

***Actualización de la disponibilidad media anual
de agua en el acuífero Valparaíso (3204),
Estado de Zacatecas***

*Publicada en el Diario Oficial de la Federación
20 de abril de 2015*

Actualización de la disponibilidad media anual de agua subterránea

Publicada en el diario oficial de la federación el 20 de Abril de 2015

El artículo 22 segundo párrafo de la Ley de Aguas Nacionales (LAN), señala que para el otorgamiento de una concesión o asignación, debe tomarse en cuenta la disponibilidad media anual del agua, que se revisará al menos cada tres años; sujetándose a lo dispuesto por la LAN y su reglamento.

Del resultado de estudios técnicos recientes, se concluyó que existe una modificación en la disponibilidad de agua subterránea, debido a cambios en el régimen natural de recarga, volumen concesionado y/o descarga natural comprometida; por lo que se ha modificado el valor de la disponibilidad media anual de agua.

La actualización de la disponibilidad media anual de agua subterránea publicada en este documento corresponde a una fecha de corte en el **Registro Público de Derechos de Agua al 30 de junio de 2014.**

DXLII REGIÓN HIDROLÓGICO-ADMINISTRATIVA "LERMA-SANTIAGO-PACÍFICO"

CLAVE	ACUÍFERO	R	DNCOM	VCAS	VEXTET	DAS	DÉFICIT
		CIFRAS EN MILLONES DE METROS CÚBICOS ANUALES					

ESTADO DE ZACATECAS

3204	VALPARAÍSO	26.0	1.4	18.410379	14.6	6.189622	0.000000
------	------------	------	-----	-----------	------	----------	----------

R: recarga media anual; DNCOM: descarga natural comprometida; VCAS: volumen concesionado de agua subterránea; VEXTET: volumen de extracción de agua subterránea consignado en estudios técnicos; DAS: disponibilidad media anual de agua subterránea. Las definiciones de estos términos son las contenidas en los numerales "3" y "4" de la Norma Oficial Mexicana NOM-011-CONAGUA-2015.



Comisión Nacional del Agua

Subdirección General Técnica

Gerencia de Aguas Subterráneas

Subgerencia de Evaluación y Ordenamiento de Acuíferos

***DETERMINACIÓN DE LA DISPONIBILIDAD
DE AGUA EN EL ACUÍFERO
VALPARAISO, ESTADO DE ZACATECAS***

DETERMINACIÓN DE LA DISPONIBILIDAD DE AGUA EN EL

ACUÍFERO VALPARAISO, ESTADO DE ZACATECAS

CONTENIDO

	Página
1. GENERALIDADES.....	1
Antecedentes	
1.1 Localización.....	1
1.2 Situación administrativa del acuífero.....	3
2. ESTUDIOS TÉCNICOS REALIZADOS CON ANTERIORIDAD.....	4
3. FISIOGRAFÍA.....	5
3.1 Provincia fisiográfica.....	5
3.2 Clima.....	5
3.3 Hidrografía.....	6
3.4 Geomorfología.....	6
4. GEOLOGÍA.....	7
4.1 Estratigrafía.....	7
4.2 Geología estructural.....	9
4.3 Geología del subsuelo.....	9
5. HIDROGEOLOGÍA.....	9
5.1 Tipo de acuífero.....	9
5.2 Parámetros hidráulicos.....	10
5.3 Piezometría.....	10
5.4 Comportamiento hidráulico.....	10
5.4.1 Profundidad al nivel estático.....	10
5.4.2 Elevación del nivel estático.....	11
5.4.3 Evolución del nivel estático.....	12
5.5 Hidrogeoquímica y calidad del agua subterránea.....	12
6. CENSO DE APROVECHAMIENTOS E HIDROMETRÍA.....	13
7. BALANCE DE AGUAS SUBTERRÁNEAS.....	13
7.1 Entradas.....	14
7.1.1 Recarga natural.....	14
7.1.2 Recarga inducida.....	14
7.1.3 Entradas subterráneas horizontales.....	15
7.2 Salidas.....	16
7.2.1 Descargas naturales.....	16
7.2.2 Bombeo.....	16
7.2.3 Salidas subterráneas.....	17
7.3 Cambio de almacenamiento.....	17
8. DISPONIBILIDAD.....	18
8.1 Recarga total media anual.....	18
8.2 Descarga natural comprometida.....	18
8.3 Rendimiento permanente.....	19
8.4 Volumen concesionado de aguas subterráneas.....	19
8.5 Disponibilidad de aguas subterráneas.....	19
9. BIBLIOGRAFÍA.....	20
1. GENERALIDADES	

Antecedentes

La Ley de Aguas Nacionales y su Reglamento (LAN) contemplan que la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) debe publicar en el Diario Oficial de la Federación (DOF), la disponibilidad de las aguas nacionales, por acuífero en el caso de las aguas subterráneas, de acuerdo con los estudios técnicos correspondientes y conforme a los lineamientos que considera la Norma Oficial Mexicana NOM-011-CNA-2000 “Norma Oficial Mexicana que establece el método para determinar la disponibilidad media anual de las aguas nacionales”. Esta norma ha sido preparada por un grupo de especialistas provenientes de la iniciativa privada, instituciones académicas, asociaciones de profesionales, organismos de los gobiernos de los estados y municipios, y de la CONAGUA.

El método que establece la NOM indica que para calcular la disponibilidad de aguas subterráneas deberá de realizarse un balance de las mismas, donde se defina de manera precisa la recarga de los acuíferos, y de ésta deducir los volúmenes comprometidos con otros acuíferos, la demanda de los ecosistemas y los usuarios registrados con derechos vigentes en el Registro Público de Derechos del Agua (REPGA)

El cálculo de la disponibilidad obtenida permitirá una mejor administración del recurso hídrico subterráneo ya que el otorgamiento de nuevas concesiones sólo podrá efectuarse en acuíferos con disponibilidad de agua subterránea. Los datos técnicos que se publiquen deberán estar respaldados por un documento en el que se sintetice la información necesaria, en donde quede claramente especificado el balance de aguas subterráneas y la disponibilidad de agua subterránea susceptible de concesionarse, considerando los volúmenes comprometidos con otros acuíferos, la demanda de los ecosistemas y los usuarios registrados con derechos vigentes en el REPGA. La publicación de la disponibilidad servirá de sustento legal para fines de administración del recurso, para la autorización de nuevos aprovechamientos de agua subterránea, para los planes de desarrollo de nuevas fuentes de abastecimiento, y en las estrategias para resolver los casos de sobreexplotación de acuíferos y la resolución de conflictos entre usuarios.

1.1 Localización

El acuífero Valparaíso se localiza en la porción Suroeste del Estado de Zacatecas, comprende una superficie de 4322 km², que representa el 5.38 % del territorio estatal. Queda enmarcada entre las coordenadas geográficas 22° 15' 00" y 23° 15' 00" de latitud norte y 103° 00' 00" y 104° 00' 00" de longitud oeste, dicha zona cubre en su totalidad el Municipio de Monte Escobedo y de manera parcial a los municipios de Susticacán, y Valparaíso; en los límites con el Estado de Jalisco. Figura 1.

Las coordenadas de la poligonal simplificada que delimita el acuífero se presentan en la siguiente.

ACUIFERO 3204 VALPARAISO

VERTICE	LONGITUD OESTE			LATITUD NORTE			OBSERVACIONES
	GRADOS	MINUTOS	SEGUNDOS	GRADOS	MINUTOS	SEGUNDOS	
1	103	23	14.5	23	4	17.2	
2	103	20	10.9	23	1	43.0	
3	103	17	34.1	22	58	40.2	
4	103	12	14.9	22	56	14.9	
5	103	12	42.1	22	50	51.1	
6	103	13	31.5	22	46	10.3	
7	103	14	21.5	22	43	16.1	
8	103	13	2.9	22	41	40.2	
9	103	12	33.7	22	40	42.8	
10	103	17	19.0	22	36	13.6	
11	103	16	17.0	22	32	48.7	
12	103	18	1.4	22	28	8.4	
13	103	18	50.6	22	24	16.7	DEL 13 AL 14 POR EL LIMITE ESTATAL
14	103	17	58.9	22	17	44.3	DEL 14 AL 15 POR EL LIMITE ESTATAL
15	103	41	1.8	22	6	32.6	DEL 15 AL 16 POR EL LIMITE ESTATAL
16	103	51	45.6	22	9	59.4	DEL 16 AL 17 POR EL LIMITE ESTATAL
17	103	45	16.2	22	43	9.0	
18	103	43	56.0	22	44	33.8	
19	103	43	28.3	22	49	42.9	
20	103	43	18.8	22	51	3.1	
21	103	40	42.6	22	52	44.1	
22	103	40	8.8	22	54	3.9	
23	103	39	40.6	22	56	22.3	
24	103	37	7.9	22	59	2.1	
25	103	30	58.1	23	5	48.1	
26	103	28	47.1	23	5	15.8	
27	103	26	48.5	23	5	0.7	
28	103	24	26.7	23	5	7.7	
1	103	23	14.5	23	4	17.2	

Tabla 1. Coordenadas de la poligonal simplificada que delimita el acuífero Valparaíso

La zona se encuentra comunicada por la Carretera Estatal No. 54, que la cruza de NE a SW, enlazando las poblaciones de Fresnillo y Valparaíso. Las restantes vías terrestres consisten de terracerías y caminos vecinales que comunican con los poblados y rancherías de toda el área.

Las actividades de importancia que se desarrollan en esta región son la agricultura de riego y temporal, el valle y zonas bajas son propicios para el cultivo de chile, frijol, maíz, vid y árboles frutales como el durazno y manzana. Otra actividad es la ganadería, siendo la cría de ganado bovino y caprino de las principales que se llevan a cabo en esta región.

1.2 Situación Administrativa del Acuífero

La zona de estudio se ubica dentro del perímetro que abarca el decreto de veda publicado en el Diario Oficial de la Federación el día 5 de agosto de 1988. Por medio de este ordenamiento se declara de interés público por el Ejecutivo Federal, la conservación de las aguas del subsuelo, en las zonas no vedadas de los municipios del estado de Zacatecas, en las que la capacidad de los mantos acuíferos permite extracciones limitadas (hasta 300 Mm³/año en toda la superficie que cubre) para uso doméstico, industrial, de riego y otros, y establece que: *“únicamente en los casos en que de los estudios relativos se concluya que no se causarán los perjuicios que con el establecimiento de la veda tratan de evitarse”*, así mismo: *“excepto cuando se trate de extracciones para uso doméstico y de abrevadero que se realicen por medios manuales, desde la vigencia del decreto nadie podrá ejecutar obras de alumbramiento de aguas del subsuelo dentro de la zona vedada sin contar con la autorización”* de la autoridad del agua.

De acuerdo a la Ley Federal de Derechos vigente para el año 2006. El municipio de Sustiacacán se ubica en la zona de disponibilidad 6, los otros dos municipios que conforman la región (Valparaíso y Monte Escobedo), se encuentran en la zona de disponibilidad 7.

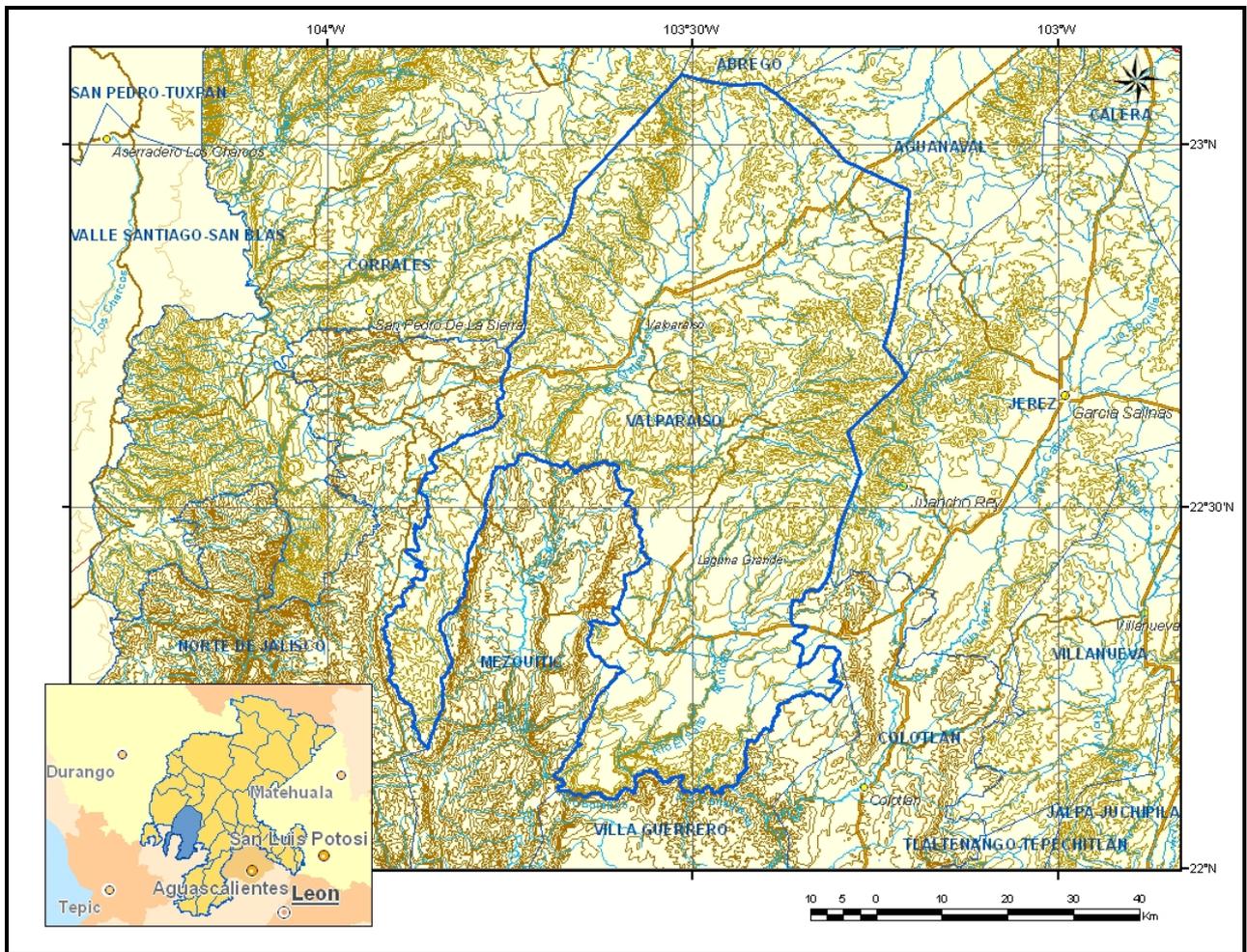


Figura No. 1. Localización del acuífero Valparaíso, Zacatecas

El acuífero Valparaíso queda comprendido dentro de la Región Administrativa VIII Lerma-Santiago-Pacífico; forma parte del Consejo de Cuenca del Río Santiago y no cuenta con un Comité Técnico de Aguas subterráneas, COTAS (situación al mes de mayo de 2006).

2. ESTUDIOS TÉCNICOS REALIZADOS CON ANTERIORIDAD

Algunos de los estudios de carácter hidrogeológico realizados en la zona son los siguientes:

- Servicios de Prospección y Levantamientos Geológicos y Geofísicos en la zona de Valparaíso, estado de Zacatecas., S.A.R.H., 1980.

Este estudio comprendió una superficie de 12,000 km², tomando como centro el Valle de Valparaíso. Los trabajos consistieron en la realización de levantamientos geológicos, censo de aprovechamientos durante el cual se censaron 171 captaciones que incluyen tanto al valle del Valparaíso como sus alrededores, muestreo de agua para análisis físicoquímico y toma de

lecturas piezométricas, descripción de unidades hidrogeológicas, funcionamiento hidráulico superficial y subterráneo. El estudio concluye que el acuífero regional está alojado en sedimentos areno-tobáceos, de espesor superior a los 200 m, el basamento lo constituyen rocas andesíticas de edad terciaria. Los trabajos no incluyeron la realización de un balance hidráulico de aguas subterráneas ya que su objetivo fue conocer las posibilidades acuíferas del valle de Valparaíso, definiendo además áreas favorables para la perforación de pozos.

- Reactivación de la red de monitoreo piezométrico en el acuífero de Valparaíso, CNA, 2004.

El objetivo del estudio fue establecer una red de monitoreo simplificada y confiable para la obtención de información hidrogeológica-piezométrica del acuífero, mediante la ubicación, inspección y selección en campo de pozos de monitoreo. Mediante esta red es posible conocer la evolución y la condición actual de los niveles del agua subterránea. Para ello se seleccionaron 16 sitios piloto que constituyen la red piezométrica. El estudio determina que el nivel estático se encuentra a entre 10 y 40 metros de profundidad.

3. FISIOGRAFÍA

3.1. Provincia Fisiográfica

La zona de estudio se ubica en el extremo sureste de la provincia fisiográfica de la Sierra Madre Occidental cerca de límite con la provincia fisiográfica de la Meseta Central. Está caracterizada por la presencia de rocas ígneas extrusivas principalmente de composición riolítica del Terciario, las cuales se encuentran constituyendo las elevaciones topográficas que predominan en la región. En algunos sitios, coronando a las rocas riolíticas, se presentan derrames de lavas de composición basáltica y edad del Terciario. Ocupa en forma parcial la Subprovincia Sierras y Valles Zacatecanos. Los sistemas de topoformas que se presentan en el área son: un piso amplio de valle que se encuentra delimitado al Oriente por una sierra baja y al Poniente por mesetas pequeñas con cañadas.

La zona corresponde a un valle alargado de 20 km de ancho y 50 km de largo que está conformado por conglomerados de edad terciaria que se encuentran relleno de las partes topográficamente bajas y que corresponden principalmente a gravas y cantos rodados empacados en una matriz areno-arcillosa, producto de la erosión y transporte de las rocas que constituyen las sierras circundantes.

3.2. Clima

La clasificación del clima en el Valle de Valparaíso, fue obtenida de la cartografía del INEGI. En la parte baja del valle, del poblado de Valparaíso hacia el sureste, el clima se clasifica del tipo BS₁ (h') w (w) que corresponde a un tipo semiseco muy cálido y cálido. Hacia las mayores elevaciones topográficas, principalmente hacia el norte y este, el clima se clasifica como C (w0) que corresponden a un tipo templado subhúmedo con lluvias en verano. El plano con la clasificación del clima de acuerdo a Köppen fue obtenido de las hojas Atlas del INEGI.

La precipitación pluvial en la zona (hojas Atlas del INEGI) varía de 500 a poco más de 600 mm. El valle de Valparaíso tiene una forma alargada en donde la precipitación es de entre 500 y 600 mm. No existen estaciones climatológicas ubicadas dentro del acuífero, en las dos más cercanas se registrada una lluvia media anual que varía de 583.1 y 478.2 mm. Hacia las regiones topográficamente más elevadas que circundan al valle la precipitación media anual es ligeramente mayor a los 600 mm.

La temperatura media anual en el valle de Valparaíso es de 22° C y disminuye hacia las elevaciones topográficas, donde ésta es de alrededor de 17° C.

La vegetación que se presenta es del tipo selva baja caducifolia y se observa en los bordes del valle, hacia sur prevalece el matorral subtropical y hacia las partes montañosas, predominan los pastizales y bosques de encino y pino.

3.3. Hidrografía

La unidad hidrogeológica se localiza en la porción Nororiental de la Región Hidrológica No. 12 “Lerma-Chapala-Santiago”, en la Cuenca Hidrológica “Río Bolaños” y forma parte de las Subcuencas “Río Valparaíso”, “San Mateo” y “Río Colotlán”.

En el área de estudio la corriente superficial de mayor importancia está representada por el Río Valparaíso que corre de noreste al suroeste y que es afluente del Río Grande de Santiago. Este río es de carácter intermitente y tiene como principal afluente al Río Loreto que drena la parte noreste del área.

Existen en la zona pocas presas de almacenamiento de importancia (Tabla 2), mismas que a continuación se relacionan:

Nombre	Municipio	Capacidad Almacenamiento (Mm³)	Corriente aprovechada	Beneficio (Has.)
Manuel Felgueres (Lobatos)	Valparaíso	7.5	R. Pajaritos	408
Independencia Nacional (Santa Teresa)	Monte Escobedo	10.0	A. Santa Teresa	1,240
	Total	17.5		1,648

Tabla No. 2. Principales aprovechamientos hidráulicos superficiales de la zona

Además existen numerosos bordos y tanques de poca capacidad cuyas aguas almacenadas se destinan al abrevadero de ganado.

3.4 Geomorfología

Los principales sistemas montañosos son la Sierra de Valparaíso, ubicada al Occidente de la zona, y donde se presentan elevaciones máximas del orden de 2870 msnm, y la Sierra Los Álamos, ubicada al sureste, con elevaciones máximas de 2500 msnm. Las elevaciones mínimas se observan en las cañadas, siendo éstas del orden de 1500 msnm.

El patrón del drenaje es del tipo dendrítico. Las características geomorfológicas que se presentan en la zona corresponden a un rejuvenecimiento de una gran cuenca lacustre de

origen tectónico, evidenciado por la intensa erosión a que están sujetas las mesetas y lomeríos.

4. GEOLOGÍA

4.1 Estratigrafía

En la zona se tienen identificadas unidades que representan un registro geológico que comprende del Cretácico al Reciente. Las rocas más antiguas que afloran corresponden a una secuencia sedimentaria marina constituida por calizas y calizas arcillosas que subyacen de manera discordante a una secuencia de rocas volcánicas de edad Terciaria. El Cuaternario está representado por depósitos lacustres, aluvión, conglomerados y coladas de basalto (Figura 2).

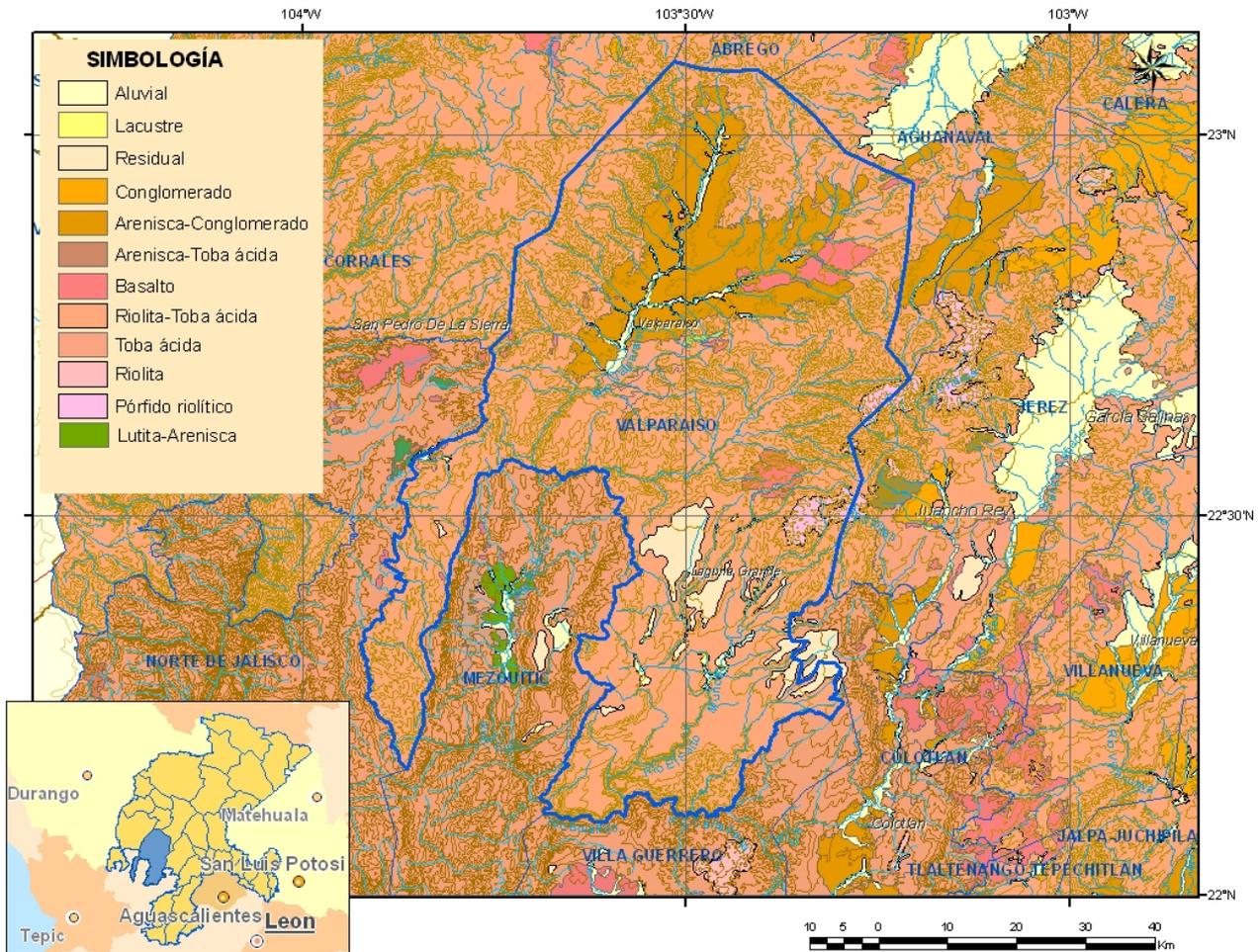


Figura No. 2. Mapa Geológico del acuífero Valparaíso

Sistema Cretácico

Caliza - lutita

La unidad es correlacionable con la Formación Indidura de edad Cretácico Superior, está constituida por una alternancia de calizas y lutitas dispuestas en capas delgadas y medianas. Las calizas son arenosas y las lutitas de composición calcárea. La unidad se presenta muy plegada con fracturamiento intenso; está intrusionada por diques de composición silícea. Sobreyace en forma concordante a la unidad calcárea del Cretácico Inferior, y subyace de

manera discordante a rocas volcánicas. Esta secuencia aflora al oeste de la comunidad Calera de San Miguel.

Sistema Terciario

Riolita y Toba

Secuencia de riolitas con intercalaciones de tobas ácidas, su color es rosa claro e intemperiza en rosa oscuro; presenta textura afanítica. La unidad sobreyace discordantemente a rocas calcáreas del Cretácico y subyace a conglomerados y aluviones. Es la unidad que tiene mayor área de exposición. En la zona de estudio.

De manera general las riolitas presentan una estructura afanítica y solo localmente en algunos afloramientos presentan textura porfídica. Su estructura es fluidal y en menor proporción esferulítica, su fracturamiento varía de moderado a intenso, de acuerdo a la localidad.

Pórfido Andesítico

Unidad que presenta fenocristales de plagioclasa y de hornblenda, de color gris con vivos blancos y con un fracturamiento en bloques. El pórfido está emplazado en la unidad de riolitas y tobas ácidas por lo que se le asigna una edad correspondiente al Terciario. Se relaciona con la unidad de andesitas y aflora al sureste del poblado Valparaíso.

Andesita

La unidad consiste de andesitas y andesitas basálticas de textura afanítica y de color gris oscuro con tonos ocre. Las andesitas se presentan muy fracturadas y con intemperismo esferoidal profundo. En la porción sureste de la zona se manifiesta como mesetas moderadamente disectadas. Aflora de manera importante al sur del poblado Valparaíso.

Sistema Cuaternario

Conglomerado

Está constituido por fragmentos de rocas volcánicas ácidas. Sobreyace a rocas cretácicas y rocas volcánicas ácidas y subyace a los depósitos lacustre y aluviales. Los afloramientos de esta unidad se presentan en la porción central del Valle de Valparaíso.

Basalto

Roca de textura afanítica, color gris oscuro a negro, se presenta generalmente en coladas masivas; en algunas localidades se observa lajeado o con estructura columnar. Se presenta formando pequeños lomeríos y mesetas de poca altura y reducido espesor. Sobreyace discordantemente a rocas cretácicas y en algunos lugares de manera concordante a rocas volcánicas ácidas. Su fracturamiento varía de moderado a intenso. Aflora en los alrededores de la localidad Calera de San Miguel.

Aluvión

Unidad de suelo de origen aluvial, el cual según la localidad, varía en su granulometría, presentándose el más grueso en los flancos de las sierras y hacia los valles el más fino. En algunos lugares se encuentra cubierto por una costra de caliche de espesor variable, su edad es del Reciente. Los afloramientos de esta unidad son de poca extensión, estos se presentan en el cauce de arroyos y del Río Valparaíso.

4.2 Geología Estructural

Los rasgos tectónicos regionales que caracterizan el área de estudio, son las fallas y fracturas con orientaciones N NE – S SW, que se observan en el valle de Valparaíso. Las aberturas que presentan las fracturas persisten a profundidades de al menos de 10 a 12 m, originando en algunos sitios de las sierras, zonas en donde se definen verdaderos apilamiento de bloques, de forma mas o menos cúbica, esta situación se presenta en algunas áreas de la Sierra de Valparaíso. En las zonas de valles, como el de Valparaíso, es posible que éstos coincidan con trazas de fallas normales de escaso salto, ya que no alcanzan a poner en contacto vertical rocas de diferentes tipos. Este fallamiento es la impresión de la última manifestación tectónica que afectó a la región, a la cual se le ha dado una edad de 11 millones de años, esto es, de la cima del Mioceno a la base del Pleistoceno; tiempo durante la cual se originaron intrusiones en forma de diques de composición basáltica.

4.3 Geología del Subsuelo

Con cortes litológicos y registros eléctricos de pozos construidos en diferentes años, se definió la mayor parte de la geometría del subsuelo.

El acuífero cubre superficialmente una extensión de 730 km², que representa el 18.0 % respecto al área total de la unidad hidrogeológica. Tiene forma alargada, con orientación Norte - Sur, longitudinalmente mide 50 km y tiene un ancho máximo de 20 km. Los depósitos granulares del Terciario y Cuaternario se encuentran conformando un acuífero de tipo libre, cuyas barreras laterales y basamento están compuestas por andesitas, calizas y rocas volcánicas compactas, descritas anteriormente. La profundidad del basamento varía de 30 m en los bordes laterales de la porción Norte del acuífero, a más de 300 m en la porción Sur, en los límites con el Estado de Aguascalientes.

5. HIDROGEOLOGÍA

5.1 Tipo de Acuífero

El acuífero principal del área está alojado en las areniscas tobáceas del Terciario Inferior que por su extensión se le considera de carácter regional. El espesor que presenta en el Valle de Valparaíso puede ser mayor a 250 m, que es la profundidad máxima alcanzada por algunos pozos perforados en dicho valle.

La roca que subyace al acuífero, es muy posible que sea de tipo andesítico, que es la roca ígnea más antigua que se ha detectado en la Sierra Madre Occidental, así como en las cercanías del área de estudio. Estas rocas se considera que constituye el basamento del acuífero.

La recarga del acuífero es inducida a través de las rocas ignimbríticas fracturadas y de los depósitos arenosos del Cuaternario. Ambos tipos de rocas suprayacen a las areniscas y conforman las sierras que delimitan el valle, los volúmenes de agua precipitados sobre estos afloramientos percolan hasta las areniscas, produciéndose la recarga al acuífero. Otra componente de la recarga es la infiltración de agua que se precipita sobre el mismo valle. Así mismo, un volumen pequeño proviene de los retornos del riego por bombeo.

La descarga natural es producida por un flujo subterráneo, siguiendo la dirección del Río Valparaíso, drenando hacia el sur, hacia el estado de Jalisco. La otra descarga del acuífero, es a través de la explotación que se efectúa por medio de pozos y norias concentrados en el valle.

Un segundo acuífero ubicado dentro de la unidad hidrogeológica Valparaíso, está alojado en material aluvial, de poca extensión y reducido espesor. Se ubica en la porción sur del área de estudio, al norte del poblado Monte Escobedo, en las inmediaciones del poblado de Laguna Grande

5.2 Parámetros hidráulicos

En la zona, a la fecha no se han realizado pruebas de bombeo que nos permitan conocer las principales características hidráulicas del acuífero, tal como la transmisividad y el coeficiente de almacenamiento.

Al no tener valores de transmisividad, y dada la necesidad de contar con este parámetro, fueron utilizados los valores de caudal específico de 8 aforos realizados en la zona, que fueron realizados en los últimos años. Los valores de caudal específico varían de 0.01 lps/m a 0.90 lps/m.

Los valores máximos se tienen en la parte central del valle entre las comunidades de Valparaíso y San Juan de Arriba, mientras que los valores más bajos se presentan en la porción norte en la comunidad San Mateo. En la porción sur se observan valores de 0.36 lps/m.

Para el caso del coeficiente de almacenamiento, atendiendo el tipo y características de los materiales que constituyen el subsuelo de la región, se adoptó un valor de 0.07, el cual queda dentro del rango de acuíferos libres.

5.3 Piezometría

Los primeros datos relativos a la posición del nivel del agua fueron tomados durante el estudio del año 1980, en el 2004 se realizó el estudio para la reactivación de redes de monitoreo, durante el cual se estableció la red piezométrica actual del acuífero, formada por 16 pozos piloto.

5.4 Comportamiento hidráulico

5.4.1 Profundidad al nivel estático

Con los datos de la profundidad al nivel estático medidos durante recorrido de campo realizado en junio de 2004 para los pozos de la red piezométrica, se construyó la configuración que se presenta en la Figura No.3, donde se observa que el nivel estático se encuentra entre 10 y 40 metros de profundidad.

En el extremo norte del valle, entre las comunidades El Molino y San Mateo, se presentan valores de 40 metros de profundidad, valores que disminuyen hacia el sur hasta llegar a

profundidades del nivel estático de 10 metros, observadas en las cercanías de las comunidades El Resbalón y La Peña Blanca. En la porción central, alrededor de la Cabecera Municipal de Valparaíso, el nivel se encuentra entre 10 y 20 metros de profundidad.

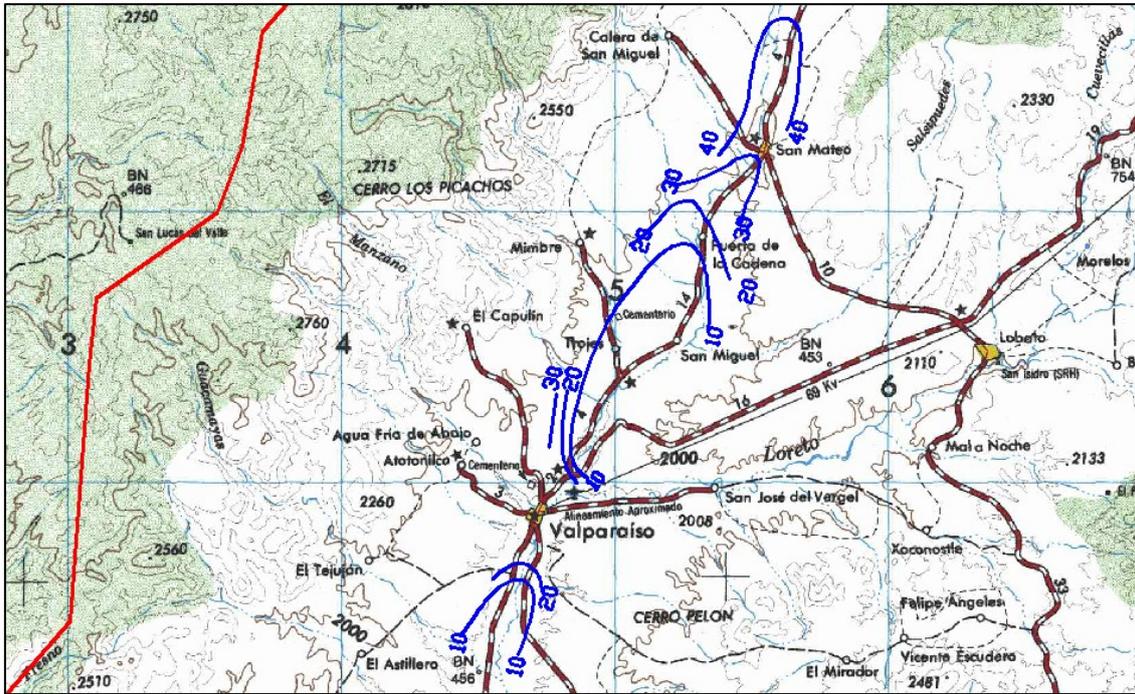


Figura No. 3. Configuración de la profundidad al Nivel Estático (junio 2004).

5.4.2 Elevación del nivel estático

La cota del brocal de los pozos que constituyen la red piezométrica fue interpolada a partir de las curvas topográficas del INEGI escala 1:50,000. Tomando en cuenta dichas cotas y la profundidad al nivel estático medida en julio de 2004, se calculó la elevación del nivel estático en metros sobre el nivel del mar.

La configuración de la elevación del nivel estático se presenta en la Figura No. 4, observándose que las mayores elevaciones se ubican en la parte norte del área de estudio siendo estas del orden de 2000 msnm, las cuales disminuyen en dirección sur, hacia la localidad La Peña Blanca, donde se registran valores de 1830 msnm. De esta manera, el flujo subterráneo se establece que, en términos generales, es de norte a sur, de manera similar a los escurrimientos de agua superficial.

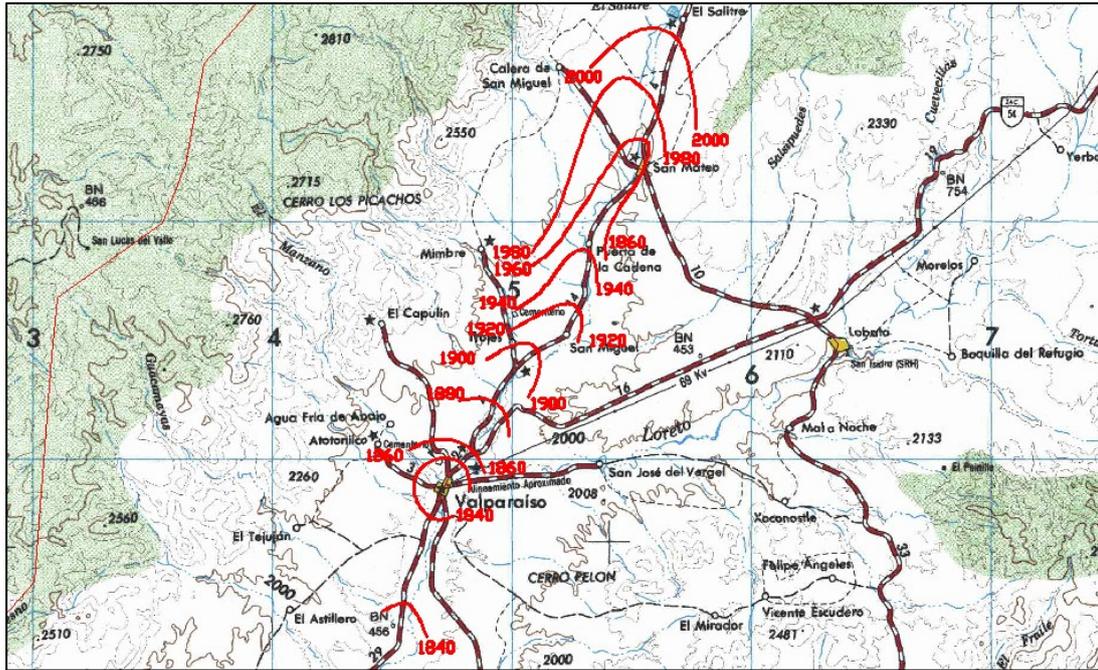


Figura No. 4. Configuración de la elevación del Nivel Estático (junio 2004).

5.4.3 Evolución del nivel estático

Para determinar la evolución del nivel estático, se consideró el período de enero de 1980 a junio de 2005, en este período prácticamente no se registraron variaciones importantes en la posición de los niveles del agua subterránea, únicamente se presentaron dos valores aislados de 6 m de abatimiento, uno de ellos en un pozo ubicado en la porción norte, cercano a la comunidad El Molino, y el otro en una obra que se localiza en la parte central, en la localidad San Miguel.

5.5 Hidrogeoquímica y calidad del agua subterránea

Para la determinación de las características químicas del agua, durante el estudio de prospección realizado en el año 1980, fueron recolectadas y analizadas 6 muestras de agua provenientes de pozos. Los resultados indicaron que, para ese año, las concentraciones de sales variaban de 315 a 429 partes por millón (ppm) de sólidos totales disueltos. Se advierte un ligero incremento en la concentración de los aprovechamientos ubicados en las márgenes del valle hacia el centro del mismo, lo cual indica la dirección de los flujos del agua subterránea.

En términos generales, el agua del acuífero es de reciente infiltración, dadas las bajas concentraciones de sólidos totales disueltos. Asimismo, las familias de agua definen que la circulación se ha llevado a cabo en rocas de constitución ácida, en donde los feldespatos que las constituyen son sódico-cálcicos y sódico-potásicos, dando como resultado que la familia de agua predominante sea la sódica bicarbonatada, en donde el bicarbonato indica la reciente infiltración del agua extraída.

6. CENSO DE APROVECHAMIENTOS E HIDROMETRÍA

La actualización del inventario de aprovechamientos hidráulicos subterráneos realizado por la Gerencia Estatal Zacatecas, de la Comisión Nacional del Agua, en febrero de 2005, reveló la existencia de 84 pozos, de estos, atendiendo su uso, 51 son destinados a la agricultura, 29 son para abastecimiento de agua potable y doméstico y los 4 restantes son utilizados con fines pecuarios.

En conjunto, estas obras extraen un volumen anual de 14.56 hm³/año, del cual 13.67 hm³/año es utilizado para uso agrícola, 0.89 hm³/año en agua potable, y 0.004 hm³/año para fines pecuarios.

El volumen de agua que se extrae por bombeo del acuífero, se estimó de acuerdo al siguiente criterio:

- En el caso de aprovechamientos de uso agrícola, se asignó un volumen de 6,000 m³/año por hectárea, que implica una lámina de riego promedio de 0.60 m, independientemente del cultivo realizado, a este volumen se le aplicó un valor de eficiencia total de acuerdo al tipo de riego.
- Para uso público urbano, se le asignó a cada habitante, una dotación de 150 litros por día, (54.75 m³/año).
- Para uso pecuario, se estimó aplicando un promedio de 50 litros por cabeza de ganado mayor, (18.25 m³/año), y 5 litros por cabeza de ganado menor, (1.825 m³/año).

En la tabla siguiente, se muestra la clasificación por usos del agua subterránea.

Uso	Número de obras	Volumen (hm ³ /año)	Porcentaje (%)
Agrícola	51	13.67	93.86
Público Urbano	29	0.89	6.11
Pecuario	4	0.004	0.03
Total	84	14.56	100.0

Tabla No. 3. Numero de obras y volumen de extracción por uso.

7. BALANCE DE AGUAS SUBTERRÁNEAS

El área donde se tiene información piezométrica, considerada para la realización del balance es de 730 km² que representa el 18 % respecto al área total de la unidad hidrogeológica. A partir de la configuración de elevación media del nivel estático para el periodo 1980-2005, se trazó la red de flujo y área de balance. Los valores obtenidos fueron referenciados a un año.

La ecuación general de balance, de acuerdo a la ley de la conservación de la masa es la siguiente:

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

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

$$\text{Recarga total} - \text{Descarga total} = \text{Cambio de almacenamiento en la unidad hidrogeológica}$$

De acuerdo al modelo conceptual de la zona puede representarse por los términos siguientes:

$$\mathbf{Eh + Rv + Ir - Sh - Dm - Cb - B = CVA}$$

Donde:

- Eh:** Recarga por flujo horizontal
- Rv:** Infiltración por lluvia
- Ir:** Retornos de riego
- Sh:** Salidas por flujo horizontal
- Dm:** Descargas por manantiales
- Cb:** Caudal Base
- B:** Bombeo
- CVA:** Cambio en el volumen almacenado

7.1 ENTRADAS

La recarga total (Rt) al acuífero Valparaíso está integrada básicamente por las entradas subterráneas (Eh), la recarga vertical por lluvia, y por los retornos del riego que se realiza en la zona.

7.1.1 Recarga natural

Esta recarga está constituida por la infiltración de una parte del agua precipitada en el área del valle y de la recarga por flujo horizontal subterráneo que se presenta al pie de las sierras y mesetas.

Recarga vertical (Rv)

Es uno de los términos que mayor incertidumbre implica su cálculo. Debido a que se tiene información para calcular el cambio de almacenamiento (ΔV), así como las entradas y salidas por flujo subterráneo, este valor es la incógnita a despejar en la ecuación de balance.

7.1.2. Recarga inducida

Infiltración en áreas de riego (Ir)

El volumen de agua que anualmente retorna al acuífero como consecuencia del riego que se realiza en el área, se calculó de acuerdo a la siguiente expresión:

$$\mathbf{Ir = vol. r * Cr}$$

Donde:

- Ir:** Infiltración por riego
- vol. r:** Volumen de agua aplicado al riego
- Cr:** Coeficiente de infiltración en la parcela (para este caso se consideró un valor del 12 %)

Sustituyendo valores:

$$Ir = 13.67 * 0.12$$

$$Ir = 1.6 \text{ hm}^3/\text{año} \text{ (Millones de metros cúbicos anuales).}$$

7.1.3. Entradas subterráneas horizontales (Eh)

El cálculo de entradas por flujo horizontal, producto de la precipitación que se infiltra en las zonas de recarga, se realizó con en base en la red de flujo, partiendo de la configuración de elevación media del nivel estático para el periodo 1980-2005 (Figura No. 4), de acuerdo a la siguiente expresión:

$$Q = T * B * i$$

Donde:

- Q:** Gasto que pasa por una determinada celda
- T:** Transmisividad
- B:** Ancho de celda
- i:** Gradiente hidráulico

El gasto obtenido en un total de 12 celdas de entrada fue de 0.3035 m³/s, que corresponde a **9.6 hm³/año**

Celda No.	T x10 ⁻³ (m ² /s)	B (m)	i (x10 ⁻³)	Q x10 ⁻³ (m ³ /s)	Q (hm ³ /a)
1	0.62	3300	11.43	23.38	0.74
2	0.62	3300	12.50	25.58	0.81
3	0.62	3600	22.22	49.60	1.56
4	0.62	3500	20.00	43.40	1.37
5	0.62	4800	16.67	49.60	1.56
6	0.26	2500	16.67	10.83	0.34
7	0.40	2500	30.00	30.00	0.95
8	0.26	2500	20.00	13.00	0.41
9	0.90	2200	11.11	22.00	0.69
10	0.90	1900	10.00	17.10	0.54
11	0.35	3500	9.09	11.14	0.35
12	0.35	2700	8.33	7.88	0.25
			Total	303.50	9.57

Tabla No. 4 Entradas subterráneas por flujo horizontal

Los valores de transmisividad utilizados para el cálculo de las entradas y salidas subterráneas, fueron obtenidos de pruebas de aforo recopiladas en los últimos años, como ya se explicó en el apartado de Hidrometría.

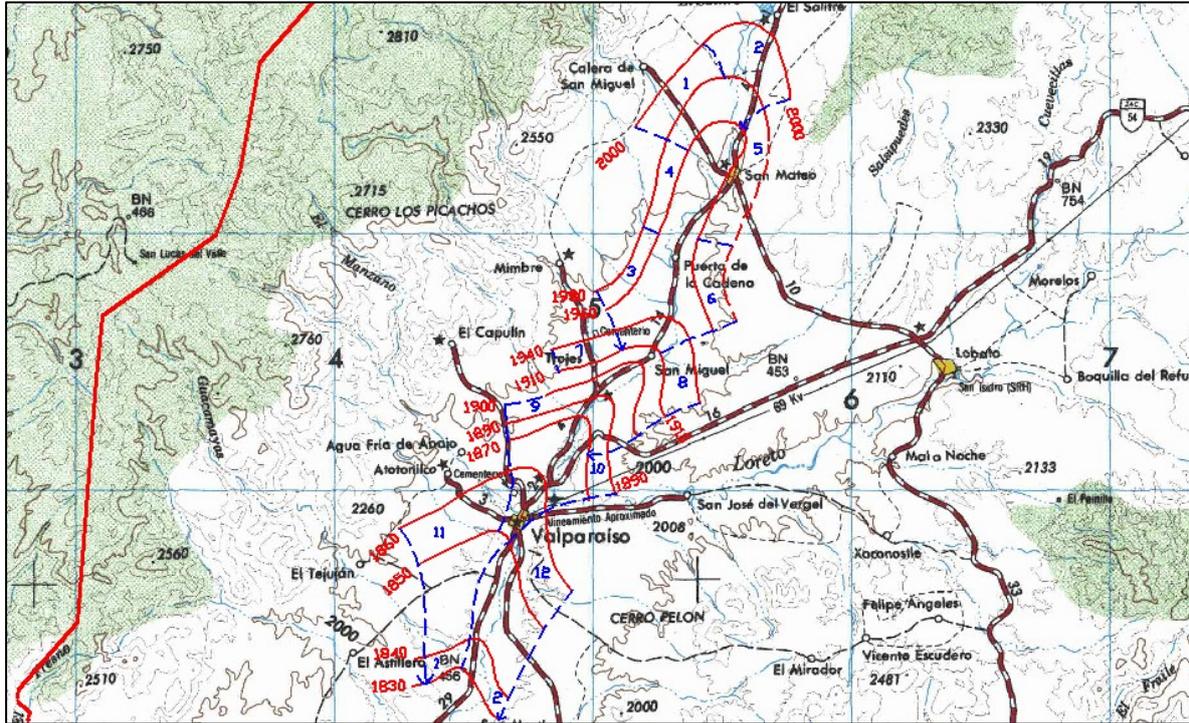


Figura No. 4. Celdas de entrada y salida y red de flujo (elevación media 1980 - 2005)

7.2 SALIDAS

7.2.1 Descargas naturales

Caudal base

La descarga de una unidad hidrogeológica a una corriente superficial, se le denomina “Caudal Base”, se determina a partir de los datos registrados en estaciones hidrométricas instaladas sobre el cauce de la corriente, mediante el análisis de hidrogramas para diferenciar el caudal base en temporada de estiaje. En el caso de la unidad hidrogeológica Valparaíso, el caudal base fue obtenido del análisis de datos del gasto medio mensual registrado en la estación hidrométrica y climatológica La Florida, ubicada sobre el Río Valparaíso, precisamente en el límite del área de balance. El valor obtenido equivale a **9.5 hm³/año** (Millones de metros cúbicos anuales).

Descarga por manantiales

El volumen de agua que brota a la superficie del terreno, por medio de 10 manantiales existentes en la zona Valparaíso, fue estimado en **1.4 hm³/año** (Millones de metros cúbicos anuales), ya que no se cuenta con observaciones hidrométricas.

7.2.2 Bombeo (B)

El volumen extraído del acuífero a través del bombeo, ya fue analizado en el apartado de hidrometría, el cual resultó ser del orden de **14.6 hm³/año** (Millones de metros cúbicos anuales).

7.2.3 Salidas subterráneas (Sh)

El volumen que sale del sistema por flujo horizontal, fue calculado de igual manera a las entradas, dando como resultado un valor de 0.0146 m³/s, obtenido en un total de 2 celdas de salida, por lo que el volumen para un año resultó ser de **0.5 hm³/año** (Millones de metros cúbicos anuales), que drenan con dirección sur, fuera del área de balance.

Celda No.	T x 10 ⁻³ (m ² /s)	B (m)	i (x 10 ⁻³)	Q x 10 ⁻³ (m ³ /s)	Q (hm ³ /s)
1	0.36	2300	6.25	5.18	0.16
2	0.36	3400	7.69	9.42	0.30
			Total	14.6	0.46

Tabla No. 5 Salidas subterráneas por flujo horizontal

7.3 CAMBIO DE ALMACENAMIENTO (ΔV(S))

Para la determinación de este termino se consideró la evolución piezométrica del acuífero en el intervalo de tiempo que comprende los años de 1980 a 2005, en base a la cual se realizó la configuración de curvas de igual evolución del nivel estático, determinando la variación del almacenamiento con la siguiente expresión:

$$\Delta V(S) = S * A * h$$

Donde:

- ΔV(S):** Cambio de almacenamiento en el período analizado
- S:** Coeficiente de almacenamiento promedio de la zona de balance
- A:** Área entre curvas de igual evolución del nivel estático
- h:** Valor medio de la variación piezométrica en el período

Con el cálculo realizado se determinó que la variación de los niveles piezométricos es poco significativa, que algunos valores negativos que se presentan son puntuales y por lo tanto despreciables; por lo que se deduce que el cambio de almacenamiento tiende a cero, esto quiere decir que el volumen bombeado es a costa de la recarga que recibe la unidad hidrogeológica

$$CVA = 0.0$$

Resultado Obtenido

De esta manera, el único parámetro de los que intervienen en la ecuación de balance que queda por determinar es la infiltración por lluvia (Rv), por lo que despejando este termino en la ecuación de balance, se tiene:

$$Rv = Sh + Dm + B + Cb - Eh - Ir - CVA$$

Sustituyendo valores:

$$Ip = 0.5 + 1.4 + 14.6 + 9.5 - 9.6 - 1.6 - 0.0$$

$$Ip = 14.8 \text{ hm}^3/\text{año} \text{ (Millones de metros cúbicos anuales).}$$

Sustituyendo valores en la ecuación general de balance:

$$\mathbf{Eh + Ip + Ir - Sh - Cb - Dm - B = CVA}$$

$$9.6 + 14.8 + 1.6 - 0.5 - 9.5 - 1.4 - 14.6 = 0.0$$

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

$$\mathbf{26.0 - 26.0 = 0.0 \text{ hm}^3/\text{año}$$
 (Millones de metros cúbicos anuales).

De los resultados antes expuestos, se desprende que el acuífero Valparaíso se encuentra en condiciones de subexplotación, puesto que actualmente la recarga que recibe el acuífero es del orden de 26.0 hm³/año (Millones de metros cúbicos anuales), en tanto que el volumen extraído por bombeo asciende a 14.6 hm³/año (Millones de metros cúbicos anuales).

8. DISPONIBILIDAD

Para el cálculo de la disponibilidad de aguas subterráneas se aplica el procedimiento establecido en la Norma Oficial Mexicana NOM-011-CNA-2000, conservación del recurso agua-que establece las especificaciones y el método para determinar la disponibilidad media anual de las aguas nacionales.

Dicha disponibilidad se determina por medio de la expresión siguiente:

$$\begin{array}{l} \text{Disponibilidad media anual} \\ \text{de agua subterránea en una} \\ \text{unidad hidrogeológica} \end{array} = \begin{array}{l} \text{Recarga} \\ \text{total media} \\ \text{anual} \end{array} - \begin{array}{l} \text{Descarga} \\ \text{natural} \\ \text{comprometida} \end{array} - \begin{array}{l} \text{Volumen anual de agua} \\ \text{subterránea concesionado e} \\ \text{inscrito en el REPDA} \end{array}$$

8.1 RECARGA TOTAL MEDIA ANUAL (Rt)

La recarga total media anual, calculada como la suma de la recarga natural (24.4 hm³/año) más la recarga inducida (1.6 hm³/año), arroja un valor de 26.0 hm³/año (Millones de metros cúbicos anuales).

8.2 DESCARGA NATURAL COMPROMETIDA (DNC)

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

Para el caso de la zona de estudio, en donde no existen descargas ni caudal base comprometidos, sólo se considerará como descarga comprometida el volumen concesionado de manantiales, estimado en 1.4 hm³/año; por lo que la ecuación queda como sigue:

$$\mathbf{DNC = 1.4 \text{ hm}^3/\text{año}$$
 (Millones de metros cúbicos anuales).

8.3 RENDIMIENTO PERMANENTE

El rendimiento permanente es la recarga total media anual menos la descarga natural comprometida. Por lo tanto, para el caso del acuífero Valparaíso el rendimiento permanente equivale a 24.6 hm³/año (Millones de metros cúbicos anuales).

8.4 VOLUMEN CONCESIONADO DE AGUAS SUBTERRÁNEAS

El volumen de agua subterránea concesionado e inscrito en el Registro Público de Derechos del Agua (REPDA), al 31 de mayo de 2005, consiste en 14'283,824 m³/año.

8.5 DISPONIBILIDAD DE AGUAS SUBTERRÁNEAS

La disponibilidad de aguas subterráneas, conforme a la metodología indicada en la NORMA Oficial Mexicana NOM-011-CNA-2000, Conservación del recurso agua-Que establece las especificaciones y el método para determinar la disponibilidad media anual de las aguas nacionales, se obtiene de restar a la recarga total los volúmenes de la descarga natural comprometida y el volumen concesionado e inscrito en el REPDA, de acuerdo a la expresión siguiente:

$$\mathbf{DAS = Rt - DNCOM- VCAS}$$

Donde:

DAS =	Disponibilidad media anual de agua subterránea en una unidad hidrogeológica.
Rt =	Recarga total media anual.
DNCOM =	Descarga natural comprometida.
VCAS =	Volumen de agua subterránea concesionado e inscrito en el REPDA.

En razón a lo anterior y sustituyendo valores en la ecuación obtenemos:

$$DAS = 26.0 - 1.4 - 14.283824$$

$$\mathbf{DAS = 10.316176 \text{ hm}^3/\text{año}} \text{ (Millones de metros cúbicos anuales).}$$

El resultado indica que existe un volumen de 10'316,176 m³ anuales disponibles para ser administrados, conforme se otorguen nuevas concesiones de agua y se realicen o actualicen los estudios técnicos, tomando en cuenta que la disponibilidad de agua subterránea varía a lo largo del tiempo, dependiendo de los cambios en el régimen natural de recarga, del comportamiento del acuífero, del manejo del agua y de los volúmenes concesionados.

9. BIBLIOGRAFÍA

Consejo de Recursos Minerales. “Monografía Geológico - Minera del Estado de Zacatecas”. 1991.

Coordinación General de los Servicios Nacionales de Estadística, Geografía e Informática. “Síntesis Geográfica de Zacatecas”, Texto y Planos. 1981.

Custodio, Llamas E., “Hidrogeología Práctica”.

Johnson, Edward E. “El aguas Subterránea y los Pozos: Johnson Division, UOP Inc.”, 1975.

Servicios de Prospección y Levantamientos Geológicos y Geofísicos en la zona de Valparaíso, estado de Zacatecas., S.A.R.H., 1980.

Reactivación de la red de monitoreo piezométrico en el acuífero de Valparaíso, CNA, 2004.