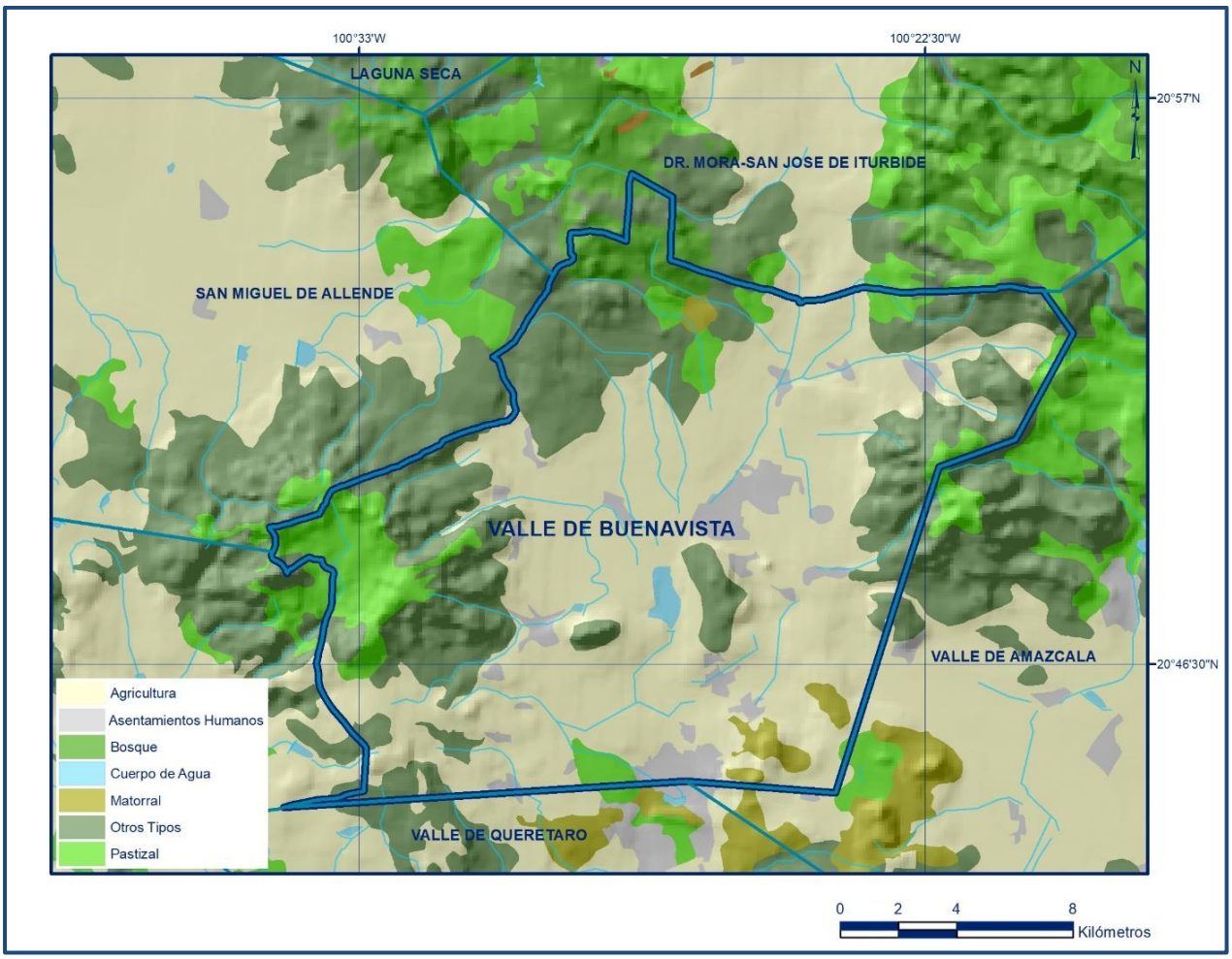


Figura 5. Uso de suelo

De esta manera, el valor de K se obtuvo como promedio ponderado y es igual a 0.23, valor que se aplicó en la siguiente ecuación para obtener el coeficiente de escurrimiento (Ce):

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

$$\mathbf{Ce = 0.070}$$

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

$$\mathbf{V_{ESC} = 0.070\ (142.4\ hm^3) = 10.0\ hm^3\ anuales}$$

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

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

$$\mathbf{V_{INF} = 142.4 - 122.9 - 10.0}$$

$$\mathbf{V_{INF} = 9.5\ hm^3\ anuales}$$

Al dividir el volumen promedio anual infiltrado, entre el volumen anual promedio precipitado, que es 142.4 hm^3/año, se obtiene el coeficiente de infiltración de 0.0667. De acuerdo con lo anterior, el volumen susceptible de infiltrarse es:

$$\mathbf{Rv = 9.5\ hm^3\ anuales}$$

5.2 Salidas

Las salidas de agua subterránea estimadas en este balance son las siguientes:
La descarga del acuífero ocurre principalmente por bombeo (B) y descarga por manantiales.

5.2.1 Bombeo (B)

De acuerdo con los datos reportados por el Registro Público de Derechos de Agua (REPDA), se tiene registrado un volumen de extracción de **23.2 hm^3 anuales**, con fecha de corte al 30 de diciembre del 2022.

5.2.2 Descarga por manantiales (Dm)

Se identificó la existencia de manantiales, representando un volumen de **0.1 hm^3 anuales.**

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:

DISPONIBILIDAD MEDIA ANUAL DE AGUA DEL SUBSUELO EN UN ACUÍFERO	=	RECARGA TOTAL MEDIA ANUAL	-	DESCARGA NATURAL COMPROMETIDA	-	EXTRACCIÓN DE AGUAS SUBTERRÁNEAS

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 **9.5 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 el caso del acuífero de Valle de Buenavista se considera que el valor de descarga natural comprometida corresponde a la descarga de manantiales. Por lo que **DNC = 0.1 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 (REPDA), los volúmenes de agua que se encuentren en proceso de registro y titulación y, en su caso, los volúmenes de agua correspondientes a reservas, reglamentos y programación hídrica, todos ellos referidos a una fecha de corte específica.

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

Para este acuífero el volumen de extracción de aguas subterráneas es de **23,277,392 m^3 anuales,** que reporta el Registro Público de Derechos de Agua (REPDA) de la Subdirección General de Administración del Agua, a la fecha de corte del **30 de diciembre 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.

$$\mathbf{DMA = R - DNC - VEAS}$$
$$\mathbf{DMA = 9.5 - 0.1 - 23.277392}$$
$$\mathbf{DMA = -13.877392\ hm^3\ anuales}$$

El resultado indica que no existe un volumen disponible para otorgar nuevas concesiones; por el contrario, el déficit es de **13,877,392 m^3 anuales** que se están extrayendo a costa del almacenamiento no renovable del acuífero.

7 BIBLIOGRAFÍA

Institutito Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). 2008. Características edafológicas, fisiográficas, climáticas e hidrográficas de México. México

Diario Oficial de la Federación (DOF), 2001. ACUERDO por el que se establece y da a conocer al público en general la denominación única de los acuíferos reconocidos en el territorio de los Estados Unidos Mexicanos, por la Comisión Nacional del Agua, y la homologación de los nombres de los acuíferos que fueron utilizados para la emisión de los títulos de concesión, asignación o permisos otorgados por este órgano desconcentrado.

Servicio Geológico Mexicano, 1999. Carta Geológico-Minera F14-10 “Querétaro”, escala 1:250,000.

Servicio Geológico Mexicano, 2017. Carta Geológico-Minera F14-C55 “Buenavista”, escala 1:50,000.