

***Actualización de la disponibilidad media anual  
de agua en el acuífero Abrego (3215), 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.**

CDIII REGIÓN HIDROLÓGICO-ADMINISTRATIVA "CUENCAS CENTRALES DEL NORTE"							
CLAVE	ACUÍFERO	R	DNCOM	VCAS	VEXTET	DAS	DÉFICIT
CIFRAS EN MILLONES DE METROS CÚBICOS ANUALES							
<b>ESTADO DE ZACATECAS</b>							
3215	ABREGO	20.0	3.2	19.553551	22.2	0.000000	-2.753551

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  
ABREGO, ESTADO DE ZACATECAS***

## DETERMINACIÓN DE LA DISPONIBILIDAD DE AGUA EN EL ACUÍFERO ABREGO, ESTADO DE ZACATECAS

### CONTENIDO

	<b>Página</b>
<b>1. GENERALIDADES.....</b>	<b>2</b>
1.1. Localización.....	2
1.2. Situación administrativa del acuífero.....	4
<b>2. ESTUDIOS TÉCNICOS REALIZADOS CON ANTERIORIDAD.....</b>	<b>5</b>
<b>3. FISIOGRAFÍA.....</b>	<b>5</b>
3.1. Provincia fisiográfica.....	5
3.2. Clima.....	5
3.3. Hidrografía.....	7
3.4. Geomorfología.....	7
<b>4. GEOLOGÍA.....</b>	<b>8</b>
4.1. Estratigrafía.....	8
4.2. Geología estructural.....	9
4.3. Geología del subsuelo.....	10
<b>5. HIDROGEOLOGÍA.....</b>	<b>10</b>
5.1. Tipo de acuífero.....	10
5.2. Parámetros hidráulicos.....	10
5.3. Piezometría.....	11
5.4. Comportamiento hidráulico.....	11
5.4.1. Profundidad al nivel estático.....	11
5.4.2. Elevación del nivel estático.....	12
5.4.3. Evolución del nivel estático.....	12
5.5. Hidrogeoquímica y calidad del agua subterránea.....	13
<b>6. CENSO DE APROVECHAMIENTOS E HIDROMETRÍA.....</b>	<b>14</b>
<b>7. BALANCE DE AGUAS SUBTERRÁNEAS.....</b>	<b>14</b>
7.1. Entradas.....	15
7.1.1. Recarga natural.....	15
7.1.2. Recarga inducida.....	15
7.1.3. Entradas por flujo subterráneo horizontal.....	16
7.2. Salidas.....	17
7.2.1. Descargas naturales.....	17
7.2.2. Bombeo.....	17
7.2.3. Salidas por flujo subterráneo horizontal.....	17
7.3. Cambio de almacenamiento.....	18
<b>8. DISPONIBILIDAD.....</b>	<b>19</b>
8.1. Recarga total media anual.....	19
8.2. Descarga natural comprometida.....	20
8.3. Rendimiento permanente.....	20
8.4. Volumen concesionado de aguas subterráneas.....	20
8.5. Disponibilidad de aguas subterráneas.....	20
<b>9. BIBLIOGRAFÍA Y REFERENCIAS.....</b>	<b>21</b>

## **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 concesionar, 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 área de estudio se localiza en la porción centro occidental del Estado de Zacatecas, comprende una superficie de 1420 km<sup>2</sup>, que corresponde al 1.9 % del territorio estatal, de estos la mayor parte corresponde al municipio de Fresnillo y el resto a los municipios de Sombrerete, Saín Alto y una pequeña fracción de Valparaíso. Figura 1.

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

**ACUIFERO 3215 ABREGO**

VERTICE	LONGITUD OESTE			LATITUD NORTE		
	GRADOS	MINUTOS	SEGUNDOS	GRADOS	MINUTOS	SEGUNDOS
1	103	28	47.1	23	5	15.8
2	103	30	58.1	23	5	48.1
3	103	28	20.2	23	11	35.9
4	103	27	9.1	23	13	36.4
5	103	23	28.2	23	14	40.4
6	103	27	42.1	23	16	38.0
7	103	27	52.4	23	18	10.9
8	103	34	37.0	23	16	48.3
9	103	35	49.3	23	19	2.5
10	103	36	14.5	23	22	6.3
11	103	34	35.6	23	22	18.7
12	103	31	47.5	23	23	33.7
13	103	28	8.0	23	29	11.5
14	103	18	6.8	23	26	23.3
15	103	16	4.9	23	27	2.6
16	103	13	8.3	23	25	49.6
17	103	11	29.7	23	21	57.5
18	103	12	46.8	23	19	38.6
19	103	12	48.4	23	17	22.0
20	103	9	33.1	23	17	46.5
21	103	10	8.0	23	15	21.7
22	103	14	16.0	23	9	27.5
23	103	23	14.5	23	4	17.2
24	103	24	26.7	23	5	7.7
25	103	26	48.5	23	5	0.7
1	103	28	47.1	23	5	15.8

**Tabla 1. Coordenadas que definen al área del acuífero Abrego**

Entre las poblaciones importantes que se ubican dentro del área, destacan El Centro, Francisco I. Madero, Felipe Ángeles, San Pedro de Abrego, Urite, El Carrizalillo, El Porvenir, El Refugio de Abrego y Leobardo Reynoso.

Las poblaciones ubicadas en esta región se consideran como localidades semiurbanas a poblaciones rurales. La zona esta escasamente comunicada, únicamente se cuenta con caminos de tierra y revestimiento, cuya circulación, en su gran mayoría, se ve interrumpida en la época de lluvias.

La vía de comunicación de mayor importancia dentro del área de estudio es la terracería que une las porciones Norte y Sur de la zona, pasando por las comunidades San Juan del Centro, Colonia La Casita, El Centro, Francisco I. Madero, La Quemada y San José del Río. La porción Sur se encuentra comunicada por una terracería que va de Oriente a Poniente, uniendo los poblados Leobardo Reynoso, San Pedro de Abrego, El Refugio de Abrego y Vicente Guerrero.

Las actividades económicas de importancia que se desarrollan en esta región son la agricultura de riego y temporal, siendo los principales cultivos chile, frijol y maíz, algunos cultivos secundarios son cebolla, ajo y papa. Otra actividad es la ganadería, siendo la cría de ganado bovino y caprino de las principales que se llevan a cabo en esta región.

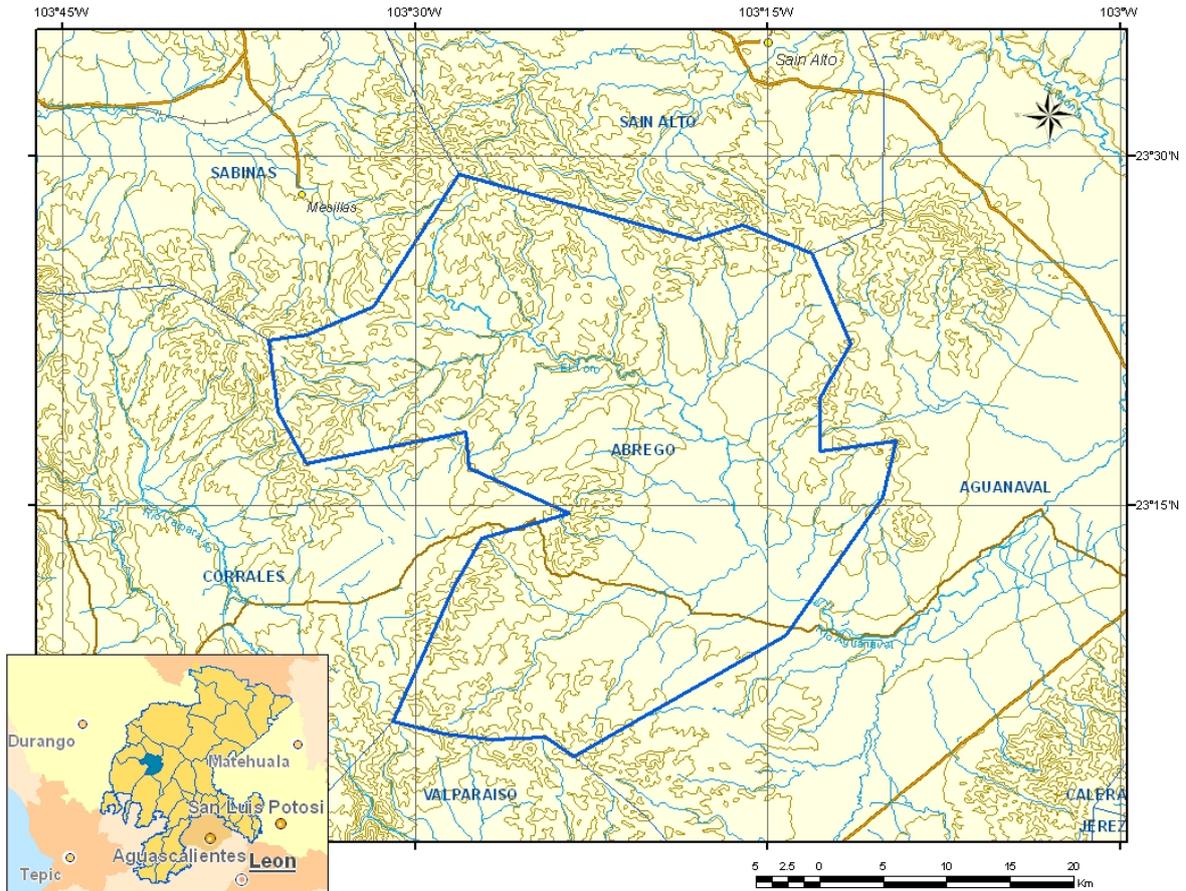


Figura 1. Localización del acuífero Abrego, Zacatecas.

## 1.2 Situación Administrativa del Acuífero.

La conservación de las aguas del subsuelo, fue declarada de interés público por el Ejecutivo Federal, mediante los decretos de veda publicados en el Diario Oficial de la Federación los días 16 de mayo de 1960, 6 de abril de 1981 y 5 de agosto de 1988; la primera y última corresponden a decretos de veda tipo III, esta veda permite extracciones limitadas para usos domésticos, industriales, de riego y otros; mientras que la veda del 6 de abril de 1981, se clasifica como tipo II, la cual se describe como zona de veda en la que la capacidad de los mantos acuíferos solo permiten extracciones limitadas para usos domésticos.

Así mismo, en el Estado están definidas distintas zonas de disponibilidad, que de acuerdo a la Ley Federal de Derechos vigente para el año 2006, de los cuatro municipios que conforman la región, Fresnillo se ubica en la zona de disponibilidad 4; mientras que los tres restantes (Saín Alto, Sombrerete y Valparaíso) se ubican en zona de disponibilidad 7.

El acuífero Abrego queda comprendido dentro de la Región Administrativa VII Cuencas Centrales del Norte; forma parte del Consejo de Cuenca del Aguanaval y no cuenta con un Comité Técnico de Aguas subterráneas, COTAS (situación al mes de mayo de 2006).

## **2. ESTUDIOS TÉCNICOS REALIZADOS CON ANTERIORIDAD.**

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 km<sup>2</sup>, tomando como centro el Valle de Valparaíso. Estos trabajos cubrieron solamente la porción sur de la zona de Abrego y 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 físico - químico y toma de lecturas piezométricas, descripción de unidades hidrogeológicas, funcionamiento hidráulico superficial y subterráneo. El estudio concluye que el acuífero regional existente, 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 subterránea, su objetivo fue conocer las posibilidades acuíferas del valle de Valparaíso, definiendo además áreas favorables para la perforación de pozos.

- Censo de aprovechamientos, 1992.

La Gerencia Estatal de la Comisión Nacional del Agua, realizó la actualización del inventario de aprovechamientos, y posteriormente, en 1994, se efectuaron actividades de nivelación de brocales de pozos, estableciéndose una red de monitoreo, con un total de 90 obras niveladas de las cuales se designaron 38 como pozos piloto.

## **3. FISIOGRAFÍA.**

### **3.1. Provincia Fisiográfica**

El área pertenece a la provincia fisiográfica de la Sierra Madre Occidental (Raisz, 1964), ocupando parte de la Subprovincia Sierras y Valles Zacatecanos, se encuentra colindando tanto al norte como al oriente con la provincia fisiográfica de la Mesa Central.

Los sistemas de topofomas presentes en el área, son los siguientes: en la parte central predomina un piso amplio de valle, que se encuentra delimitado al norte y oriente por lomeríos con bajadas y una sierra alta con mesetas que es conocida como Sierra de Chapultepec; en la parte occidental se encuentra bordeado por una sierra baja y mesetas escalonadas con cañadas; al sur predominan los lomeríos con bajadas.

### **3.2. Clima**

En esta zona, de acuerdo a la clasificación de W. Köppen, modificado por E. García, se distinguen dos tipos de clima: la mayor parte de la zona pertenece al tipo semiseco BS1 kw, con lluvias en verano y en menor proporción en invierno; al occidente de la zona, en la parte de la sierra, se presenta un clima de tipo templado C (w<sub>0</sub>).

Para el análisis climatológico se contó con la información de dos estaciones climatológicas: Mesillas y Corrales, y una hidrométrica: Leobardo Reynoso.

La primera se localiza en el límite oriental del área, las otras dos se localizan fuera de la zona de estudio, muy cerca del límite de la cuenca, éstas se presentan a continuación con su localización geográfica y periodo de análisis.

Estación Climatológica	Coordenadas Geográficas		Período de información (años)
	latitud	longitud	
Leobardo Reynoso	23° 10' 46"	102° 12' 26"	1947 - 1999
Mesillas	22° 28' 24"	103° 34' 51"	1980 - 1999
Corrales	23° 13' 51"	103° 38' 36"	1978 - 1999

**Tabla 2. Estaciones climatológicas acuífero Abrego**

### 3.2.1 Precipitación media anual

La precipitación promedio anual es de 444.4 mm, varía de un valor máximo de 705.8 mm, registrada en la estación climatológica de Corrales, en el año de 1983, a un mínimo de 241.9 mm, registrada en la estación Leobardo Reynoso en el año de 1969.

Respecto a la precipitación media mensual, el valor máximo se registró en la estación climatológica de Corrales en el mes de julio con 115.3 mm, el valor mínimo fue reportado en el mes de marzo en la misma estación, este fue de 2.3 mm.

Los histogramas de precipitación promedio anual y mensual muestran una alternancia de años húmedos y secos en periodos de uno a cinco años, el periodo de lluvias, en general, es de junio a septiembre, con lluvias en invierno, siendo marzo el mes más seco.

### 3.2.2 Temperatura media anual

El valor promedio de temperatura media anual es de 16.2 °C; el valor mayor se obtuvo en el año 1982, con 17.8 °C, registrada en la estación climatológica Mesillas; la temperatura mínima fue de 13.1 °C, tomada en 1992 en la estación climatológica de Corrales.

La temperatura máxima media mensual, se registró en el mes de junio en la estación Leobardo Reynoso con 20.9 °C; la mínima fue de 10.3 °C, obtenida en el mes de enero en la estación Corrales; el período caluroso del año es de mayo a agosto, siendo enero el mes más frío.

### 3.2.3 Evaporación potencial media anual

La evaporación potencial media anual es de 1898.5 mm; el año con índice mayor de evaporación media fue 1957 con un valor de 2409.3 mm, reportada en la estación Leobardo Reynoso; el valor menor fue de 1198.8 mm, reportado en la estación climatológica de mesillas en el año 1985.

La evaporación promedio mensual para el período analizado fue de 158.2 mm; el mes con índice mayor de evaporación media fue mayo con 248.6 mm, obtenida en la estación climatológica de Corrales; el de menor valor fue diciembre con 87.9 mm, reportada en la estación climatológica de Mesillas.

### **3.3. Hidrografía.**

El área corresponde a la Subcuenca “Río de los Lazos” que pertenecen a la cuenca del “Río Aguanaval”, de la Región Hidrológica No, 36, “Río Nazas - Aguanaval”.

La corriente superficial de mayor importancia es el Río San Francisco, que es afluente del Río Aguanaval, es de carácter intermitente, drena de Norte a Sur, por la parte central de la zona, hacia la presa Leobardo Reynoso; sus principales afluentes son los arroyos Cerro Blanco y Paso de Arena, que drenan la porción Norte de la zona.

Otra corriente de importancia es el arroyo Abrego conocido también como Los Lazos, este fluye de Poniente a Oriente, drenando la porción Suroeste de la zona de estudio. Todos los escurrimientos son de régimen intermitente y drenan a la presa Leobardo Reynoso.

Existen diversos aprovechamientos de aguas superficiales siendo el principal la presa Leobardo Reynoso, que cuenta con una capacidad de 118 Mm<sup>3</sup>, cuya área de riego se encuentra dentro de la unidad hidrogeológica Aguanaval.

Existen otros almacenamientos de menor importancia, siendo estos la Presa San José, que se encuentra localizada al Noroeste de la comunidad San Antonio de las Huertas, sobre el Arroyo El Sotolar; la Presa El Saucillo, localizada al Norte de la misma comunidad, sobre el arroyo del mismo nombre; así mismo, la Presa El Valle, que se ubica al Sur de San Antonio de las Huertas y aprovecha las aguas del Arroyo La Noria.

Estas tres presas anteriores se ubican en la porción sur poniente de la zona de estudio. Una presa más se ubica al norte del área, entre las comunidades El Centro y La Casita, la cual es conocida como Presa el Carrizalillo.

### **3.4. Geomorfología.**

Los principales sistemas montañosos están formados por rocas volcánicas ácidas, y están representados por la Sierra de Chapultepec, donde se presentan elevaciones máximas del orden de 2930 msnm, delimitando la zona al norte y oriente; y la Cordillera La Moneda de Cinco Pesos, que se observa al poniente del área y presenta elevaciones de 2900 msnm. Las elevaciones mínimas se presentan en el valle, siendo éstas del orden de 2130 msnm.

El patrón del drenaje es del tipo dendrítico. Las características geomorfológicas que se representan en la zona corresponden a una etapa de madurez temprana, caracterizada por mesetas que presentan escarpes y lomeríos producto de la erosión.

## **4. GEOLOGÍA.**

Las rocas más antiguas que afloran son de edad Terciaria, siendo una secuencia de rocas ígneas piroclásticas que corresponden a riolitas con intercalaciones de tobas ácidas, la unidad sobreyace discordantemente a rocas del Cretácico Superior de las formaciones Indidura y Caracol; subyace a conglomerados y aluviones del cuaternario (figura No. 2).

### **4.1 Estratigrafía.**

#### **Sistema Terciario**

##### ***Riolitas y Tobas***

Esta unidad presenta una secuencia de riolitas con intercalaciones de toba ácida, su color es rosa claro e intemperiza en rosa oscuro, presenta textura afanítica.

La unidad sobreyace discordantemente a rocas calcáreas del Cretácico Superior, y subyace a conglomerados y aluviones, su edad corresponde al Terciario. Aflora ampliamente en la zona de estudio. Esta unidad se puede observar entre la comunidad El Refugio, El Cerro La Daga y la Comunidad La Salud.

##### ***Riolita***

Unidad de roca que presenta estructura fluidal y afanítica, con algunos fenocristales de feldespatos potásicos y cuarzo, presenta un color rosa que intemperiza a rosa oscuro, su fracturamiento es moderado, en algunos lugares sobreyace a tobas ácidas, y subyace a conglomerados, basaltos y aluvi6n. La edad que le corresponde es del Terciario, se presenta en la Sierra de Chapultepec, en afloramientos de mediana extensi6n, al Noreste de la comunidad Felipe ngeles.

##### ***Toba cida***

Unidad de roca ígnea, piroclástica, ácida, de color rosa, en algunos lugares, se presenta brechoide y arenosa; se encuentran subyaciendo a basaltos y conglomerados. Su edad corresponde al Terciario. Aflora en la Cordillera La Moneda de Cinco Pesos, en los alrededores de la comunidad Vasco de Quiroga, Francisco I. Madero y San Antonio de las Huertas.

##### ***Basalto***

Es de textura afanítica, de color gris oscuro a negro, se presenta generalmente en coladas masivas y en algunos lugares lajeado y en estructura columnar. Se observa formando pequeños lomeríos y mesetas de poca altura, de reducido espesor, sobreyaciendo a rocas volcánicas y a conglomerados del Cuaternario. Es correlacionable con derrames básicos del Terciario Superior. Se presenta formando pequeños afloramientos al Poniente, Sur y Suroeste del área de estudio.

## Sistema Cuaternario Aluvión

Su composición varía desde arcillosa en el valle hasta areno - gravosa en los pie de monte y abanicos aluviales. Aflora ampliamente en los alrededores de los poblados de El Rosario, La Florida, así como al Noreste del Río San Francisco.

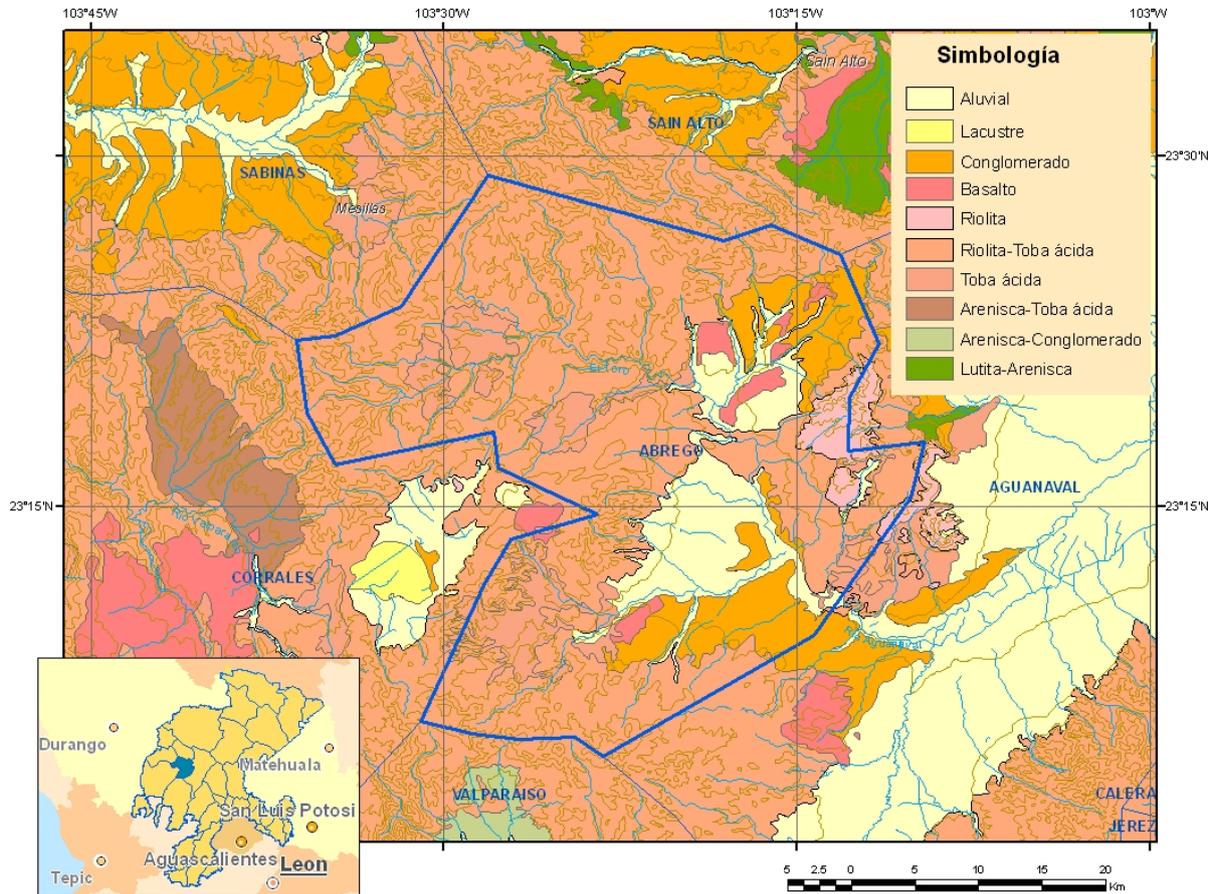


Figura 2. Geología Regional

### 4.2 Geología Estructural.

Se han podido reconocer en el área, dos fases tectónicas de deformación principales. La primera ocurrió a finales del Cretácico, representada por movimientos de compresión, conocidos como Orogenia Laramide que originó el plegamiento de toda la secuencia Mesozoica.

En el Plioceno se inició un periodo de distensión que originó numerosas fracturas y fallas normales, estas estructuras, junto con los plegamientos, son los rasgos estructurales principales de la zona. Las fallas normales no están plenamente identificadas, sin embargo se estima, que éstas se encuentran presentes al igual que en otros acuíferos del Estado.

### **4.3 Geología del subsuelo.**

En la zona, a la fecha no se han realizado estudios de geofísica para definir la geometría de las unidades que constituyen el subsuelo y la profundidad al basamento, únicamente se cuenta con cortes litológicos de pozos construidos en diferentes años, con los cuales se ha interpretado la geometría del subsuelo.

El acuífero cubre superficialmente una extensión de 262 km<sup>2</sup>, que representa el 18 % respecto al área total de la unidad hidrogeológica, tiene forma ligeramente alargada, con una orientación general Norte - Sur, longitudinalmente mide 32 km, su ancho medio es de 8 Km. Presenta un estrechamiento en la parte media, a la altura de la Comunidad La Quemada, donde afloran rocas volcánicas.

## **5. HIDROGEOLOGÍA.**

### **5.1 Tipo de acuífero**

Los cortes litológicos muestran que el acuífero es de tipo libre o no confinado, formado en su parte superior por gravas y depósitos arcillo-arenosos; y en su parte inferior por conglomerados. El basamento es probable que esté formado por rocas del Cretácico Superior de las formaciones Indidura y Caracol.

La recarga se produce por la precipitación pluvial que se realiza sobre las sierras y lomeríos, parte de esta se infiltra y alimenta por flujo subterráneo al acuífero, otra parte del volumen precipitado forma escurrimientos, que se infiltran posteriormente, al llegar al contacto de las zonas topográficamente altas con los materiales granulares que constituyen el acuífero.

Existen entradas por flujo vertical como consecuencia de la infiltración de agua que se precipita sobre la superficie del acuífero y por infiltración de los arroyos formados en el valle, un volumen pequeño proviene de los retornos de riego por bombeo.

La descarga se realiza de manera artificial por bombeo de pozos, actualmente no existen salidas de manera natural por manantiales, tal como debió de ocurrir en condiciones iniciales. Así mismo, se presentan salidas naturales, por flujo horizontal, hacia la Presa Leobardo Reynoso.

La dirección del flujo subterráneo se presenta en una forma radial concéntrica; únicamente en la porción Sureste de la zona, entre las comunidades de San Felipe y San José del Río, el flujo toma un rumbo general Noroeste – Sureste.

### **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 15 aforos realizados en la zona, que fueron recopilados en los últimos años. Con los cuales fue elaborado el plano de isovalores de caudal específico, donde se observa que estos varían de 0.5 lps/m a 2.0 lps/m.

Los valores máximos se tienen en la parte centro-oeste, y los valores más bajos se presentan en las cercanías de las comunidades de El Jagüey y La Blanquita.

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

### 5.3 Piezometría.

Los primeros datos relativos a la posición del nivel del agua fueron tomados en el año de 1992, posteriormente, en 1994, se efectuaron actividades de nivelación de brocales de los pozos, estableciéndose la red de monitoreo, con un total de 90 obras niveladas de las cuales se designaron 38 pozos piloto, realizándose toma de lecturas en 1996 y 2000.

### 5.4 Comportamiento hidráulico

#### 5.4.1 Profundidad al nivel estático

La profundidad del nivel del agua subterránea correspondiente a la configuración de julio de 2000, presenta valores que varían de 50 a 100 m, los valores más altos se observan al Norte de la comunidad Vicente Guerrero, en la zona de transición del acuífero con la zona de recarga.

En la porción central del valle las profundidades varían de 60 a 90 m, decreciendo los valores hacia la porción Sureste, en las cercanías de la Presa Leobardo Reynoso, donde se observan los valores mínimos de 50 m. Figura 3.

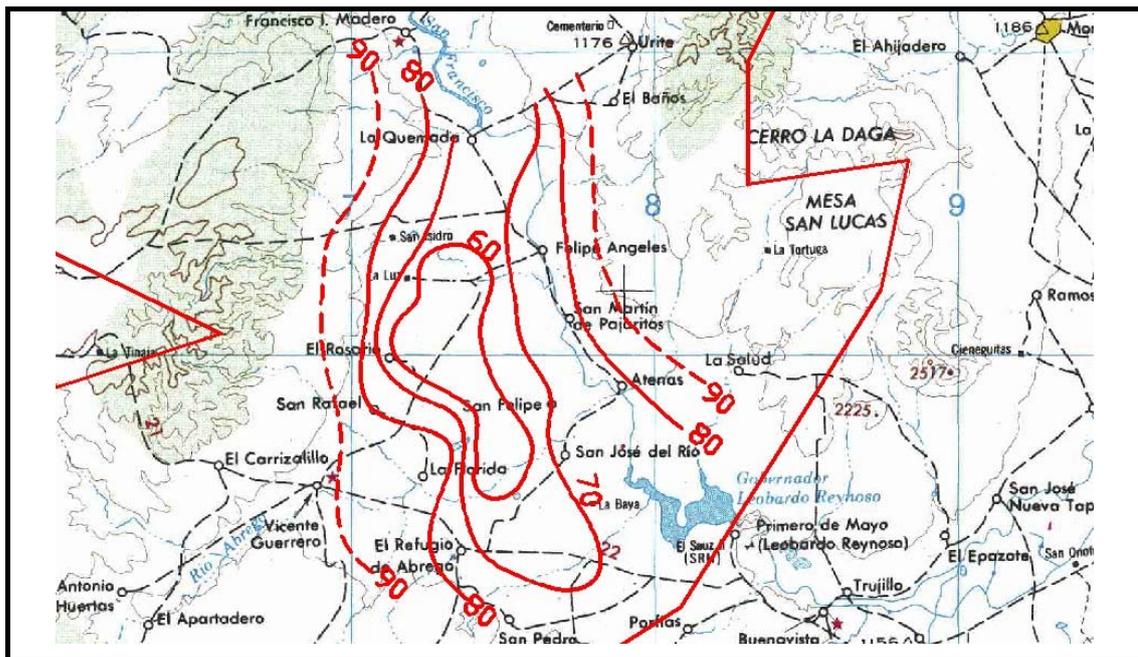


Figura 3. Configuración de la profundidad al Nivel Estático (Julio 2000).



locales. Bajo estas consideraciones, el ritmo de abatimiento medio anual es de 0.25 a 1.0 m. Figura 5.

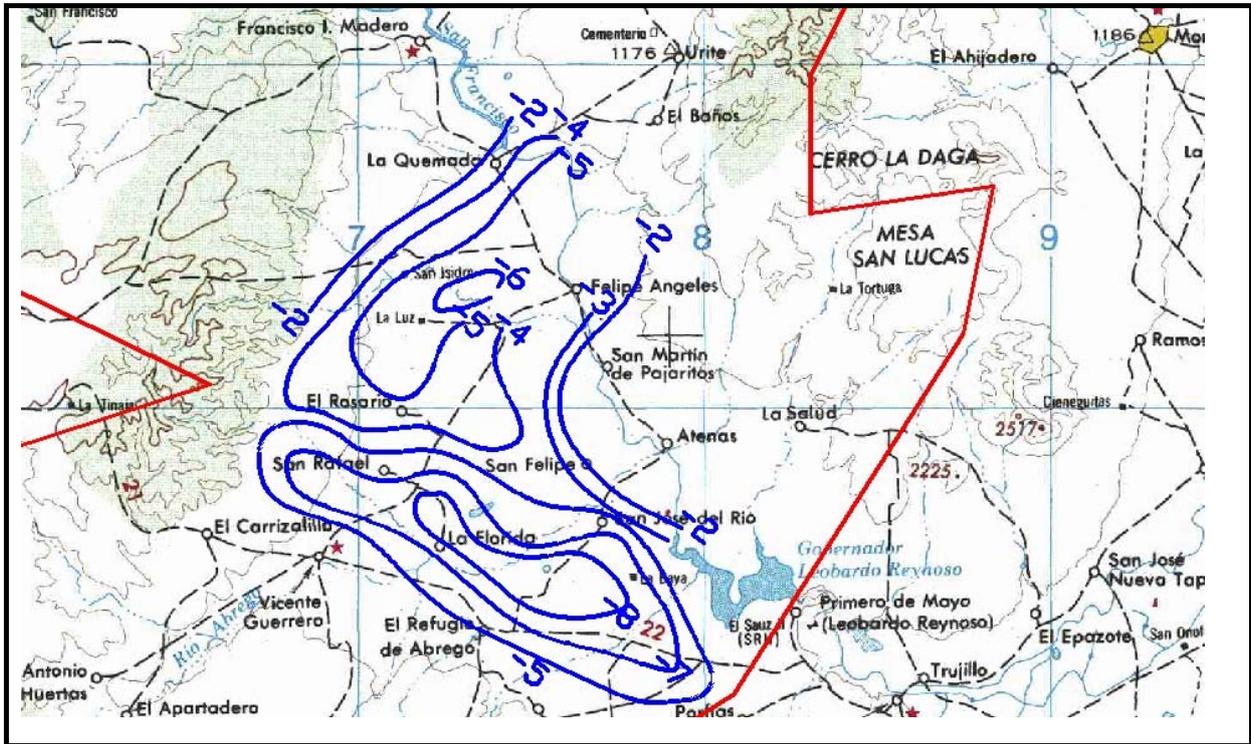


Figura 5. Configuración de la evolución del Nivel Estático (1992 - 2000).

## 5.5 Hidrogeoquímica y calidad del agua subterránea

La calidad del agua se determinó de un total de 10 muestras de agua, que fueron tomadas durante el recorrido de monitoreo piezométrico realizado en junio de 2000. En general la calidad del agua subterránea es buena para todo uso, no existen fuentes importantes de contaminación que pudieran alterar la calidad del agua del acuífero.

La concentración de sólidos totales disueltos, varía de 359.5 ppm, a valores mínimos del orden de 200.5 ppm. Los valores de mayor concentración de sólidos totales disueltos se presentan en la porción central del acuífero, lo que probablemente se deba a que sea una zona donde converge el flujo subterráneo.

Respecto a la clasificación del agua para uso agrícola, la totalidad de las muestras quedan dentro de la clase C1-S1, que se considera de salinidad baja y con poco contenido de sodio, por lo que es recomendable su uso en todo tipo de suelos.

En lo que corresponde a la calidad de agua para uso potable, es de buena calidad, toda vez que el contenido de sólidos totales disueltos no sobrepasa las 360 ppm., por lo que se puede considerar como agua dulce.

## 6. CENSO DE APROVECHAMIENTOS E HIDROMETRÍA

En el área, se tienen inventariados un total de 99 aprovechamientos de agua subterránea, de estos 86 están activos y 13 se encontraron inactivos; el total de los aprovechamientos son pozos. De las obras activas, 74 son utilizadas con fines agrícolas, 10 para público-urbano y 2 son doméstico – abrevadero.

En conjunto, estas obras extraen un volumen anual de 22.23 hm<sup>3</sup>/año (Millones de metros cúbicos anuales anuales). La actividad que demanda mayor cantidad de agua es la agricultura, para este uso se extrae un volumen de 21.96 hm<sup>3</sup>/año, mientras que en uso público-urbano son utilizados 0.25 hm<sup>3</sup>/año y 0.02 hm<sup>3</sup>/año para doméstico – pecuario,

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 m<sup>3</sup>/año por hectárea, que implica una lámina de riego promedio de 0.60 m, independientemente del cultivo realizado, a este volumen se le aplico 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 m<sup>3</sup>/año).

Para uso pecuario, se estimó aplicando un promedio de 50 litros por cabeza de ganado mayor, (18.25 m<sup>3</sup>/año), y 5 litros por cabeza de ganado menor (1.825 m<sup>3</sup>/año).

En la tabla 3 siguiente se muestra la clasificación por usos del agua subterránea

Uso	Número de obras	Volumen (hm <sup>3</sup> /año)	Porcentaje (%)
Agrícola	74	21.96	98.79
Público-Urbano	10	0.25	1.12
Doméstico-Abrevadero	2	0.02	0.09
Industrial	0	0.00	0.00
Total	86	22.23	100.0

**Tabla 3. Número de aprovechamientos 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 262 km<sup>2</sup> y el periodo considerado fue 1992-2000. A partir de las configuraciones de elevación media del nivel estático para ambos años, se trazo la red de flujo y área de balance. Los valores obtenidos fueron referenciados a 1 año.

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

## **Entradas (E) - Salidas (S) = Cambio en el volumen almacenado (CVA)**

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

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

Donde:

- Eh: Recarga por flujo horizontal de zonas de recarga
- Ip: Infiltración por lluvia
- Ir: Infiltración en áreas de riego
- Sh: Salidas por flujo subterráneo horizontal
- B: Bombeo
- CVA: Cambio en el volumen almacenado

### **7.1 Entradas**

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

#### **7.1.1 Recarga natural**

##### **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 (CVA), 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**

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

Considerando algunas características que presenta la zona, como es la pendiente de los terrenos agrícolas, que gran parte del riego se realiza por compuertas o por goteo, además de que la mayoría de los agricultores de la región tienen experiencia en el riego, se decidió considerar un valor conservador para el coeficiente de infiltración en la parcela (Cr) de 0.12.

Sustituyendo valores:

$$I_r = 21.96 * 0.12 = 2.6 \text{ hm}^3/\text{año} \text{ (Millones de metros cúbicos anuales).}$$

### 7.1.3 Entradas por flujo subterráneo horizontal (Eh)

El cálculo de entradas por flujo horizontal, producto de la precipitación que se infiltra en las zonas de recarga, se realizó basándose en la red de flujo, partiendo de la configuración de elevación media del nivel estático para el periodo julio 1992 – julio 2000, 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 23 celdas de entrada fue de 0.4511110 m<sup>3</sup>/s, que corresponde a **14.2 hm<sup>3</sup>/año** (Millones de metros cúbicos anuales).

No. Celda	h <sub>1</sub> m	h <sub>2</sub> m	Δh m	ΔL m	i m	B m	T x10 <sup>-3</sup> m <sup>2</sup> /seg	Q x10 <sup>-3</sup> m <sup>3</sup> /seg
1	2,110	2,100	10	2,275	0.004396	2,350	0.70	7.2308
2	2,110	2,100	10	1,750	0.005714	2,200	0.70	8.8000
3	2,120	2,110	10	2,000	0.005000	2,000	1.20	12.0000
4	2,130	2,120	10	875	0.011429	1,800	0.92	18.9257
5	2,130	2,120	10	750	0.013333	1,750	0.92	21.4667
6	2,130	2,120	10	875	0.011429	2,050	0.92	21.5543
7	2,130	2,120	10	850	0.011765	1,750	1.03	21.2059
8	2,130	2,120	10	575	0.017391	1,550	1.02	27.4957
9	2,130	2,120	10	350	0.028571	1,300	1.01	37.5143
10	2,135	2,130	5	850	0.005882	1,650	1.01	9.8029
11	2,135	2,130	5	850	0.005882	1,700	1.00	10.0000
12	2,135	2,130	5	750	0.006667	1,800	0.84	10.0800
13	2,135	2,130	5	700	0.007143	1,550	0.84	9.3000
14	2,130	2,110	20	500	0.040000	2,800	0.84	94.0800
15	2,110	2,100	10	550	0.018182	1,650	0.76	22.8000
16	2,110	2,100	10	650	0.015385	1,500	0.76	17.5385
17	2,110	2,100	10	875	0.011429	1,650	0.76	14.3314
18	2,110	2,100	10	1,050	0.009524	1,500	0.76	10.8571
19	2,110	2,100	10	1,025	0.009756	1,350	0.84	11.0634
20	2,110	2,100	10	1,000	0.010000	1,800	0.84	15.1200
21	2,110	2,100	10	1,125	0.008889	2,000	0.77	13.6889
22	2,110	2,100	10	1,175	0.008511	2,125	0.77	13.9255
23	2,110	2,100	10	1,000	0.010000	2,900	0.77	22.3300
<b>TOTAL</b>								<b>451.1110</b>

**Tabla 4. Entradas subterráneas por flujo horizontal**



No. Celda	h <sub>1</sub> m	h <sub>2</sub> m	Δh m	ΔL m	i m	B m	T x10 <sup>-3</sup> m <sup>2</sup> /seg	Q x10 <sup>-3</sup> m <sup>3</sup> /seg
1	2,100	2,090	10	1,175	0.008511	2,050	1.20	20.9362
2	2,100	2,090	10	850	0.011765	2,850	1.20	40.2353
3	2,100	2,090	10	1,000	0.010000	2,200	1.20	26.4000
4	2,100	2,090	10	2,100	0.004762	2,275	1.20	13.0000
<b>TOTAL</b>								<b>100.5714</b>

Tabla 5. Salidas subterráneas por flujo horizontal

### 7.3 Cambio de almacenamiento (CVA).

Para la determinación de este término se consideró la evolución piezométrica del acuífero en el intervalo de tiempo de julio de 1992 a julio de 2000, basándose en ésta, se realizó la configuración de curvas de igual evolución del nivel estático, determinando la variación del almacenamiento mediante la siguiente expresión:

$$CVA = S * A * h$$

Donde:

- CVA: 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

A consecuencia de la explotación del recurso, la posición de los niveles piezométricos han descendido propiciando una variación negativa del almacenamiento. El volumen de sedimentos drenados en el intervalo de tiempo de julio de 1992 a julio de 2000 (8 años), fue de 614.13 hm<sup>3</sup>, ver Tabla 6, que equivale a 76.8 hm<sup>3</sup>/año (Millones de metros cúbicos anuales), dando el siguiente resultado:

$$CVA = S * \text{Volumen drenado}$$

Sustituyendo valores:

$$CVA = 0.07 * 76.77 = -5.4 \text{ (hm}^3\text{/año)}$$

No. Área	Área x 10 <sup>6</sup> (m <sup>2</sup> )	Valor medio entre curvas (m)	Volumen Drenado x 10 <sup>6</sup> (m <sup>3</sup> )
1	1.63	6.00	9.75
2	12.25	5.50	67.38
3	20.08	4.50	90.34
4	8.18	8.00	65.40
5	20.65	7.50	154.88
6	19.18	6.00	115.05
7	6.60	4.50	29.70
8	5.93	3.00	17.78
9	1.93	3.50	6.74
10	2.65	2.50	6.63
11	1.50	4.00	6.00
12	6.70	1.00	6.70
13	3.65	2.00	7.30
14	8.58	2.50	21.44
15	3.63	2.50	9.06
<b>Total</b>			<b>614.13</b>

Tabla 6. Resultados del cálculo del cambio de almacenamiento (CVA)

## Solución de la Ecuación de Balance

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

$$I_p = Sh + B - Eh - Ir - CVA$$

Sustituyendo valores:

$$I_p = 3.2 + 22.2 - 14.2 - 2.6 - 5.4$$

$$I_p = 3.2 \text{ (hm}^3\text{/año)} \text{ (Millones de metros cúbicos anuales).}$$

Sustituyendo valores en la ecuación general de balance:

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

$$20.0 - 25.4 = - 5.4 \text{ (hm}^3\text{/año)} \text{ (Millones de metros cúbicos anuales)}$$

De los resultados antes expuestos, se desprende que el acuífero se encuentra en condiciones de sobreexplotación, puesto que el volumen de recarga que recibe el acuífero (20.0 hm<sup>3</sup>/año), es inferior a las extracciones por bombeo (22.2 hm<sup>3</sup>/año), existiendo un desequilibrio en el sistema acuífero del orden de 2.2 hm<sup>3</sup>/año (Millones de metros cúbicos anuales), volumen que esta siendo extraído a costa del almacenamiento subterráneo.

## 8. DISPONIBILIDAD

Para el cálculo de la disponibilidad de aguas subterráneas, se aplica el procedimiento establecido la Norma Oficial Mexicana NOM-011-CNA-2000, que establece la Metodología para calcular la disponibilidad media anual de las aguas nacionales, que en su fracción relativa a las aguas subterráneas, menciona que la disponibilidad se determina por medio de la expresión siguiente:

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

### 8.1 Recarga total media anual

La recarga total media anual, calculada como la suma de la recarga natural (17.4 hm<sup>3</sup>/año) más la recarga inducida (2.6 hm<sup>3</sup>/año), arroja un valor de **20.0 hm<sup>3</sup>/año** (Millones de metros cúbicos anuales).

## 8.2 Descarga natural comprometida

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 sólo se considerará como descarga comprometida el valor de 3.2 hm<sup>3</sup>/año, que se tiene como salida por flujo subterráneo hacia la Presa Leobardo Reynoso; por lo que la ecuación queda como sigue:

$$Dc = Sh$$

Donde:

Dc: Descarga natural comprometida

Sh: Salidas por flujo horizontal

$$Dc = 3.2 \text{ (hm}^3\text{/año)} \text{ (Millones de metros cúbicos anuales).}$$

## 8.3 Rendimiento permanente

El rendimiento permanente es la recarga total media anual menos la descarga natural comprometida. Para el acuífero Abrego la descarga natural comprometida es de 3.2 hm<sup>3</sup>/año, por lo que el rendimiento permanente es igual a **16.8 hm<sup>3</sup>/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 18'915,551 m<sup>3</sup>/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:

Disponibilidad media anual de agua subterránea en una unidad hidrogeológica (hm <sup>3</sup> /año)	=	Recarga total media anual	-	Descarga natural comprometida	-	Volumen anual de agua subterránea concesionado e inscrito en el REPDA
<b>-2.115551</b>	<b>=</b>	<b>20.0</b>	<b>-</b>	<b>3.2</b>	<b>-</b>	<b>18.915551</b>

Los resultados indican que no existe volumen disponible para nuevas concesiones; por el contrario, el déficit es de 2'115,551 m<sup>3</sup> anuales que se están extrayendo del almacenamiento no renovable del acuífero. En este sentido, no se deberá autorizar concesiones para nuevos aprovechamientos para la explotación, uso o aprovechamiento del recurso, que implique un incremento a las extracciones, fundamentalmente para uso agrícola.

## **9. BIBLIOGRAFÍA**

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

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

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

Custodio, Llamas E., Hidrogeología Práctica.

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