

***Actualización de la disponibilidad media anual  
de agua en el acuífero Ojocaliente (3212),  
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.**

### DXLIX REGIÓN HIDROLÓGICO-ADMINISTRATIVA "LERMA-SANTIAGO-PACÍFICO"

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

#### ESTADO DE ZACATECAS

3212	OJOCALIENTE	56.6	1.3	67.019866	80.0	0.000000	-11.719866
------	-------------	------	-----	-----------	------	----------	------------

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  
OJOCALIENTE, ESTADO DE ZACATECAS***

## **DETERMINACIÓN DE LA DISPONIBILIDAD DE AGUA EN EL ACUÍFERO OJOCALIENTE, 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.....	6
3.3. Hidrografía.....	7
3.4. Geomorfología.....	7
<b>4. GEOLOGÍA.....</b>	<b>8</b>
4.1. Estratigrafía.....	8
4.2. Geología estructural.....	10
4.3. Geología del subsuelo.....	11
<b>5. HIDROGEOLOGÍA.....</b>	<b>11</b>
5.1. Tipo de acuífero.....	11
5.2. Parámetros hidráulicos.....	11
5.3. Piezometría.....	12
5.4. Comportamiento hidráulico.....	12
5.4.1. Profundidad al nivel estático.....	12
5.4.2. Elevación del nivel estático.....	12
5.4.3. Evolución del nivel estático.....	12
5.5. Hidrogeoquímica y calidad del agua subterránea.....	14
<b>6. CENSO DE APROVECHAMIENTOS E HIDROMETRÍA.....</b>	<b>15</b>
<b>7. BALANCE DE AGUAS SUBTERRÁNEAS.....</b>	<b>16</b>
7.1. Entradas.....	17
7.1.1. Recarga natural.....	17
7.1.2. Recarga inducida.....	17
7.1.3. Entradas por flujo subterráneo horizontal.....	17
7.2. Salidas.....	19
7.2.1. Descargas naturales.....	19
7.2.2. Bombeo.....	19
7.2.3. Salidas por flujo subterráneo horizontal.....	20
7.3. Cambio de almacenamiento.....	20
<b>8. DISPONIBILIDAD.....</b>	<b>22</b>
8.1. Recarga total media anual.....	22
8.2. Descarga natural comprometida.....	22
8.3. Rendimiento permanente.....	23
8.4. Volumen concesionado de aguas subterráneas.....	23
8.5. Disponibilidad de aguas subterráneas.....	23
<b>9. BIBLIOGRAFÍA Y REFERENCIAS.....</b>	<b>24</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 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 Ojocaliente se localiza en la porción sureste del estado de Zacatecas, en los límites con el estado de Aguascalientes. El área cubre una superficie aproximada de 1,764 km<sup>2</sup>, que representa el 2 % del territorio estatal; ocupando totalmente a los municipios de Cuauhtemoc y Luis Moya; de manera parcial a los municipios de Guadalupe, Trancoso, Ojocaliente, Genaro Codina y General Pánfilo Natera, así como una pequeña porción del municipio de Loreto, que corresponde a un área topográficamente alta (Figura No. 1).

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

**ACUIFERO 3212 OJOCALIENTE**

VERTICE	LONGITUD OESTE			LATITUD NORTE			OBSERVACIONES
	GRADOS	MINUTOS	SEGUNDOS	GRADOS	MINUTOS	SEGUNDOS	
1	102	35	31.0	22	23	20.5	
2	102	36	8.8	22	27	15.9	
3	102	35	45.9	22	29	25.1	
4	102	37	53.0	22	33	55.9	
5	102	35	12.4	22	35	40.2	
6	102	29	38.9	22	33	13.2	
7	102	27	25.6	22	33	35.1	
8	102	26	26.5	22	37	28.1	
9	102	26	45.6	22	38	54.9	
10	102	24	57.6	22	42	1.3	
11	102	22	11.4	22	43	11.7	
12	102	18	46.9	22	41	51.0	
13	102	15	54.7	22	43	22.9	
14	102	13	54.5	22	41	34.1	
15	102	9	58.4	22	41	1.2	
16	102	7	48.8	22	35	31.0	
17	102	10	49.2	22	30	36.3	
18	102	10	27.0	22	28	35.9	
19	102	9	33.3	22	27	34.7	
20	102	6	5.7	22	28	6.2	
21	102	6	35.4	22	26	9.5	
22	102	6	0.2	22	24	53.5	
23	102	7	8.7	22	20	43.4	
24	102	7	23.6	22	17	13.1	DEL 24 AL 25 POR EL LIMITE ESTATAL
25	102	37	58.4	22	17	29.7	
26	102	36	58.6	22	21	53.0	
1	102	35	31.0	22	23	20.5	

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

Los principales centros de población del área son las cabeceras municipales de Ojocaliente, Luis Moya, Cuauhtemoc y Genaro Codina; y las comunidades de Palmillas, Jarillas y Esteban Castorena.

La zona está bien comunicada, la vía más importante es la Carretera Federal No. 45, en el tramo Zacatecas – Aguascalientes que atraviesa el área en su porción central, de norte a sur. Asimismo, por el norte, la Carretera Federal No. 49 que comunica las ciudades de San Luis Potosí y Zacatecas, cruza la zona de este a oeste, y entronca con la Carretera Federal No. 45, a la altura del poblado Trancoso.

Al poniente, en forma sensiblemente paralela a la Carretera Federal No. 45, se cuenta también con la vía del ferrocarril, en el tramo Zacatecas – Aguascalientes, que cruza la zona de sur a norte hasta la altura de Ojocaliente, en donde cambia de dirección hacia el noroeste, para dirigirse a la Ciudad de Zacatecas.

La importancia de la zona radica principalmente en la agricultura, actualmente la mayor parte de los terrenos destinados a esta actividad son de riego, los cultivos predominantes son: forrajes como la alfalfa y avena, frijol, maíz, chile y algunas hortalizas. Otro producto importante es la vid, los municipios de Ojocaliente y Luis Moya, están dentro de los principales productores del estado.

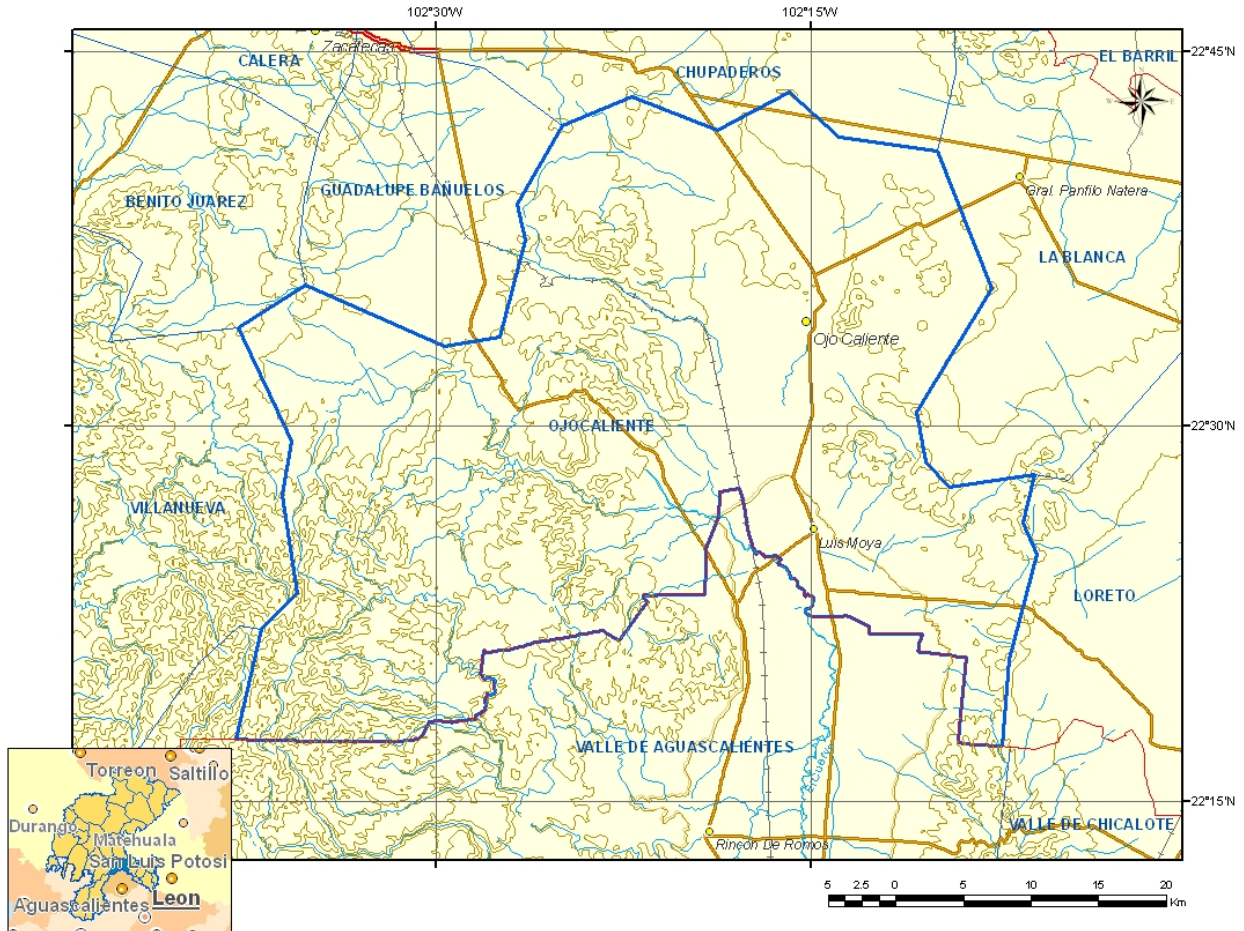


Figura No 1. Localización del acuífero Ojocaliente, Zacatecas

## 1.2 Situación Administrativa del Acuífero

La conservación de 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, 9 de febrero de 1978 y 5 de agosto de 1988. Estos tres decretos cubren en su totalidad la Unidad Hidrogeológica Ojocaliente.

Respecto a su clasificación, la veda del año 1978 es de Tipo I. “Zonas de veda en la que no es posible aumentar las extracciones sin peligro de abatir peligrosamente o agotar los mantos acuíferos”; las otras dos están clasificadas como de Tipo III. “Zonas de veda en las que la capacidad de los mantos acuíferos permite extracciones limitadas para usos domésticos, industriales, de riego y otros”.

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 ocho municipios que conforman la región tres de ellos (Guadalupe, Trancoso y Ojocaliente) se ubican en la zona de disponibilidad 4; otros cuatro (Cuauhtemoc, Luis Moya, General Panfilo Natera y Loreto) en la zona 5; y uno más (Genaro Codina) en la zona de disponibilidad 7.

A la fecha se tiene un logro importante en la consolidación y operación del Comité Técnico de Aguas Subterráneas (COTAS) del acuífero, ya que por su ubicación geográfica y comportamiento hidrogeológico, el área forma parte del acuífero Interestatal Ojocaliente-

Aguascalientes-Encarnación. En esta región, la actividad agrícola es la que tiene un impacto más sobresaliente en el uso del agua.

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

Algunos de los estudios hidrogeológicos más importantes realizados en la zona son los siguientes:

- Estudio geohidrológico de evaluación y censo en los estados de San Luis Potosí y Zacatecas, Zona de Ojocaliente; S.A.R.H., 1977.

Los objetivos del estudio fueron conocer de manera preliminar el esquema general de flujo subterráneo, el tipo, calidad y distribución del agua subterránea, las condiciones actuales de extracción y la potencialidad de los acuíferos existentes. Los trabajos consistieron, entre otras actividades, en reconocimientos hidrogeológicos, censo de aprovechamientos, nivelación de brocales, toma de lecturas piezométricas, hidrometría de extracciones, pruebas de bombeo, toma de muestras de agua y análisis físico - químico. Los resultados del balance, muestran que la recarga obtenida fue de 61 hm<sup>3</sup>/año, mientras que la extracción fue de 73.5 hm<sup>3</sup>/año, concluyendo que el acuífero presentaba condiciones de equilibrio.

- Estudio para la reactivación de redes de monitoreo del acuífero del Valle de Ojocaliente, C.N.A., 1997.

El objetivo del estudio fue evaluar la red de monitoreo actual para establecer las modificaciones necesarias para rediseñar la red definitiva, y realizar las configuraciones del nivel estático correspondientes. Para elaborar el diseño de la red piezométrica del acuífero fueron analizados los datos de profundidad del nivel estático de 31 pozos. Propone la construcción de obras nuevas para completar la red piezométrica definida.

## **3. FISIOGRAFÍA**

### **3.1. Provincia Fisiográfica**

La unidad hidrogeológica forma parte de dos provincias fisiográficas: La Sierra Madre Occidental, que comprende la porción oeste de la zona y que es parte de la subprovincia Sierras y Valles Zacatecanos, donde predominan mesetas escalonadas, sierras bajas y en menor proporción se observan lomeríos con llanuras. Estos sistemas de topofomas forman parte de la Sierra Fría que es el límite oeste de la zona, constituida por rocas volcánicas ácidas y andesitas, cuyas elevaciones máximas son del orden de 2,900 msnm.

El resto de la zona es parte de la Subprovincia Llanos de Ojuelos – Aguascalientes, perteneciente a la Provincia Fisiográfica de la Mesa Central. Los sistemas de topofomas que se observan son: en la porción norte bajadas aluviales; en la parte oriental, lomeríos de pie de monte con mesetas, y en toda la porción central llanuras de piso rocoso formadas por material aluvial, donde se presentan las elevaciones mínimas, que son del orden de 1950 msnm.



## **3.2. Clima**

El clima, de acuerdo a la clasificación de Köppen, modificada por E. García, es Bskw (e), que corresponde a semiseco, con régimen de lluvias en verano, templado con verano cálido, temperatura media anual de 15.8° C; la del mes mas frío (enero) de 12.8° C y del mes más cálido (mayo) de 17.5° C.

### **3.2.1 Precipitación media anual**

Para el análisis de información climatológica se cuenta con 5 estaciones que son: Genaro Codina, San Pedro Piedra Gorda, Luis Moya, Ojocaliente y Palmillas, aunque para fines prácticos del presente documento, se describe únicamente la información de la estación Ojocaliente, por considerar que es la más representativa, dado que se encuentra prácticamente en el centro del valle, en el paralelo 22° 24' 38'' de latitud norte y en el meridiano 102° 16' 09'' de longitud oeste, a una altitud de 2,050 msnm. La información disponible comprende un período de 39 años (1965 - 2004), aunque para el caso de la evaporación y temperatura, existen 5 y 3 años, respectivamente, que no cuentan con información.

La precipitación promedio mensual varía de un mínimo de 5.2 mm a 82.1 mm como máximo. Los valores más bajos se presentan en los meses marzo y abril, y los más altos se registran durante los meses de junio a septiembre; el mes que registra la precipitación más alta corresponde al mes de julio.

En cuanto a la precipitación media anual, dentro de período analizado, el valor mínimo es de 81.7 mm registrada en el año de 1982, el valor máximo corresponde al año de 1967 con un valor de 708.8 mm. La precipitación promedio anual para la zona es de 378.7 mm.

### **3.2.2 Temperatura media anual**

La temperatura media mensual oscila entre un mínimo de 11.4° C y un máximo de 20.1° C, los valores máximos de temperatura se registran en los meses de mayo y junio, mientras que los mínimos invariablemente se presentan en el mes de enero y diciembre.

El valor promedio anual de temperatura para el período analizado varía de 15.1° C, registrada en el año de 1975, a una máxima de 17.4° C registrada en el año de 1990. La temperatura media anual para la zona es de 16° C.

### **3.2.3 Evaporación potencial media anual**

El valor promedio mensual de evaporación varía de un mínimo de 110.1 mm en el mes de enero, a un máximo de 218.1 mm registrado en el mes de mayo, el rango de valores más altos se presenta entre los meses de marzo a julio.

El valor promedio de evaporación anual para el período considerado varía de un mínimo de 1,388.5 mm, presentado en el año de 1990, a un máximo de 2,358.6 mm, registrado en el año de 1962. El valor de la evaporación media anual es de 1,904.9 mm.

### **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 Verde Grande y Subcuenca "Río Grande" En el área de estudio la única corriente superficial de importancia está representada por el Río San Pedro, que es afluente del Río Aguascalientes, mismo que confluye al Río Santiago.

El Río San Pedro, es de carácter intermitente y en general sus volúmenes escurridos son pequeños. La Presa San Pedro Piedra Gorda es la obra hidráulica más importante del lugar y controla casi en su totalidad los escurrimientos de este río, teniendo una capacidad de almacenamiento total de 5.0 hm<sup>3</sup> que beneficia el riego de 651 has.

Existen además, aproximadamente 48 obras hidráulicas superficiales (pequeños almacenamientos) con una capacidad total de almacenamiento de 9.2 hm<sup>3</sup>, entre los cuales destacan los bordos: Boquillas, Las Adjuntas, El Divisadero, Tlacotes, Palmira, El Griego, El Coecillo, Santa Gertrudis, Los Conos, El Colorado, Los Tepetates, El Jagüey y Berriozabal.

Los arroyos existentes en su mayoría son efímeros, algunos de estos son los Arroyos Dolores, Las Tinajas, Corral Barranco, San Antonio, El Vaquero y Las Bocas.

### **3.4. Geomorfología**

Respecto a los rasgos geomorfológicos predominantes en la región, se pueden diferenciar tres unidades cuyas características son las siguientes: la primera de ellas es una llanura de piso rocoso, que es donde se localiza el acuífero, cuya elevación media sobre el nivel del mar es de 2000 m. Es una zona de acumulación de los sedimentos aluvio – fluviales, transportados desde las áreas de mayor relieve. Se considera como nivel base de erosión, ya que tanto la dirección vertical como la horizontal, han tenido poco desarrollo.

La segunda unidad geomorfológica está formada por la Sierra Fría, con elevaciones máximas del orden de 2,900 msnm, ubicada al poniente de la zona, donde predominan mesetas escalonadas, sierras bajas y en menor proporción se observan lomeríos con llanuras. Esta unidad está constituida por tobas, brechas y riolitas, en donde se ha desarrollado drenaje de poca profundidad y pendiente.

Por último, la tercera unidad se ubica en la porción oriental de la zona, está formada por lomeríos de pie de monte con mesetas y se caracteriza por un relieve más abrupto y una mayor densidad de drenaje. La unidad está formada por riolitas, rocas metamórficas, calizas y granitos, que se localizan en las cercanías de la comunidad Saucedá de Mulatos. Estas rocas por su gran elevación, con respecto al nivel base de erosión, son atacadas con mayor intensidad por los procesos exógenos, y es así como en los drenes se observa un mayor desarrollo en la dirección vertical que en la horizontal.

## 4. GEOLOGÍA

En la zona afloran rocas sedimentarias ígneas y metamórficas. Aparentemente la unidad más antigua es una secuencia vulcanosedimentaria del Triásico Superior marino. Le siguen en orden cronológico, sedimentos marinos del Jurásico Superior, rocas volcánicas del Cretácico Inferior, y rocas sedimentarias marinas Cretácicas. El Terciario está constituido principalmente por rocas volcánicas y rocas ígneas intrusivas de composición ácida a intermedia, y aluviones del Cuaternario (Figura 2). A continuación se describe la columna estratigráfica, tomada del estudio del año 1977, de la unidad más antigua a la más reciente.

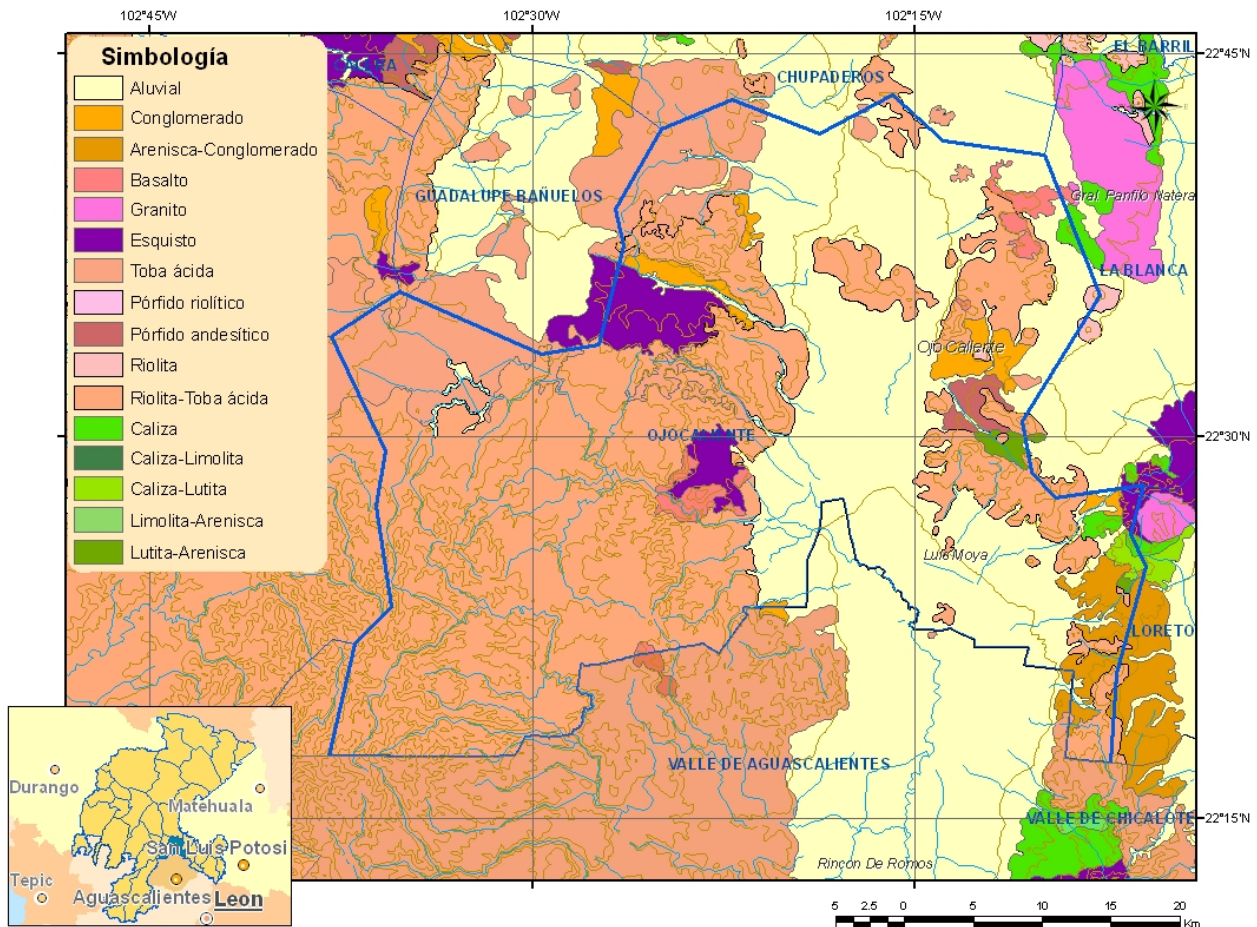


Figura No 2. Mapa Geológico del acuífero Ojocaliente, Zacatecas

### 4.1 Estratigrafía

#### *Sistema Triásico*

#### **Formación Zacatecas**

Dentro del área de estudio esta unidad está integrada por esquistos de clorita, gneises cuarzo feldespáticos y wollastonita. Los primeros predominan en el afloramiento que se encuentra al NW de Ciudad Cuauhtemoc y Minillas; y las dos últimas en la Sierra de Saucedá.

En los afloramientos de Ciudad Cuauhtemoc y Minillas esta unidad subyace a las rocas ígneas extrusivas ácidas del Terciario; y en la Sierra de Saucedá subyace a las rocas de la Formación

Cuesta del Cura, lugar donde estas últimas rocas están afectadas por granitos que se encuentran en forma de diques y cuellos, produciendo de esta forma una estructura compleja. En base a los fósiles bivalvos encontrados al poniente de Zacatecas, a esta unidad se le ha asignado una edad correspondiente al Cárnico – Nórico.

### ***Sistema Jurásico***

#### **Formación La Joya**

Al sur de Palmillas existen pequeños afloramientos de esta unidad, y su litología consiste en limolitas y conglomerados de composición heterogénea, empacados en una matriz arcillo – limosa; presenta una estratificación bien definida, de espesor variable. En estos afloramientos esta unidad posiblemente descansa en forma discordante sobre la Formación Zacatecas y está cubierta por los derrames riolíticos que se observan en esta porción del área. Por su posición estratigráfica, la edad de esta formación se ha ubicado en el Calloviano – Divesiano.

### ***Sistema Cretácico***

#### **Formación Taraises**

La litología de esta formación consiste de calizas que se encuentran intercaladas con limolitas y lutitas que se localizan en afloramientos cercanos a El Saucito, donde estas rocas se encuentran bastante deformadas por dique y cuellos, intrusivos de composición ácida, por lo que presentan diversos grados de metamorfismo (mármol y pizarras) y mineralización (wollastonita y crisocola). Su contacto inferior no se observa en el área, pero se infiere que cubre discordantemente a la Formación La Joya de facies continentales. Su contacto superior no aflora y están ausentes las formaciones Cupido, La Peña y Aurora; por lo que se considera que subyace discordantemente a la Formación Cuesta del Cura. Su edad se ha determinado como Berriasiano – Hauteriviano, determinada con base en fósiles colectados en la localidad tipo.

#### **Formación Cuesta del Cura**

La unidad está constituida por calizas en estratos de 10 a 30 cm de espesor con abundantes nódulos y lentes de pedernal negro. Dentro del área, estas calizas se encuentran en los flancos de una estructura dómica, denominada Sierra de la Sauceda. En este lugar, se encuentra cubriendo discordantemente el basamento triásico. Esta fue afectada por el intrusivo granítico produciendo aureolas de metamorfismo y zonas de mineralización. En base a la fauna mal conservada que se colectó en la localidad tipo, se le ha datado en el Albiano – Cenomaniano.

### ***Sistema Terciario***

#### **Unidad de Conglomerados**

Afloran en la mayor parte de la zona estudiada y forman la base del periodo Terciario. Su distribución geográfica estuvo regida por los elementos paleogeomorfológicos del Terciario Inferior, ya que se encuentra en las zonas donde es posible la existencia de antiguos valles o depresiones de bloques caídos. Con base en sus características, se diferencian dos tipos de conglomerados: el primero de ellos está constituido por fragmentos calcáreos y riolíticos, empacados en una matriz arcillosa y cementante calcáreo. El segundo es un conglomerado calcáreo con matriz limolítica de color rojizo.

### **Unidad de tobas**

Se encuentra ampliamente distribuida en las porciones central y occidental del área, intercaladas con derrames riolíticos. Su composición es de tipo riolítico pero pueden clasificarse como tobas híbridas, con elementos líticos y ocasionalmente como tobas líticas brechoides.

### **Unidad de Riolitas**

Las rocas riolíticas se encuentran ampliamente distribuidas en la zona, predominando en las porciones central y occidental. Se presentan en derrames y diques, siendo más extensos los primeros. Los derrames de riolitas presentan una textura afanítica, con algunos fenocristales de cuarzo y feldespato, mientras que los diques presentan textura porfídica.

### **Granitos y Granodioritas**

Se encuentra aflorando en el área de Saucedá de Mulatos, presentan una capa de alteración de aproximadamente dos metros de espesor, donde los feldespatos se han alterado a arcillas y los minerales ferro magnesianos a óxidos y cloritas.

### ***Sistema Cuaternario***

#### **Unidad de Basaltos**

Esta unidad se localiza en las porciones altas de la sierra que limita la llanura, en su porción occidental, coronado a los derrames de rocas riolíticas. Los derrames de basalto afloran en extensiones reducidas, observándose al suroeste de Rancho Nuevo, al oriente de Ciudad Cuauhtemoc, al sur y oriente de Pozo de Jarillas. Contienen cristales de olivino y su estructura es vesicular, presentan escaso fracturamiento.

#### **Unidad de Aluvi3n**

Aflora en las partes bajas, se encuentra formada de clastos de riolitas, calizas y pedernal, seg3n su fuente de suministro; son sedimentos heterog3neos, que se encuentran empacados en una matriz areno – arcillosa. Esta unidad incluye a los dep3sitos fluviales, los piamontes y conglomerados recientes que se encuentran en proceso de consolidaci3n; estos se encuentran en los bordes de las sierras, donde los arroyos descargan las aguas torrenciales hacia las partes bajas. Son dep3sitos de cl3sticos redondeados y mal clasificados.

## **4.2 Geología Estructural**

Dentro de las estructuras m3s sobresalientes que existen en el 3rea de estudio se tiene un anticlinal antiguo, que se define por afloramientos de rocas metam3rficas de la Formaci3n Zacatecas que tiene una orientaci3n NW-SE. Adem3s del anticlinal mencionado, se encuentra el de Saucedá de Mulatos, formado por rocas Cret3cicas que dan origen a la Sierra de Saucedá. Esta estructura tiene su eje medio con orientaci3n N-S y est3 afectada por un cuerpo de rocas gran3ticas con dimensiones lacol3ticas. En las zonas de contacto las calizas fueron dislocadas y metamorfoseadas, provocando con ello una serie de fallas y fracturas con diversas orientaciones. Dentro de las primeras se encuentra la falla normal que se localiza al

Sur de la Comunidad Santo Tomás, cuya orientación es NW-SE, considerando que existen otras de menores dimensiones pero que actualmente se encuentran enmascaradas por sedimentos recientes.

### **4.3 Geología del subsuelo**

En la unidad hidrogeológica, de acuerdo con los 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 628 km<sup>2</sup>, que representa el 37.3 % respecto al área total de la unidad hidrogeológica. Tiene forma alargada, con orientación Norte - Sur, longitudinalmente mide 35 km y tiene un ancho medio de 10 km. Los depósitos granulares del Terciario y Cuaternario se encuentran formando un acuífero de tipo libre, cuyas barreras laterales y basamento están constituidas por las rocas metamórficas, andesitas, calizas y rocas volcánicas compactas, ya descritas anteriormente. La profundidad al basamento varía de 30 m en los bordes laterales de la parte Norte, 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 está constituido por sedimentos clásticos, que forman un acuífero de tipo libre, depositados en un ambiente lacustre dentro de las fosas tectónicas, ocasionadas por el fallamiento tipo Graben, provocado por la tectónica distensiva, desarrollada durante el Oligoceno que afectó a esta porción del territorio mexicano.

La recarga del acuífero proviene de la precipitación pluvial que se realiza sobre las sierras y lomeríos, la cual se infiltra a través del fracturamiento de las rocas volcánicas y alimenta por flujo subterráneo al acuífero. Se efectúa también por los escurrimientos intermitentes de arroyos formados en las partes altas que al llegar al contacto con los materiales granulares, parte de esta agua se infiltra. Otra componente de la recarga es la infiltración de agua que se precipita sobre el mismo valle, alimentando por flujo vertical al acuífero. Así mismo, un volumen importante proviene de los retornos de riego por bombeo.

La descarga se realiza de manera artificial por bombeo de pozos y norias; y de manera natural por manantiales y flujo subterráneo hacia el Estado de Aguascalientes.

La dirección preferencial del flujo subterráneo es de norte a sur, en las porciones Este y Oeste dentro de los límites con las sierras y lomeríos. Las líneas equipotenciales de elevación del nivel estático, se presentan ligeramente paralelas a estas, convergiendo en el centro del valle para continuar con dirección hacia sur.

### **5.2 Parámetros hidráulicos**

Las características hidráulicas del acuífero se determinaron mediante la interpretación, de 34 pruebas de bombeo de corta duración, en su etapa de abatimiento y recuperación.

Con esta información, se elaboró el plano de curvas de igual valor de transmisividad. Los valores varían en gran medida, observándose transmisividades de  $0.1$  a  $1.0 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$  que van de la porción noroeste a noreste, del poblado San Pedro Piedra Gorda hacia el poblado La Concepción, extendiéndose hacia el norte, hasta Ojocaliente, y valores de  $0.2$  a  $0.3 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$  a la altura del poblado San Juan de la Natura.

Además, se tomaron en cuenta resultados de aforos realizados en 58 pozos que se ubican en la zona de estudio, con lo cuales se elaboró un plano de caudales específicos, donde se observan valores que van de los 0.057 a los 10.10 lps/m.

Para el caso del coeficiente de almacenamiento, considerando el tipo y características de los materiales que constituyen el subsuelo de la región, se adoptó un valor de 0.13, 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 1975, la construcción de nuevos aprovechamientos permitió contar con mayor información, determinándose una red de 128 pozos piloto, que fueron monitoreados en forma continua en el periodo que comprende de 1975 a 1998. En el año 1997 se realizó el “*Estudio para la reactivación de redes de monitoreo del acuífero del Valle de Ojocaliente*”, cuyo objetivo fue evaluar esta red de monitoreo. La red piezométrica actual del acuífero la componen 31 pozos piloto. Toda esta información nos permite contar con una historia piezométrica completa, que incluye información en temporada de estiaje y de lluvias.

### **5.4 Comportamiento hidráulico**

#### **5.4.1 Profundidad al nivel estático**

Las curvas de igual profundidad al nivel estático correspondiente a enero de 1993, describen en la parte sur del acuífero profundidades de 30 m que van aumentando hacia los bordes y hacia la porción norte, donde se observan profundidades del orden de 70 m. Figura No. 3.

#### **5.4.2 Elevación del nivel estático**

Las líneas equipotenciales de igual elevación del nivel estático muestran una dirección preferencial del flujo subterráneo que va de las zonas de recarga hacia la porción central del acuífero, en una forma radial concéntrica, con elevaciones que van de los 2,040 msnm en la porción norte, a 1,900 msnm en la porción sur, donde estas líneas permanecen abiertas, lo que indica que el flujo se incorpora al drenaje general que es de norte a sur, para continuar hacia el Estado de Aguascalientes (Figura No. 4).

#### **5.4.3 Evolución del nivel estático**

La evolución del nivel estático correspondiente al periodo enero 1980 - enero 1993, presenta en la porción norte del acuífero abatimientos mínimos de 5 m y máximos de 9 m; mientras que los descensos mayores se registraron en la porción central y sur de la zona, donde se observan valores que van de los 5 a los 15 m, provocados por la alta concentración del bombeo. En promedio, el ritmo de abatimiento medio anual varía de 0.40 a 1.15 m. Figura No. 5.

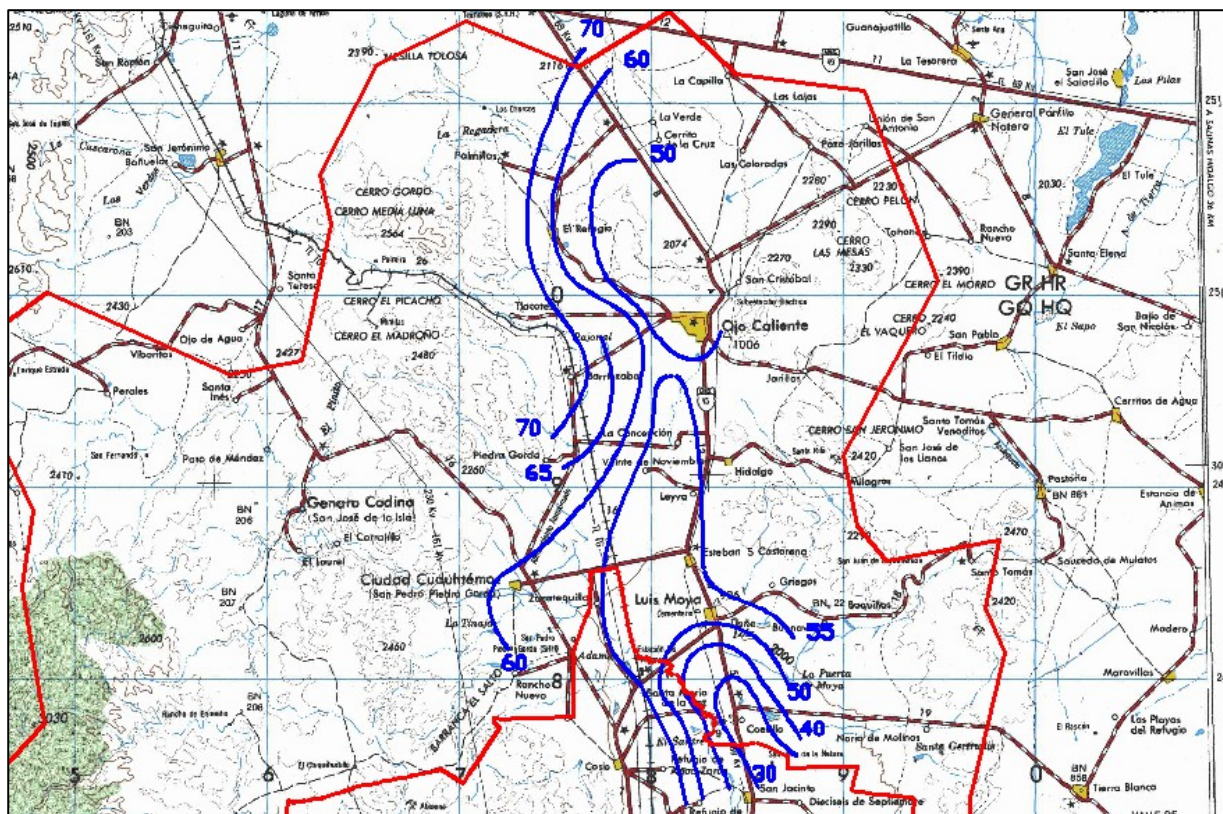


Figura No. 3. Configuración de la profundidad al Nivel Estático (Enero 1993).

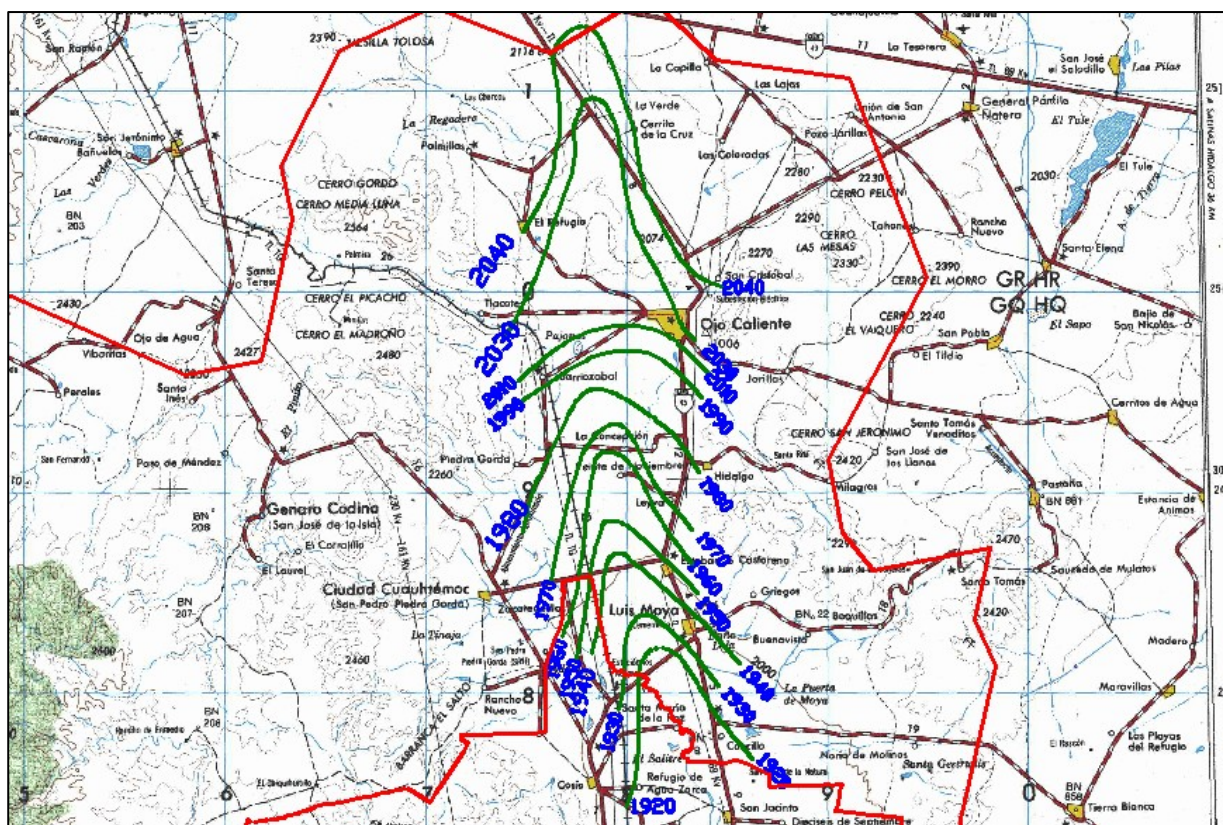


Figura No. 4. Configuración de la elevación al Nivel Estático (Enero 1993).



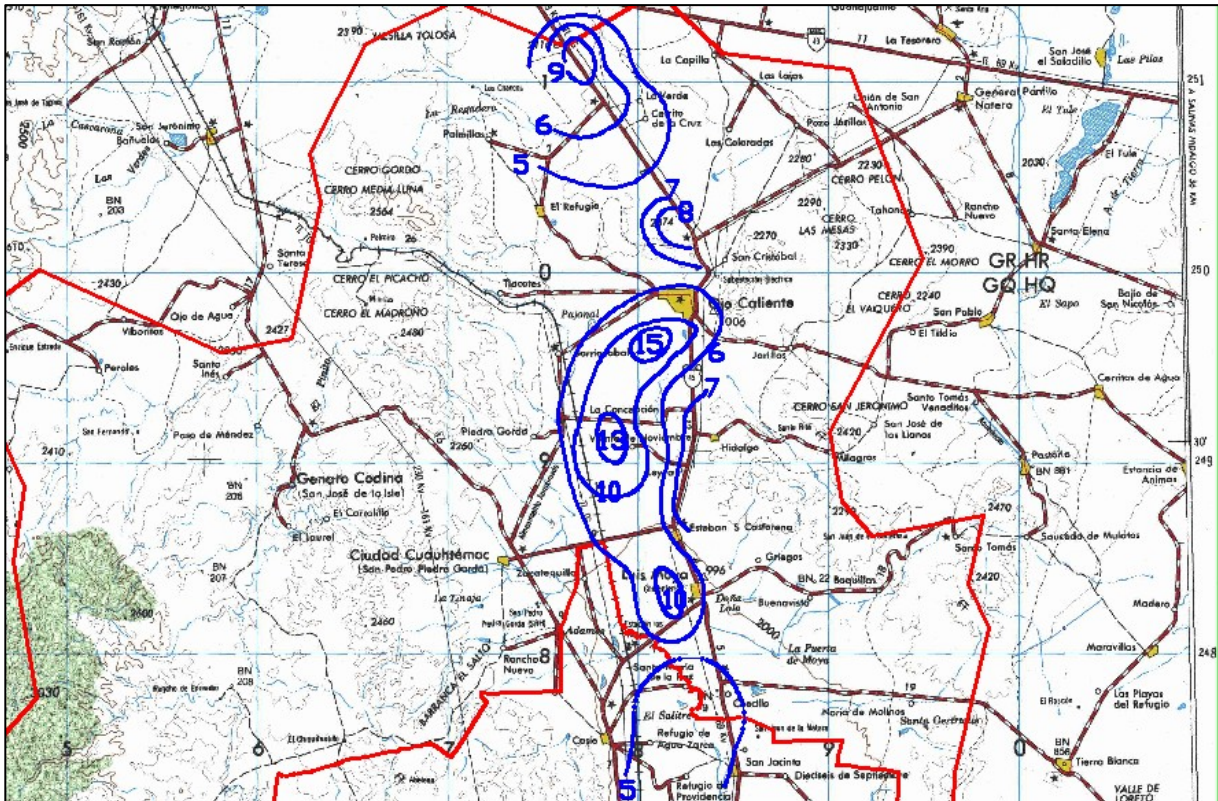


Figura No. 5. Configuración de la evolución del Nivel Estático (1980 - 1993).

## 5.5 Hidrogeoquímica y calidad del agua subterránea

Durante el estudio del año 1977, se llevaron a cabo 87 análisis químicos de muestras de agua, distribuidas en toda el área de estudio. De cada una de las muestras se a determinaron los parámetros siguientes: calcio, magnesio, sodio potasio, bicarbonatos, carbonatos, cloruros, sulfatos, conductividad eléctrica, sólidos totales disueltos, alcalinidad total, dureza total, dureza de calcio, dureza de magnesio y el potencial de hidrógeno.

El resumen de los resultados se presenta a continuación

Con respecto a los cationes analizados, el sodio es el que se encuentra en mayor concentración, varía de 32 a 137 ppm, le sigue en importancia el calcio cuyas concentraciones van de 25 a 88 ppm, el magnesio se encuentra comparativamente en menor proporción, entre 0 y 34 ppm.

Respecto a los aniones, el bicarbonato es el que presenta mayor concentración, varía de 10 a 494 ppm; el cloruro se encuentra en concentraciones de 32 a 103 ppm, por lo que respecta a los sulfatos, estos varían de 7 a 115 ppm.

En las muestras de agua obtenidas, se encontró que la conductividad eléctrica varía de 175 a 900 micromhos/cm. Se observa que las conductividades más bajas, indicativas de zonas de recarga, se encuentran al pie de las elevaciones topográficas en toda la parte occidental de la zona, manifestando también que el agua es de origen meteórico de reciente infiltración. Los

valores de conductividad se incrementan de norte, este y suroeste, hacia el centro y sur de la llanura, confirmando que el flujo dominante del agua se realiza de norte a sur.

Los sólidos totales disueltos varían de concentraciones mínimas de 256 ppm a máximas de 780 ppm. De acuerdo a la configuración de valores, se puede afirmar que la calidad del agua es muy similar en toda la zona, ya que la variación en contenido de sales de un lugar a otro es poco significativa.

Respecto a la clasificación de las muestras en familias de agua, prácticamente en todas las muestras predomina el sodio entre los cationes y el bicarbonato entre los aniones, por lo que el agua subterránea de la zona pertenece a la familia sódico – bicarbonatada.

De acuerdo con el método de Wilcox, que expresa la calidad del agua para su uso en riego, el 89 % de las muestras son del grupo C<sub>2</sub> – S<sub>1</sub>, que corresponde a aguas con contenido medio de sales y baja cantidad de sodio. Sobre la calidad química del agua para uso potable, se puede afirmar que la totalidad de las muestras analizadas cumplen con la norma para este uso.

Las altas temperaturas del agua que se presentan en la región, que en algunos casos es superior a los 35° C, son la consecuencia de la presencia de rocas ígneas que a cierta profundidad guardan aún temperaturas altas desde el tiempo que fueron emplazadas, provocando que el agua subterránea que circula cerca, o a través de ellas, aumente su temperatura.

## **6. CENSO DE APROVECHAMIENTOS E HIDROMETRÍA**

La actualización del inventario de aprovechamientos hidráulicos subterráneos realizado, por la Gerencia Estatal en Zacatecas de la Comisión Nacional del Agua en febrero de 1993, reveló la existencia de 568 obras, de las cuales 411 estaban activas y 157 fuera de operación. De acuerdo al tipo de aprovechamiento, de las obras activas, 390 son pozos y 21 norias.

Atendiendo su uso, 352 son destinados a la agricultura, 30 para abastecimiento de agua potable, 17 para abrevadero - doméstico y los 12 restantes se destinan al uso industrial.

En conjunto, estas obras extraen un volumen anual de 80.0 hm<sup>3</sup>/año (Millones de metros cúbicos anuales), del cual 77.2 es utilizado para uso agrícola, 1.2 en agua potable, 0.4 para pecuario y doméstico y los 1.2 restantes para fines industriales.

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 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 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 el caso del uso industrial, se utilizó el volumen reportado en el padrón de usuarios que maneja el área de administración del agua.

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

Uso	Número de obras	Volumen (hm <sup>3</sup> /año)	Porcentaje (%)
Agrícola	352	77.2	96.51
Público Urbano	30	1.2	1.53
Pecuario y Doméstico	17	0.4	0.45
Industrial	12	1.2	1.51
Total	411	80.0	100.0

Tabla No. 2. Número de aprovechamientos y volumen de extracción por uso

## 7. 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 definido.

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

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

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

$$E_h + I_p + I_r - S_h - D_m - B = \Delta V(S)$$

Donde:

**E<sub>h</sub>:** Recarga por flujo horizontal

**R<sub>v</sub>:** Infiltración por lluvia

**I<sub>r</sub>:** Infiltración en áreas de riego

**S<sub>h</sub>:** Salidas por flujo horizontal

**D<sub>m</sub>:** Descargas por manantiales

**B:** Bombeo

**ΔV(S):** Cambio en el volumen almacenado

El área donde se tiene información piezométrica, considerada para la realización del balance es de 628 km<sup>2</sup> que representa el 35.6 % respecto al total de la unidad hidrogeológica. A partir de la configuración de elevación media del nivel estático para el periodo 1980-1993, se trazo la red de flujo y área de balance. Los valores obtenidos fueron referenciados a un año.

## 7.1 Entradas

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

### 7.1.1 Recarga natural

#### Recarga vertical ( $R_v$ )

Es uno de los términos que mayor incertidumbre implica su cálculo. Debido a que se tiene información para calcular el cambio de almacenamiento  $\Delta V(S)$ , 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:

$$I_r = \text{vol. } r * Cr$$

Donde:

**$I_r$ :** Infiltración por riego

**vol.  $r$ :** volumen de agua aplicado al riego

**$Cr$ :** Coeficiente de infiltración en la parcela

Sustituyendo valores:

$$I_r = 77'185,042 * 0.10$$
$$I_r = 7.7 \text{ hm}^3/\text{año} \text{ (Millones de metros cúbicos anuales).}$$

### 7.1.3 Entradas por flujo subterráneo horizontal ( $E_h$ )

El cálculo de entradas por flujo horizontal, producto de la precipitación que se infiltra en las zonas de recarga, se realizó en base a la red de flujo, partiendo de la configuración de elevación media del nivel estático para el periodo 1980-1993 (figura No.6), 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 22 celdas de entrada fue de 0.17705 m<sup>3</sup>/s, que corresponde a **5.6 hm<sup>3</sup>/año** (Millones de metros cúbicos anuales).

<b>Celda No.</b>	<b>T x10<sup>-3</sup> (m<sup>2</sup>/s)</b>	<b>B (m)</b>	<b>i (x10<sup>-3</sup>)</b>	<b>Q x10<sup>-3</sup> (m<sup>3</sup>/s)</b>	<b>Q (hm<sup>3</sup>/año)</b>
E 1	0.38	2150	14.29	11.67	0.37
E 2	0.38	1800	20.00	13.68	0.43
E 3	0.38	2550	22.22	21.53	0.68
E 4	0.80	2750	10.00	22.00	0.69
E 5	0.31	3000	8.82	8.20	0.26
E 6	0.31	1150	6.66	2.37	0.07
E 7	0.16	1300	4.17	0.87	0.03
E 8	0.07	6700	3.45	1.62	0.05
E 9	0.10	6100	5.26	3.21	0.10
E 10	0.10	3100	6.67	2.07	0.07
E 11	0.10	4250	3.33	1.42	0.04
E 12	0.10	3100	3.33	1.03	0.03
E 13	0.39	3100	4.17	5.04	0.16
E 14	0.39	2000	4.35	3.39	0.11
E 15	0.39	2450	5.00	4.78	0.15
E 16	0.82	3400	4.17	11.63	0.37
E 17	0.80	1750	7.14	10.00	0.32
E 18	0.80	1950	8.82	13.76	0.43
E 19	0.30	3350	16.67	16.75	0.53
E 20	0.30	2450	12.90	9.48	0.30
E 21	0.30	2200	12.12	8.00	0.25
E 22	0.35	2600	5.00	4.55	0.14
			<b>Total</b>	<b>177.05</b>	<b>5.58</b>

**Tabla No. 3. Entradas subterráneas por flujo horizontal**

Cabe aclarar que en la zona no existen corrientes permanentes ni cuerpos de agua superficiales importantes, por lo que los parámetros de la infiltración a lo largo de corrientes y la procedente de cuerpos de agua superficiales se descartaron en el cálculo de las entradas.

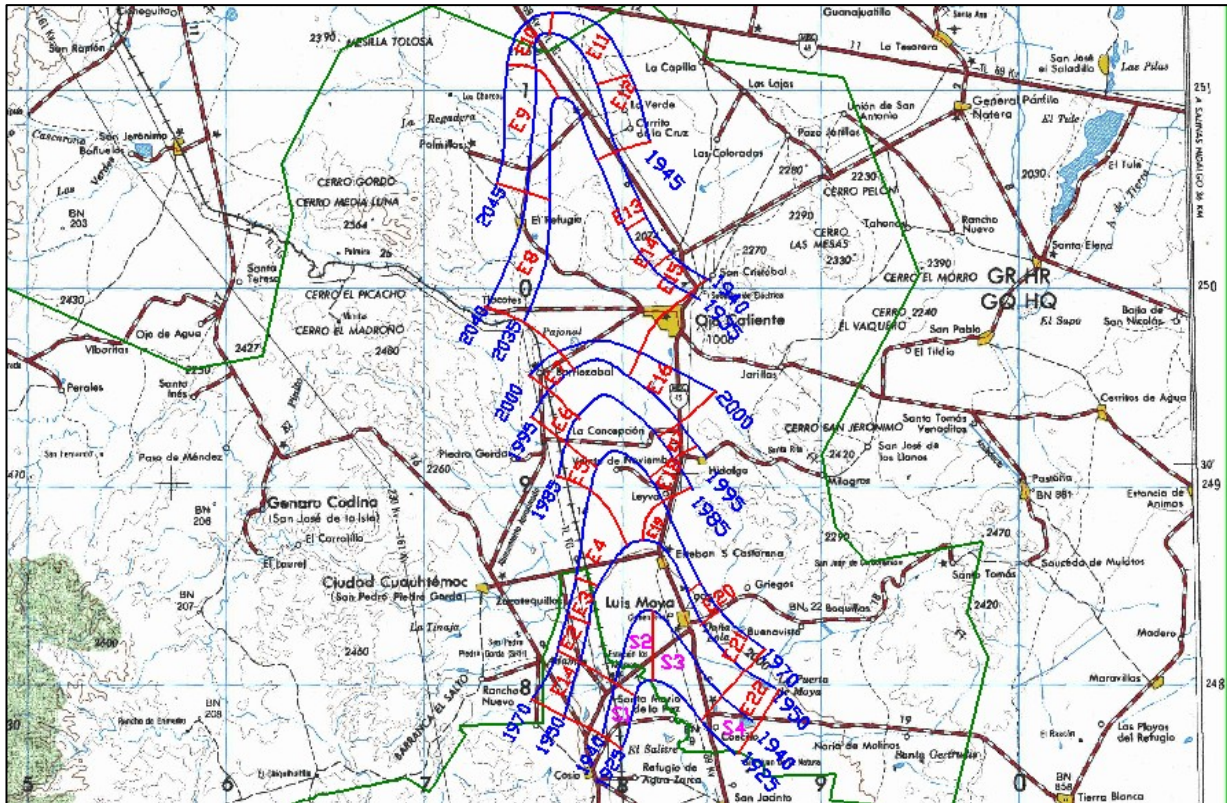


Figura 6. Red de Flujo (1993).

## 7.2 Salidas

La descarga del acuífero ocurre de manera artificial, por el bombeo de pozos y norias, y de manera natural se presentan salidas subterráneas hacia el estado de Aguascalientes, fuera del área de balance. No existen niveles someros donde puedan presentarse salidas por evapotranspiración, ni descargas de flujo base a lo largo de algún río.

### 7.2.1 Descargas naturales

#### Descarga por manantiales

El volumen de agua que brota a la superficie del terreno, por medio de 8 manantiales existentes en la zona Ojocaliente. Su valor fue estimado en **0.1 hm<sup>3</sup>/año** (Millones de metros cúbicos anuales), ya que no se cuenta con observaciones hidrométricas periódicas.

### 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 de **80.0 hm<sup>3</sup>/año** (Millones de metros cúbicos anuales).

### 7.2.3 Salidas por flujo subterráneo horizontal (Sh)

El volumen que sale del sistema por flujo horizontal, fue calculado de igual manera a las entradas, dando como resultado un valor de 0.03887 m<sup>3</sup>/s, obtenido en un total de 4 celdas de salida, por lo que el volumen para un año resultó ser de **1.2 hm<sup>3</sup>/año** (Millones de metros cúbicos anuales), que drenan con dirección hacia el sur, rumbo al Estado de Aguascalientes, fuera del área de balance (Figura No.6).

Celda No.	T x10 <sup>-3</sup> (m <sup>2</sup> /s)	B (m)	i (x10 <sup>-3</sup> )	Q x10 <sup>-3</sup> (m <sup>3</sup> /s)	Q (hm <sup>3</sup> /año)
S 1	0.32	2300	18.75	13.80	0.43
S 2	0.32	2650	7.50	6.36	0.20
S 3	0.32	4500	6.82	9.82	0.31
S 4	0.32	2500	11.11	8.89	0.28
			<b>Total</b>	<b>38.87</b>	<b>1.22</b>

Tabla No. 4. Salidas subterráneas por flujo horizontal

### 7.3 Cambio de almacenamiento (ΔVS).

Para la determinación de este término se consideró la evolución piezométrica del acuífero en el intervalo de tiempo de enero de 1980 a enero de 1993, con base en 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

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 enero 1980 - enero 1993, fue de 2,466.201 hm<sup>3</sup>, que equivale a 189.7 hm<sup>3</sup>/año, dando el siguiente resultado:

$$\Delta V = \text{Volumen drenado} * S$$

Sustituyendo valores:

$$\Delta V = 189.7 (0.13)$$

$$\Delta V(S) = 24.7 \text{ hm}^3/\text{año} \text{ (Millones de metros cúbicos anuales).}$$

Área No.	A (km <sup>2</sup> )	h (m)	Volumen drenado (hm <sup>3</sup> )
1	1.125	5.0	5.625
2	4.450	5.0	22.250
3	7.375	5.0	36.875
4	15.225	5.5	83.737
5	13.750	5.5	75.625
6	11.875	7.0	83.125
7	8.925	7.0	62.475
8	3.125	9.0	28.125
9	8.900	7.5	66.750
10	3.750	8.0	30.000
11	5.725	6.0	34.350
12	6.100	6.0	36.000
13	24.675	6.0	148.050
14	29.750	6.0	178.500
15	3.000	6.0	18.000
16	11.225	8.0	89.800
17	17.750	8.0	142.000
18	29.800	8.0	238.400
19	2.075	13.0	26.975
20	16.150	11.5	185.725
21	9.250	11.5	106.375
22	3.225	13.0	41.925
23	2.875	15.0	43.125
24	9.700	6.5	63.050
25	30.250	7.0	211.750
26	19.750	6.5	128.375
27	33.875	5.5	186.312
28	12.125	6.5	78.812
29	1.950	8.0	15.600
<b>Total</b>	<b>446.675</b>		<b>2466.201</b>
<b>Promedio para el periodo 1980-1993 =</b>			<b>189.7</b>

Tabla No. 5. Resultados del cálculo del cambio de almacenamiento.

### 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:

$$Rv = Sh + Dm + B - Eh - Ir - \Delta V(S)$$

Sustituyendo valores:

$$Rv = 1.2 + 0.1 + 80.0 - 5.6 - 7.7 - 24.7$$



$$R_v = 43.3 \text{ (hm}^3\text{/año)}$$

Sustituyendo valores en la ecuación general de balance:

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

$$56.6 - 81.3 = -24.7 \text{ hm}^3\text{/año (Millones de metros cúbicos anuales).}$$

De los resultados antes expuestos, se desprende que el balance hidráulico de los recursos subterráneos es negativo, puesto que actualmente, la recarga que recibe el acuífero es del orden de 56.6 hm<sup>3</sup>/año, en tanto que las salidas ascienden a 81.3 hm<sup>3</sup>/año, existiendo un déficit de 24.7 hm<sup>3</sup>/año, volumen que está siendo extraído a costa del almacenamiento no renovable del acuífero.

La magnitud del déficit del agua que se tiene, es una evidencia inobjetable de la sobreexplotación que predomina en el acuífero.

## 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 la 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 (48.9 hm<sup>3</sup>/año) más la recarga inducida (7.7 hm<sup>3</sup>/año), arroja un valor de **56.6 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 en donde básicamente no existe caudal base, sólo se considerará como descarga comprometida el valor de 1.2 hm<sup>3</sup>/año, que se tiene como salida de flujo subterráneo hacia el estado de Aguascalientes, y la descarga de manantiales estimada en 0.1 hm<sup>3</sup>/año; por lo que su valor es de **1.3 hm<sup>3</sup>/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 Ojocaliente, el rendimiento permanente equivale a 55.3 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 65'129,089 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:

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

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 de lo anterior y sustituyendo valores en la ecuación obtenemos:

$$DAS = 56.6 - 1.3 - 65.129089$$

$$\mathbf{DAS = -9.829089 \text{ hm}^3/\text{año}} \text{ (Millones de metros cúbicos anuales).}$$

El valor indica que no existe disponibilidad de aguas subterráneas. Por lo tanto, no podrán otorgarse nuevas concesiones o asignaciones para extraer volúmenes adicionales, a fin de lograr la estabilización del acuífero mediante el manejo racional del recurso.

## **9. BIBLIOGRAFÍA**

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.

Secretaría de Agricultura y Recursos hidráulicos (SARH), 1977, Estudio Geohidrológico de Evaluación y Censo en los Estados de San Luis Potosí y Zacatecas, Zona de Ojocaliente, Zac.

Custodio, Llamas E., Hidrogeología Práctica.

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