

***Actualización de la disponibilidad media anual
de agua en el acuífero Aguanaval (3214),
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.**

CDII REGIÓN HIDROLÓGICO-ADMINISTRATIVA "CUENCAS CENTRALES DEL NORTE"							
CLAVE	ACUÍFERO	R	DNCOM	VCAS	VEXTET	DAS	DÉFICIT
CIFRAS EN MILLONES DE METROS CÚBICOS ANUALES							
ESTADO DE ZACATECAS							
3214	AGUANAVAL	85.7	9.5	166.449029	102.0	0.000000	-90.249029

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.

ACUIFERO 3214 AGUANAVAL

VERTICE	LONGITUD OESTE			LATITUD NORTE		
	GRADOS	MINUTOS	SEGUNDOS	GRADOS	MINUTOS	SEGUNDOS
1	103	14	21.5	22	43	16.1
2	103	13	31.5	22	46	10.3
3	103	12	42.1	22	50	51.1
4	103	12	14.9	22	56	14.9
5	103	17	34.1	22	58	40.2
6	103	20	10.9	23	1	43.0
7	103	23	14.5	23	4	17.2
8	103	14	16.0	23	9	27.5
9	103	10	8.0	23	15	21.7
10	103	9	33.1	23	17	46.5
11	103	12	48.4	23	17	22.0
12	103	12	46.8	23	19	38.6
13	103	11	29.7	23	21	57.5
14	103	13	8.3	23	25	49.6
15	103	10	7.7	23	27	5.7
16	103	10	5.2	23	33	14.5
17	103	11	31.1	23	36	44.9
18	103	13	13.4	23	38	50.2
19	103	11	33.1	23	40	49.7
20	103	6	40.2	23	39	13.3
21	103	3	26.1	23	37	29.7
22	102	57	57.7	23	36	45.6
23	102	55	9.9	23	34	43.5
24	102	51	59.1	23	35	18.9
25	102	50	35.1	23	30	9.3
26	102	48	52.9	23	28	48.9
27	102	44	2.3	23	23	26.2
28	102	47	12.7	23	21	10.2
29	102	51	22.4	23	18	40.8
30	102	53	32.1	23	14	27.2
31	102	55	51.7	23	12	23.3
32	102	57	52.0	23	8	17.0
33	102	57	50.5	23	6	39.0
34	103	1	10.1	23	2	4.9
35	103	1	18.9	22	57	44.3
36	103	3	53.9	22	54	42.5
37	103	6	30.4	22	52	54.7
38	103	10	29.9	22	48	27.0
39	103	10	40.9	22	46	45.0
40	103	8	49.0	22	44	14.7
41	103	9	53.2	22	43	2.5
42	103	11	29.5	22	42	51.3
43	103	12	33.7	22	40	42.8
44	103	13	2.9	22	41	40.2
1	103	14	21.5	22	43	16.1



Comisión Nacional del Agua

Subdirección General Técnica

Gerencia de Aguas Subterráneas

Subgerencia de Evaluación y Modelación Hidrogeológica

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

México, D.F., 30 de abril de 2002

CONTENIDO

1.- GENERALIDADES

- 1.1.- Localización
- 1.2.- Situación administrativa del acuífero

2.- ESTUDIOS TECNICO REALIZADOS CON ANTERIORIDAD

3.- FISIOGRAFIA

- 3.1.- Provincias fisiográficas y geomorfología
- 3.2.- Clima
- 3.3.- Hidrografía

4.- GEOLOGIA

- 4.1.- Estratigrafía
- 4.2.- Geología estructural
- 4.3.- Geología del subsuelo

5.- HIDROGEOLOGIA

- 5.1.- Modelo conceptual
- 5.2.- Parámetros hidráulicos
- 5.3.- Piezometría
- 5.4.- Comportamiento hidráulico
- 5.5.- Hidrogeoquímica y calidad del agua subterránea

6.- CENSO DE APROVECHAMIENTOS E HIDROMETRIA

7.- BALANCE DE AGUAS SUBTERRANEAS

- 7.1.- Estimación de la recarga
- 7.2.- Estimación de las salidas
- 7.3.- Cambio de almacenamiento

8.- DISPONIBILIDAD DE AGUA SUBTERRÁNEA

INDICE DE LAMINAS

- 1.- LOCALIZACIÓN DE LA ZONA GEOHIDROLOGICA.
- 2.- COBERTURA DE LAS ZONAS DE VEDA
- 3.- COBERTURA DE LAS ZONAS DE DISPONIBILIDAD (L.F.D. 2000)
- 4.- HISTOGRAMA DE PRECIPITACIONES MEDIA MENSUAL Y ANUAL
- 5.- HISTOGRAMA DE TEMPERATURA MEDIA MENSUAL Y ANUAL
- 6.- HISTOGRAMA DE EVAPORACION MEDIA MENSUAL Y ANUAL
- 7.- PROFUNDIDAD DEL NIVEL ESTATICO
- 8.- ELEVACION AL NIVEL ESTATICO
- 9.- ZONAS DE MAYOR ABATIMIENTO

ACUÍFERO: AGUANAVAL

1.- GENERALIDADES

1.1.- Localización

La zona geohidrológica de Aguanaval se localiza en la porción Central del Estado de Zacatecas, el área cubre una superficie aproximada de 3,180 km², que representa el 4.24 % del territorio estatal; ocupando de manera parcial a los municipios de Fresnillo, Cañitas de Felipe Pescador, Sain Alto, Río Grande, Jerez y un porción muy pequeña del municipio de Susticacán.

Geográficamente, la zona de estudio se localiza dentro de la poligonal cuyos vértices se enlistan a continuación:

Vértice	LONGITUD OESTE			LATITUD NORTE			OBSERVACIONES
	GRADOS	MINUTOS	SEGUNDOS	GRADOS	MINUTOS	SEGUNDOS	
1	102	48	43.2	23	28	26.4	
2	102	47	45.6	23	23	31.2	
3	102	49	55.2	23	20	34.8	
4	102	55	1.2	23	17	34.8	
5	102	55	4.8	23	15	28.8	
6	102	52	55.2	23	12	0.0	
7	102	53	9.6	23	10	26.4	
8	102	56	45.6	23	9	25.2	
9	102	58	8.4	23	2	24.0	
10	103	0	39.6	23	1	22.8	
11	103	3	54.0	22	54	43.2	
12	103	6	28.8	22	52	55.2	
13	103	10	40.8	22	46	44.4	
14	103	9	54.0	22	44	9.6	
15	103	13	12.0	22	41	45.6	
16	103	13	55.2	22	41	2.4	
17	103	14	42.0	22	41	31.2	
18	103	14	45.6	22	42	3.6	
19	103	14	20.4	22	43	15.6	
20	103	14	16.8	22	44	9.6	
21	103	15	50.4	22	45	54.0	
22	103	13	1.2	22	55	26.4	
23	103	16	48.0	22	57	36.0	
24	103	23	16.8	23	4	30.0	
25	103	14	16.8	23	9	28.8	
26	103	12	28.8	23	12	25.2	

27	103	12	28.8	23	19	33.6	
28	103	13	22.8	23	19	48.0	
29	103	14	20.4	23	18	46.8	
30	103	15	28.8	23	19	4.8	
31	103	13	37.2	23	25	48.0	
32	103	6	10.8	23	25	22.8	
33	103	3	43.2	23	31	55.2	
34	103	11	56.4	23	32	38.4	
35	103	14	34.8	23	37	26.4	
36	103	10	44.4	23	39	50.4	
37	103	9	18.0	23	44	24.0	
38	103	4	44.4	23	47	45.6	
39	103	0	32.4	23	39	0.0	
40	102	51	28.8	23	37	55.2	
41	102	49	22.8	23	36	7.2	
42	102	50	52.8	23	31	37.2	
1	102	48	43.2	23	28	26.4	

Los principales centros de población del área son: San José de Lourdes, Matías Ramos, San José del Alamito, San Jerónimo, Guadalupe de Trujillo, Plenitud, La Salada, La Encantada, Estación Gutiérrez, Rancho Grande, Monte Mariana y La Chicharrona, entre otros.

La zona esta bien comunicada, las vías más importantes son: la Carretera Federal No. 45, en el tramo Fresnillo – Durango que atraviesa la zona de la parte central hacia el Noroeste, la No. 49 en su tramo Fresnillo - Torreón, esta atraviesa el área de la porción central al Norte y la Carretera Estatal No. 54 que comunica las cabeceras municipales de Fresnillo y Valparaiso, atravesando la zona por la parte central hacia el Suroeste, en la porción Este de la Zona, pasa la vía del ferrocarril que va de Fresnillo a Torreón, teniendo una estación muy cercana a las poblaciones de La Encantada y La Salada llamada Estación Gutiérrez.

La actividad de mayor importancia en la región es la agricultura de riego, ya que en esta se finca la economía de la población, en segundo termino se tiene la ganadería, que aprovecha algunos pastizales aislados en las laderas adyacentes de la planicie, y en menor proporción, el comercio, la explotación y beneficio de minerales.

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, 6 de abril de 1981 y 5 de agosto de 1988, en estos tres decretos el tipo de veda que se establece es de control.

Así mismo, en el Estado están definidas distintas zonas de disponibilidad, que de acuerdo a la Ley Federal de Derechos vigente para el año 2000, de los seis municipios que conforman la región, uno de ellos (Fresnillo) se ubica en la zona de disponibilidad No.4; otros dos (Jerez y Susticacán) en la zona No. 6; y los otros tres (Río Grande, Sain Alto y Cañitas de Felipe Pescador) en la zona No. 7.

A la fecha se han iniciado las reuniones de trabajo con usuarios de la zona para la integración del Comité Técnico de Aguas Subterráneas del acuífero (COTAS). En esta región, la actividad agrícola es la que tiene un impacto más sobresaliente en el uso del agua.

2.- ESTUDIOS TECNICO REALIZADOS CON ANTERIORIDAD

Los estudios de carácter geohidrológico realizados en la zona son los siguientes:

♦ Informe final del estudio geohidrológico preliminar de la Cuenca Media del Aguanaval, Zac. S.R.H. 1973.

En este estudio se censaron 387 pozos, 147 norias y 13 manantiales; de las obras censadas, el 77% se destina a fines agrícolas, el 19% a usos domésticos y de abrevadero, y el 4% se emplea en abastecimientos de agua potable. La extracción global era de 17 Mm³ al año.

Los niveles estáticos variaban de 2 a 60 m de profundidad, el abatimiento piezométrico regional entre 1971-1973 fue de 0.39 m/año; y el flujo subterráneo es en dirección Sur-Norte. El coeficiente de transmisividad deducido de 26 pruebas de bombeo varía de 0.0004 a 0.021 m²/s; el de almacenamiento varia de 0.1 a 0.001, y la recarga anual estimada es de 10 Mm³.

El estudio restringe la construcción de nuevos pozos y recomienda seguir con las observaciones piezométricas e instalar una estación de aforo para conocer las aportaciones del Río Chico, y otra en el Río Aguanaval, a la altura del Rancho La Soledad para determinar la descarga de los acuíferos marginales.

♦ Actualización del estudio geohidrológico de la Cuenca Media del Aguanaval, Zac., S.A.R.H. 1981.

La transmisividad varía de 0.0003 a 0.031 m²/s; este valor se obtuvo de 25 pruebas de bombeo y corresponde a acuíferos con permeabilidad heterogénea y anisotrópica. La recarga estimada fue de 88 Mm³ /año. Los niveles estáticos varían entre 10 y 60 m de profundidad; el flujo subterráneo tiene dirección Sur-Norte; y la evolución piezométrica entre 1980-1981, manifiesta recuperación y abatimiento de 2 y 4 m respectivamente.

El acuífero se encontró en equilibrio hidrológico, recomendándose el incremento del bombeo en la parte baja de la cuenca con poca explotación, mediante pozos de unos 250 m de profundidad. El bombeo y la recarga de los acuíferos resultaron superiores para 1981 en poco mas de cuatro y nueve veces que las cifras de 1973.

- ◆ Actualización de estudio geohidrológico del valle de Aguanaval, Zac. C.N.A. 1992.

El balance geohidrológico abarca 430 km² de superficie que corresponde a la zona principal de bombeo, la recarga anual resulta de 80.3 Mm³. El coeficiente de almacenamiento regional fue de 0.1, que es congruente con la litología de grano grueso de los materiales del subsuelo y con un sistema de flujo libre.

En el área de balance el abatimiento piezométrico medio resulto de 0.6 m/año para el lapso 1981-1990, y la hidrometría total de 102 Mm³ /año. Fuera del área de balance, en los extremos Norte y Sur de la cuenca, hay equilibrio hidrológico y disponibilidad del recurso hidráulico subterráneo en unos 10 Mm³ anuales para cada límite, especialmente en el Suroccidental, con amplias planicies potencialmente agrícolas. Los resultados de este estudio fueron la base para la elaboración del presente documento.

- ◆ Estudio para la Reactivación de Redes de Monitoreo del Acuífero de la Cuenca del Aguanaval, C.N.A., 1997.

3.- FISIOGRAFIA

3.1.- Provincias fisiográficas y geomorfología

La zona geohidrológica forma parte de dos Provincias Fisiográficas: La porción Sur y Suroeste pertenecen a la Provincia Fisiográfica de La Sierra Madre Occidental, ocupando la Subprovincia Sierras y Valles Zacatecanos; el resto de la zona se ubica en la Provincia Fisiográfica de La Mesa Central, ocupando la Subprovincia Llanos y Sierras Potosino - Zacatecanos.

Los principales sistemas de topofomas que se observan son: una llanura aluvial que presenta elevaciones promedio de 2050 msnm, delimitada al Norte, Este y Sureste por lomeríos muy suaves y aislados con bajadas, al Sur se distinguen bajadas aluviales y sierras bajas, de estas ultimas destaca la Sierra de Fresnillo que presenta elevaciones del orden de 1700 msnm.; al Oeste los rasgos corresponden a bajadas aluviales, lomeríos con bajadas y sierras altas con mesetas, esta última conocida como Sierra de Chapultepec, que es el principal sistema montañoso, donde se ubican las máximas elevaciones del orden de 2800 msnm.

El drenaje superficial integrado por corrientes intermitentes es de tipo dendrítico. Por sus características, la región se ubica en una etapa geomorfológica de madurez temprana.

3.2.- Clima

De acuerdo a la clasificación de W. Koppen, modificado por E. García, se distinguen dos tipos de clima: la mayor parte de la zona pertenece al tipo semiseco BS₁kw, con lluvias en verano y en menor proporción en invierno; al Occidente de la zona, en la Sierra de Chapultepec, se presenta un clima de tipo templado C(w₁) y C(w₀).

Para el análisis de la información climatológica se cuenta con 6 estaciones que son: Cueva Grande, El Cazadero, El Sauz (Presa Leobardo Reynoso), Fresnillo, Presa Santa Rosa y San José de Llanetes, aunque para fines prácticos del presente documento solo se describe únicamente la información de la estación El Sauz (Presa Leobardo Reynoso) por considerar que es la más representativa, se encuentra ubicada en el paralelo 23° 10' 46'' de latitud norte y en el meridiano 103° 12' 26'' de longitud oeste y una altitud de 2,090 msnm, la información con que se cuenta es un período de 52 años, aunque para el caso de la evaporación y temperatura, existen 3 años donde no se cuenta con la información completa.

3.2.1.- Precipitación

La precipitación promedio mensual varía de un mínimo de 3.5 mm a 96.0 mm como máximo. En sí, los valores más bajos se presentan en los meses de febrero, marzo y abril, los valores más altos se registran durante los meses de junio a septiembre, el mes que presenta la precipitación más alta corresponde al mes de agosto.

En cuanto a la precipitación media anual dentro de período analizado el valor mínimo es de 241.9 mm en el año de 1969, el valor máximo corresponde al año de 1958 con un valor de 807.3 mm y la precipitación promedio anual para la zona es de 428.9 mm.

3.2.2.- Evaporación

El valor promedio mensual de evaporación varía de un mínimo de 95.1 mm en el mes de diciembre a un máximo de 248.6 mm en el mes de mayo, el rango de valores más altos se presenta entre los meses de marzo a agosto.

Los valores promedio de evaporación anual para el período considerado, varían de un mínimo de 1,545.3 mm presentado en el año de 1992 a un máximo de 2,409.3 mm registrado en el año de 1957. La evaporación media anual dentro del período de análisis para el área de estudio es de 1,970.2 mm.

3.2.3.- Temperatura

La temperatura media mensual oscila entre un mínimo de 11.0° C y un máximo de 20.9° C, los valores máximos de temperatura se registran en los meses de mayo y agosto, mientras los mínimos invariablemente se presentan en el mes de enero y diciembre.

Los valores promedio anual de temperatura en el período analizado, varían de una temperatura mínima de 15.0° C registrada en el año de 1976 y una máxima de 17.0° C registrada en el año de 1990, la temperatura media anual para la zona es de 16.2° C.

3.3.- Hidrografía

La zona geohidrológica corresponde a una cuenca topográficamente abierta, de forma irregular, ligeramente alargada, con orientación Norte-Sur; delimitada por el parteaguas que forma la Sierra de Fresnillo en su porción Oriental, la Sierra de Chapultepec en su parte Occidental, la Sierra de Cardos en el extremo Sur y algunos cerros y lomeríos de poca elevación que se ubican al Norte y Este de la cuenca.

Pertenece a la Región Hidrológica No. 36 "Nazas - Aguanaval", a la cuenca "Río Aguanaval", y a las subcuencas "Río Chico" y "Río Trujillo". Cabe mencionar, que una fracción de la zona geohidrológica, aproximadamente el 21 %, queda dentro de la región Hidrológica No. 37 "El Salado".

En el área de estudio la corriente superficial de mayor importancia esta representada por el "Río Aguanaval", es de carácter intermitente, drena de Sur a Norte por la parte central de la cuenca, el resto de los escurrimientos son de menor importancia y de carácter torrencial.

Existen en la zona algunas presas de almacenamiento de importancia, mismas que a continuación se relacionan:

PRINCIPALES APROVECHAMIENTOS HIDRÁULICOS SUPERFICIALES DE LA ZONA

Nombre	Municipio	Capacidad Almacenamiento (Mm ³)	Corriente aprovechada	Beneficio (Has.)
Leobardo Reynoso Gutiérrez (Trujillo)	Fresnillo	118.0	R. Aguanaval	4,892.
Santa Rosa	Fresnillo	14.0	R. Chico	509.
Carta de los Deberes y Derechos (Cabrales)	Fresnillo	6.5	R. Chico	457.
San Juan de la Casimira (La Casimira)	Fresnillo	1.0	A. El Angelito	100.
San Juan de los Hornillos (Los Hornos)	Fresnillo	1.0	A. Los Hornos	112.
San Cristóbal de Abajo	Fresnillo	6.0	A. El Monte	
El Sauz (Fresnillito)	Fresnillo	1.6	A. Guadalupe	300.
Guadalupe Trujillo	Fresnillo	0.96	A. El Refugio	87.
	Total	149.06		6,457.

Además existen numerosos bordos y tanques que sumados con las presas constituyen un grupo importante de almacenamientos de aguas superficiales.

4.- GEOLOGIA

4.1.- Estratigrafía

Sistema Cretácico superior

Formación Indidura

Esta representada por calizas de color gris oscuro, en alternancia con lutitas laminadas, en el Norte del Estado fuera del área de estudio, se detectó un espesor medio de 175 m, los afloramientos de esta Formación se localizan a 6 km al NW de la población El Baluarte, a la altura de la carretera a Durango, al Sur del poblado La Chicharrona donde forman cerros aislados con poca elevación, y finalmente al Oriente de la población Estación Gutiérrez donde le sobreyacen discordantemente lavas riolíticas.

Sistema Terciario

Lavas Riolíticas

Abarcan gran parte de la porción Occidental, constituyendo la Sierra de Chapultepec con una superficie aproximada de 150 km²; al Suroeste forman los cerros El Pajarito, Las Burras, Los Aguirre, Las Tareas, El Chivo y la Leona, donde abarca un área de aproximadamente 125 km², se encuentran cubiertas por depósitos conglomeráticos del Cuaternario. Los cerros Cacalote, Las Finas, La Chichita, La daga, La Leona y El Cuate, corresponden a los últimos afloramientos de estas lavas; al Sureste la Sierra de Fresnillo, tiene una extensión de 200 km².

Al Norte y Oriente del poblado El Obligado, existe un afloramiento importante de Rocas Riolíticas formando la Mesa San Albino; y al Noreste, los derrames riolíticos cubren parcialmente las calizas de la Formación Indidura.

Tobas volcánicas

Se consideran contemporáneas a los derrames riolíticos, afloran al Poniente del área de estudio y se encuentran alternando con derrames de lavas.

Conglomerados

Aflora al Oriente del Poblado Carrillo, en unos 50 km² de superficie, como un conglomerado calcáreo con horizontes de arena y cementado fuertemente en la parte superior de su secuencia, norias que cortan esta unidad confirman su presencia.

Sistema Cuaternario

Basaltos

Al Noroeste del poblado Guadalupe Trujillo aflora una asociación de basaltos y material piroclástico del cuaternario, definiendo perfiles en forma de mesetas de unos 22 km² de superficie; otros afloramientos basálticos se encuentran muy cerca de la Presa Los Ojos de Agua, al Noreste del área de estudio se presenta un cono formado por escoria y brecha basáltica.

Conglomerado

En la parte Suroeste del área de estudio, en los alrededores de los poblados Buenavista de Trujillo, San Jerónimo, El Epazote, San José y Torreón de los Pastores, se presentan capas de un metro de espesor de conglomerado, pobremente compactado, con alternancia de capas de arenas,

arcillas y limos, que en conjunto forman terrazas de espesor promedio de 30 m, y tienen un área de afloramiento de 48 km².

Al Noroeste del área de estudio, en las partes elevadas, se presentan mas afloramientos de conglomerados, formando capas superficiales depositadas probablemente sobre lavas riolíticas.

Depósitos de Pie de Monte

Se observan en las sierras limítrofes del valle, los mejores afloramientos presentan unos 10 km² de extensión y se observan en las estribaciones de la Sierra de Chapultepec, entre los poblados Seis de Enero y El Baluarte.

Aluvión

Estos depósitos cubren las unidades antes descritas, rellenan las partes topográficamente bajas y proceden de la erosión e intemperismo de los afloramientos rocosos preexistentes.

Los materiales de relleno, son de granulometría heterogénea, con variaciones horizontales y verticales, se encuentran en alternancia con horizontes de arena, arcillas, gravas y limos, tiene cierta continuidad lateral, con geometría irregular.

Los cortes litológicos de pozos de la zona San José de Lourdes, detectan espesores de 400 m de material granular, posiblemente del reciente, ya que dichos pozos aparentemente no cortaron otra formación, aunque es de esperar variaciones de su espesor debido a la accidentada topografía que cubrieron durante su depositación.

4.2. Geología estructural

En el área se pueden identificar dos fases tectónicas de deformación principales; la primera, de carácter compresivo tuvo lugar a finales del Cretácico y principios del Terciario y fue la responsable del plegamiento de las rocas sedimentarias Mesozoicas, cuya morfología fue cubierta con la depositación de un potente paquete de rocas volcánicas. La segunda fase tectónica de deformación ocurrió durante el Terciario, fue de carácter distensivo y se refleja en la existencia de fracturas y algunas fallas normales las cuales fueron enmascaradas por depósitos del Reciente.

4.3. Geología del subsuelo

Las exploraciones geofísicas realizadas en el área cubrieron la mayor parte del valle; estas se llevaron a cabo durante el estudio elaborado en el año 1981, denominado “Actualización del Estudio Geohidrológico de la Cuenca Media del Aguanaval, Estado de Zacatecas”, se realizaron un total de 56 sondeos eléctricos verticales (SEV), distribuidos en 4 secciones geoeléctricas de longitud variable, la separación entre los sondeos fue de 1 a 2 km.

La Sección 1, tiene una longitud de 13.5 km, va a lo largo de la terracería que une el poblado de Guanajuato con la Laguna Los Ojos de Agua, esta formada por un total de 13 sondeos y su orientación es NW-SE.

La Sección 2, presenta una orientación NW-SE, tiene una longitud de 18.5 km, la forman 15 sondeos, corre desde el poblado de Plenitud finalizando a 7 km al W de Fresnillo.

La Sección 3, esta integrada por 11 sondeos, tiene una orientación NW-SE, corre a lo largo de la carretera que une a Fresnillo con Durango, comienza en el poblado del Baluarte, finalizando a 3.5 km al NW de la Chicharrona, presenta una longitud total de 16 km.

La Sección 4, presenta una orientación sensiblemente W-E, esta compuesta por 12 sondeos, tiene 19 km de longitud y cruza las poblaciones La Salada, La Encantada y Estación Gutiérrez. Además de los estudios geofísicos realizados, se cuenta con cortes litológicos de pozos construidos en diferentes años, que permiten definir la mayor parte de la geometría del subsuelo.

El acuífero cubre superficialmente una extensión de 995 km², que representa el 31.3 % respecto al área total de la zona geohidrológica, tiene forma alargada, con orientación NE - SW; longitudinalmente mide 70 km y tiene un ancho medio de 17 km, disminuyendo hacia el Sur y aumentando hacia el Norte.

Los depósitos granulares del Terciario (intercalación de arenas tobaceas y conglomerados), se encuentran formando un acuífero de tipo libre, cuyo basamento y barreras laterales lo forman rocas de la Formación Indidura del Cretácico y las lavas riolíticas sin fracturamiento apreciable del Terciario. El espesor promedio del acuífero es de 400 m.

5.- HIDROGEOLOGIA

5.1.- Modelo conceptual

El acuífero esta constituido por sedimentos clásticos (arenas tobaceas y conglomerados) depositados en una fosa, de origen tectónico. Los límites de la zona geohidrológica coinciden con el parteaguas que delimita una cuenca que posiblemente tenga continuidad subterránea hacia la zona geohidrológica de El Palmar.

La recarga que recibe el acuífero proviene de la precipitación pluvial que se realiza sobre las sierras, mesetas y lomeríos, la cual, una parte se infiltra a través del fracturamiento de las rocas volcánicas, y alimenta por flujo subterráneo al acuífero. Otra parte de la precipitación que se realiza en las zonas de recarga, escurre superficialmente, infiltrándose parte de este escurrimiento al llegar al contacto con los materiales granulares. Existe la posibilidad que se tengan también entradas por flujo horizontal de la zona de Abrego, con la cual, se estima, que existe continuidad hidráulica a través de rocas volcánicas fracturadas y por las infiltraciones que se dan en el vaso de la presa Leobardo Reynoso, sin embargo este volumen no se tiene cuantificado.

Así mismo, la recarga se realiza por la infiltración de agua que se precipita sobre el mismo valle, alimentando por flujo vertical al acuífero. Un volumen importante proviene de los retornos de riego que se realiza con aguas de la presa antes mencionada y por bombeo del mismo acuífero.

La descarga de agua subterránea es principalmente por bombeo de pozos y norias; y por flujo base del Río Aguanaval en la parte baja de la cuenca, en las proximidades del poblado Río de Medina, sin embargo, no está cuantificado el caudal base puesto que se carecen de estaciones hidrométricas en el tramo del río donde su comportamiento es efluente, comparativamente este volumen es despreciable con respecto al bombeo. Se tienen además salidas por evaporación y evapotranspiración a lo largo del cauce del Río Aguanaval.

La dirección preferencial del flujo subterráneo es de Sur a Norte, en las porciones Este y Oeste dentro de los límites con las sierras mesetas 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 Sur.

5.2.- Parámetros hidráulicos

La distribución espacial de la transmisividad se determinó a partir de la información de 75 pruebas de bombeo distribuidas en toda la cuenca, las cuales fueron realizadas durante los diversos estudios geohidrológicos efectuados en la zona.

En la porción Centro-Sur de la cuenca la transmisividad varía entre 0.001 y 0.006 m²/s; entre los poblados San Cristóbal, El Salto de Santa Cruz, Torreón de los Pastores, Plenitud y Emancipación, fluctúa entre 0.006 y 0.012, con valores máximos de 0.021 y 0.0135 m²/s; en su parte central la transmisividad es de 0.004; y en su extremo Nor-Noroeste, varía entre 0.0005 y 0.003 m²/s.

En términos generales, predominan los valores mayores de 0.002 m²/s, que están asociados con materiales granulares de regular a buena conductividad hidráulica.

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 0.1, 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 durante el estudio del año 1973, la construcción de nuevos aprovechamientos permitió obtener mayor información, contándose a la fecha con una red de 140 pozos piloto, que se han monitoreado en forma continua en el periodo que comprende de 1973 a 1997; lo cual nos permite contar con una historia piezométrica completa, que incluye información en temporada de estiaje y de lluvias.

5.4.-Comportamiento hidráulico

Profundidad del nivel estático

Con la información del último recorrido de observación piezométrica, se elaboró el plano de curvas de igual profundidad del nivel estático, correspondiente a julio de 1997, en este se observa que en la porción Norte se tiene profundidades de 30 a 50 m, estos últimos influenciados por las elevaciones del terreno. Hacia el Centro del valle, las lecturas observadas varían de 20 a 30 m, en la parte Sur las profundidades son del orden de 40 a 60 m; las máximas elevaciones se presentan en los bordes de la Sierra de Chapultepec donde la elevación topográfica incide directamente, observándose valores de 60 a 80 m.

Elevación al nivel estático

Las líneas equipotenciales de igual elevación a los niveles estáticos correspondientes a julio de 1997, muestran una dirección del flujo subterráneo que va de Sur a Norte, siguiendo sensiblemente la trayectoria del Río Aguanaval. Las elevaciones varían de 2150 msnm en la porción Sur, a 2000 msnm en la porción Norte de la zona.

El plano muestra que la recarga al acuífero proviene de la zona de transición del valle con las montañas, mesetas y lomeríos, incorporándose posteriormente al flujo general que es de Sur a Norte, para continuar en dirección a la zona de El Palmar.

Evolución del Nivel Estático (Zonas de Mayor Abatimiento)

Basándose en el comportamiento del nivel estático durante el período noviembre 1990 a julio 1997, se elaboró el plano de zonas de mayor abatimiento, el cual muestra los rangos de abatimiento medio anual que se presentan en el acuífero. Los descensos mayores que van de 0.75 a 1.5 m/año, se observan en las cercanías de las comunidades San José de Lourdes, San Jerónimo y Potrero Blanco; descensos menores del orden de 0.15 a 0.30 m/año se presentan en la parte central de la zona; mientras que abatimientos de 0.10 a 0.15 m/año se ubican en la porción Norte, Noreste y Noroeste.

5.5.- Hidrogeoquímica y calidad del agua subterránea

Las aguas subterráneas dentro del estudio, de acuerdo con los análisis fisicoquímicos indican que es de buena calidad para todo uso y no requiere ningún tratamiento especial para fines agrícolas, Sus contenidos de sólidos totales disueltos (STD) varían de 200 a 750 partes por millón (ppm). Por lo que el agua puede ser clasificada como: mixta bicarbonatada y mixta sódico - bicarbonatada, de clase C2-S1, que corresponde a salinidad media con valores de sodio bajos.

La presencia de este tipo de agua, donde predomina el ion bicarbonato y el ion sodio, se puede deber a la amplia distribución de calizas y reacciones naturales entre el agua, el CO₂ así como a la disolución de minerales existentes en las riolitas, tobas y basaltos. Las aguas sódico - carbonatadas y mixtas sódico - carbonatadas se encuentran en las partes centrales del valle, probablemente por efecto del intercambio iónico que se realiza al circular el fluido entre las rocas.

6.- CENSO DE APROVECHAMIENTOS E HIDROMETRIA

De acuerdo al inventario de aprovechamientos hidráulicos subterráneos realizado durante el estudio del año 1992, en la zona de Aguanaval se tiene la existencia de 794 obras, de las cuales 769 están activas y 25 inactivas. De acuerdo al tipo de aprovechamiento, de las obras activas, 620 son pozos y 149 corresponden a norias.

Atendiendo su uso, de los pozos 551 son destinados a la agricultura, 32 para abastecimiento de agua potable, 31 son con fines doméstico - pecuario y 6 son industriales.

De las norias, 117 son destinadas a la agricultura, 16 para abastecimiento de agua potable de rancherías y pequeñas comunidades y 16 para fines doméstico - pecuario.

En conjunto, estas obras extraen un volumen anual de 102 Mm³/año, del cual 95.77 Mm³/año es para uso agrícola, 4 Mm³/año se emplea en agua potable y servicios, 2 Mm³/año para doméstico - pecuario y 0.23 Mm³/año para fines industriales.

EVALUACION DE LA EXTRACCION DE ACUERDO AL USO DEL AGUA

Tipo de Obra	Uso del agua										Obras Inactiv.
	agrícola		doméstico/pecuario		público ur./servicios		industrial		Total		
	No. aprov.	volumen Extracc Mm ³ /a	No. aprov.	volumen extracc. Mm ³ /a	No. aprov.	volumen Extracc. Mm ³ /a	No. Aprov	volumen Extracc. Mm ³ /a	No. aprov	Volumen Extracc. Mm ³ /a	
Pozos	551	93.663	31	1.990	32	3.980	6	0.227	620	99.86	25
Norias	117	2.111	16	0.010	16	0.020	0	0.000	149	2.14	0
Totales	668	95.77	47	2.00	48	4.00	1	0.23	769	102.00	25

La explotación total anual, incluyendo la extracción para uso doméstico, pecuario, público urbano e industrial, se estimó en 91 Mm³/año por el método superficie - lámina de riego, y en 121.2 Mm³/año por el método caudal - tiempo de bombeo, por lo que el volumen anual representativo fue de 102 Mm³/año.

7.- BALANCE DE AGUAS SUBTERRANEAS

El área donde se tiene información piezométrica, considerada para la realización del balance es de 430 km², representa el 43 % respecto al área acuífera.

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

$$\text{Entradas (E) - Salidas (S) = Cambio en el volumen almacenado (CVA)}$$

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

$$Eh + Ip + Ir - Sh - Dm - B = CVA$$

Donde:

Eh: Entradas por flujo horizontal de zonas de recarga

Ip: Infiltración por lluvia

Ir: Infiltración en áreas de riego

Sh: Salidas por flujo subterráneo horizontal

Dm: Descarga por manantiales

B: Bombeo

CVA: Cambio en el volumen almacenado

7.1.- Estimación de la recarga

Entradas por flujo subterráneo (Eh)

El cálculo de entradas por flujo horizontal, producto de la precipitación que se infiltra en las zonas de recarga, y de posibles aportes de aprovechamientos hidráulicos superficiales se realizó basándose en la red de flujo, partiendo de la configuración de elevación del nivel estático para noviembre de 1990, 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 9 celdas de entrada fue de 0.426 m³/s, que corresponde a **13.4 Mm³/año**

RESULTADOS DEL CALCULO DE ENTRADAS POR FLUJO HORIZONTAL (Eh)

NO. CELDA	Δh (m)	ΔL (km)	i (m/km)	B (km)	$T \times 10^{-3}$ (m ² /s)	Q (m ³ /s)
1	10	4.2	2.38	19.5	2.0	0.093
2	20	5.0	3.64	12.0	3.1	0.135
3	5	4.0	1.25	13.0	2.9	0.047
4	10	2.8	3.57	10.0	1.0	0.036
5	5	8.0	0.62	5.5	1.0	0.004
6	20	5.0	3.64	10.0	1.0	0.036
7	20	3.2	6.25	6.2	1.0	0.039
8	5	2.3	2.17	7.8	1.4	0.023
9	5	2.1	2.38	5.8	1.0	0.013
TOTAL						0.426

Cabe aclarar que las salidas por flujo base no se consideraron en la ecuación de balance, ya que la parte del acuífero que es drenado por el Río Aguanaval tiene una extensión muy reducida.

Infiltración por lluvia (Ip)

Este término de la ecuación de balance, que contempla la infiltración por lluvia en el área de balance y el volumen que pudiera infiltrarse a lo largo de los cauces de arroyos, fue la incógnita por despejar.

Infiltración en áreas de riego (Ir)

El volumen de agua que anualmente retorna al acuífero como consecuencia del riego que se realiza en el área producto del bombeo y con aguas de los diversos almacenamientos superficiales, se calculó de acuerdo a la siguiente expresión:

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

Donde:

Ir: Infiltración por riego

vol. r: volumen de agua aplicado al riego

Cr: Coeficiente de infiltración en la parcela

El volumen que esta siendo extraído del acuífero y que es utilizado con fines agrícolas, asciende a 95.72 Mm³/año, mientras que el proveniente de almacenamientos superficiales es del orden de 38.74 Mm³/año, dando un volumen total aplicado al riego de 134.46 Mm³/año.

Sustituyendo valores:

$$I_r = 134.46 * 0.12 = 16.1 \text{ Mm}^3/\text{año}$$

7.2.- Estimación de las salidas

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 0.287 m³/s, obtenido en un total de 3 celdas de salida, por lo que el volumen para un año resultó ser de **9.1 Mm³/año** que drenan con dirección Norte, rumbo a la zona El Palmar, fuera del área de balance.

RESULTADOS DEL CALCULO DE SALIDAS POR FLUJO HORIZONTAL (Sh)

NO. CELDA	Δh (m)	ΔL (km)	I (m/km)	B (km)	$T \times 10^{-3}$ (m ² /s)	Q (m ³ /s)
1	10	1.3	7.69	4.5	2.0	0.069
2	30	3.5	8.57	7.0	1.8	0.108
3	10	1.9	5.26	6.0	3.5	0.110
					TOTAL	0.287

Descarga por manantiales

El volumen de agua que brota a la superficie del terreno, por medio de 3 manantiales existentes fue estimado de acuerdo al gasto medio que estos proporcionan, este valor fue de **0.37 Mm³/año**.

Bombeo

El volumen extraído del acuífero a través del bombeo, ya fue analizado en el apartado de hidrometría, el cual resultó ser de **102 Mm³/año**.

7.3.- Cambio de almacenamiento

Para la determinación de este término se consideró la evolución piezométrica del acuífero en los intervalos de tiempo julio 1973 - julio 1990 y julio 1981 - julio 1990, en base a la cual se realizó la configuración de curvas de igual evolución del nivel estático determinando la variación del almacenamiento con la siguiente expresión:

$$CVA = S * A * h$$

Donde:

CVA: Cambio de almacenamiento en el período analizado

S: Coeficiente de almacenamiento promedio de la zona de balance

A: Área de balance geohidrológico

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 descenso piezométrico medio en el área de balance fue de 0.6 m/año.

Sustituyendo valores:

$$CVA = 0.1 * 430 * 0.0006$$

$$CVA = -25.8 \text{ (Mm}^3\text{/año)}$$

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 (I_p), por lo que despejando este término en la ecuación de balance, se tiene:

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

Sustituyendo valores:

$$I_p = 9.1 + 0.37 + 102 - 13.4 - 16.1 - 25.8$$

$$I_p = 56.0 \text{ (Mm}^3\text{/año)}$$

Sustituyendo valores en la ecuación general de balance:

$$\text{entradas (E) - salidas (S) = cambio de almacenamiento (CVA)}$$

$$85.7 - 111.47 = -25.8 \text{ (Mm}^3\text{/año)}$$

De los resultados antes expuestos, se desprende que el acuífero se encuentra en condiciones de **sobreexplotación**, puesto que la recarga que recibe el acuífero (85.7 Mm³/año), es inferior a las extracciones por bombeo (102 Mm³/año), existiendo un desequilibrio en el sistema acuífero, del orden de 16.3 Mm³/año.

8.- DISPONIBILIDAD DE AGUA SUBTERRÁNEA

Para el cálculo de la disponibilidad del agua subterránea, se aplica el procedimiento indicado en la Norma Oficial Mexicana NOM-011-CNA-2000, que establece las especificaciones y el método para determinar la disponibilidad media anual de las aguas nacionales, que en la fracción relativa a las aguas subterráneas establece la expresión siguiente:

Disponibilidad media anual de agua subterránea en una unidad hidrogeológica	=	Recarga total media anual	-	Descarga natural comprometida	-	Volumen anual de agua subterránea concesionado e inscrito en el REPDA
---	---	---------------------------	---	-------------------------------	---	---

8.1 Recarga total media anual

La recarga total media anual, corresponde con la suma de todos volúmenes que ingresan al acuífero, en forma de recarga natural más la recarga inducida, que para el acuífero Aguanaval es de 85.7 millones de metros cúbicos por año (Mm³/año).

8.2 Descarga natural comprometida

La descarga natural comprometida, se cuantifica mediante medición de los volúmenes de agua procedentes de manantiales o de caudal base de los ríos alimentados por el acuífero, que son aprovechados y concesionados como agua superficial, así como las salidas subterráneas que deben de ser sostenidas para no afectar a las unidades hidrogeológicas adyacentes. Para el acuífero Aguanaval la descarga natural comprometida es igual a 9.47 millones de metros cúbicos.

8.3 Volumen anual de agua subterránea concesionado e inscrito en el REPDA

En el acuífero Aguanaval el volumen anual concesionado, de acuerdo con los títulos de concesión inscritos en el Registro Público de Derechos de Agua (REPGA), de la Subdirección General de Administración del Agua, al 30 de abril de 2002 es de 169,969,810 m³/año.

8.4 Disponibilidad de agua subterránea

La disponibilidad de aguas subterráneas conforme a la metodología indicada en la norma referida, se obtiene de restar al volumen de recarga total media anual, el valor de la descarga natural comprometida y el volumen de aguas subterráneas concesionado e inscrito en el REPGA:

$$-93,739,810 = 85,670,000 - 9,470,000 - 169,969,810$$

La cifra **-93,739,810 m³/año** indica que no existe volumen disponible para nuevas concesiones en la unidad hidrogeológica denominada acuífero Aguanaval en el Estado de Zacatecas.

BIBLIOGRAFIA Y REFERENCIAS

- Coordinación General de los Servicios Nacionales de Estadística, Geografía e Informática, 1981, Síntesis Geográfica de Zacatecas, Texto y Planos.
- Coordinación General de los Servicios Nacionales de Estadística, Geografía e Informática, 1982, Cartas Geológicas, escala 1: 250,000. Zacatecas F13-6 y Fresnillo F13-3.
- Actualización del Estudio Geohidrológico del Valle de Aguanaval, Zac.: C.N.A. 1992
- Custodio, Llamas E., Hidrogeología Práctica.
- Johnson, Edward E., 1975, El aguas Subterránea y los Pozos: Johnson Division, UOP Inc.