

***Actualización de la disponibilidad media anual
de agua en el acuífero Benito Juárez (3210),
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.**

CDI		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							
3210	BENITO JUÁREZ	20.1	0.0	21.223322	23.0	0.000000	-1.123322

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 3210 BENITO JUAREZ

VERTICE	LONGITUD OESTE			LATITUD NORTE		
	GRADOS	MINUTOS	SEGUNDOS	GRADOS	MINUTOS	SEGUNDOS
1	102	34	37.8	22	41	43.2
2	102	35	15.4	22	39	6.3
3	102	35	27.9	22	36	55.9
4	102	35	12.4	22	35	40.2
5	102	37	53.0	22	33	55.9
6	102	43	3.0	22	33	23.5
7	102	41	43.5	22	36	36.0
8	102	42	49.2	22	37	31.0
9	102	45	7.6	22	38	17.6
10	102	46	27.7	22	39	13.4
11	102	46	53.7	22	40	55.7
12	102	49	24.4	22	44	58.3
13	102	48	36.1	22	47	3.9
14	102	37	23.0	22	43	23.7
1	102	34	37.8	22	41	43.2



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 BENITO JUÁREZ,
ESTADO DE ZACATECAS*

México, D.F., 30 de abril de 2002

1 GENERALIDADES

1.1 LOCALIZACIÓN

El acuífero Benito Juárez se localiza en la porción central del Estado de Zacatecas, al Surponiente de la Ciudad Capital. El área cubre una superficie aproximada de 400 km², que representa el 0.53 % del territorio Estatal; ocupando de manera parcial a los municipios de Zacatecas, Villanueva, Genaro Codina, Guadalupe y una pequeña porción de Jerez.

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	34	19.2	22	39	50.4	
2	102	34	12.0	22	38	56.4	
3	102	34	51.6	22	37	37.2	
4	102	35	52.8	22	36	36.0	
5	102	35	2.4	22	35	56.4	
6	102	35	9.6	22	35	45.6	
7	102	35	52.8	22	35	13.2	
8	102	37	48.0	22	33	57.6	
9	102	41	13.2	22	30	50.4	
10	102	41	42.0	22	30	57.6	
11	102	41	52.8	22	31	12.0	
12	102	43	15.6	22	34	51.6	
13	102	44	9.6	22	35	20.4	
14	102	48	46.8	22	35	56.4	
15	102	50	27.6	22	36	36.0	
16	102	48	57.6	22	37	12.0	
17	102	47	16.8	22	43	33.6	
18	102	45	18.0	22	44	52.8	
19	102	41	6.0	22	44	27.6	
20	102	36	28.8	22	41	49.2	
1	102	34	19.2	22	39	50.4	

Los principales centros de población del área son las comunidades Cieneguitas, Benito Juárez y El Fuerte. La zona esta bien comunicada, la vía más importante es la Carretera Federal No. 54, en el tramo Zacatecas - Villanueva, que atraviesa el área por su porción central de Noreste a Suroeste.

Las actividades de mayor importancia en la región son: la agricultura de riego y temporal, el comercio, y en menor proporción, la ganadería contribuye a la economía de sus habitantes.

1.2 SITUACIÓN ADMINISTRATIVA DEL ACUÍFERO

La conservación de las aguas del subsuelo, fue declarada de interés público por el Ejecutivo Federal, mediante los decretos de veda publicados en el Diario Oficial de la Federación los días 16 de mayo de 1960 y 5 de agosto de 1988, este último comprende la mayor parte de la zona; en estos decretos el tipo de veda que se estableció fue 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 cinco municipios que conforman la región, dos de ellos (Zacatecas y Guadalupe) se ubican en la zona de disponibilidad No.4; otro (Jerez) en la zona No. 6; y dos más (Villanueva y Genaro Codina) en la zona No. 7.

2 ESTUDIOS TECNICOS REALIZADOS CON ANTERIORIDAD

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

- Estudio Geohidrológico de la Zona de Calera, Zac. S.A.R.H. 1968. (Incluye zona Benito Juárez). El estudio consistió en la descripción geomorfológica, geológica y geohidrológica de las unidades existentes, hidrometría de extracciones, piezometría, determinación de parámetros hidráulicos y estimación de la recarga. Se concluyó que la recarga que recibe el acuífero es del orden de 100 Mm³/año, mientras que el volumen extraído por bombeo es de 180 Mm³/año; sin embargo, se recomienda incrementar el volumen de explotación en unos 25 Mm³/año.
- Estudio Hidrogeológico de la Cuenca Calera, Zac. S.A.R.H. 1978. (Incluye zona Benito Juárez). Los trabajos consistieron en recopilación de datos geológicos con verificación de campo, inventario de aprovechamientos, realización de pruebas de bombeo, muestreo, análisis físico - químico de aguas y su interpretación; sin llegar a realizar un balance hidráulico subterráneo.
- Estudio de Fuentes de Abastecimiento en Zacatecas, Zac. S.A.H.O.P. 1978. El estudio abarco los acuíferos de Calera, Benito Juárez y Guadalupe-Bañuelos; el objetivo fue el cuantificar la capacidad de explotación de las actuales fuentes de abastecimiento de agua a la ciudad de Zacatecas y localizar nuevas fuentes para el suministro a futuro. Consistió de actualización de censo de aprovechamientos, piezometría, pruebas de bombeo, muestreo de agua, hidrometría, nivelación de brocales y exploración geofísica.
- Trabajos Relativos a la Actualización del Estudio Geohidrológico de la Zona Calera. S.A.R.H. 1980. (Incluye zona Benito Juárez). Este consistió entre otras actividades, de reconocimientos hidrogeológicos, censo de aprovechamientos, nivelación de brocales, toma de lecturas piezométricas, hidrometría de extracciones, pruebas de bombeo y toma de muestras de agua para análisis físico - químico.
- Estudio Fotogeológico en la Zona de Víctor Rosales. S.A.R.H. 1981. (Incluye zona Benito Juárez). La intención del estudio fue la de detectar zonas geohidrológicas con

posibilidades acuíferas, los trabajos consistieron en recopilación de información, elaboración de un plano base, verificación de campo y construcción de secciones geológicas.

- Estudio Geohidrológico para la Ciudad de Zacatecas, Zac. SEDUE, 1986. El objetivo del estudio fue definir áreas favorables para la construcción de pozos para el abastecimiento de agua potable a la ciudad de Zacatecas, se analiza el comportamiento geohidrológico regional de los acuíferos cercanos a la Capital, incluyendo el de Benito Juárez.
- Actualización geohidrológica en la zona de Benito Juárez, para suministro de agua a la ciudad de Zacatecas, Zac. S.A.R.H. 1988. Los trabajos consistieron en actualización del inventario de aprovechamientos, observaciones piezométricas, nivelación de brocales, hidrometría de extracciones, pruebas de bombeo, muestreo y análisis físico químico del agua y realización de sondeos eléctricos verticales. Además se elaboro el balance geohidrológico, determinando una recarga total de 27.35 Mm³/año, mientras que las extracciones son del orden de 14 Mm³/año.
- Modelo Matemático de Simulación del Acuífero Benito Juárez, Zac, C.N.A.1991. (Reporte interno).
- Actualización del Censo de Aprovechamientos, C.N.A., 1992. (Reporte interno).
- Estudio Hidrogeológico e Hidrogeoquímico en la Zona de Zacatecas, Zac, C.N.A. 1996. El estudio comprendió los acuíferos de Calera, Chupaderos, Benito Juárez y Guadalupe-Bañuelos, y el objetivo fue definir sus características hidrogeológicas e hidrgeoquímicas.
- Estudio para evaluar la contaminación de los acuífero donde están ubicadas las fuentes de abastecimiento para agua potable de las ciudades de Zacatecas, Guadalupe y poblaciones circunvecinas, C.N.A. 1998. (Reporte Interno). Consistió en determinar el grado de contaminación y deterioro de la calidad del agua en los acuíferos Guadalupe-Bañuelos, Chupaderos, Benito Juárez y Calera.
- Estudio para la Reactivación de Redes de Monitoreo del Acuífero del Valle de Benito Juárez. C.N.A., 1998.

3 FISIOGRAFIA

3.1 PROVINCIAS FISIAGRÁFICAS Y GEOMORFOLOGÍA

La zona geohidrológica pertenece a la Provincia Fisiográfica de La Sierra Madre Occidental, ocupando la Subprovincia Sierras y Valles Zacatecanos. Los principales sistemas de topografías que se observan son: una bajada aluvial con lomeríos, que se encuentra delimitadas al Norte por llanuras aluviales, en su parte Sur, Este y Oeste por sierras bajas, al Sureste los rasgos corresponden a lomeríos con llanuras y mesetas escalonadas.

El principal sistema montañoso lo constituye la Sierra de Zacatecas, ubicada al Oriente de la zona, con elevaciones máximas del orden de los 2,700 msnm, mientras que las elevaciones mínimas se presentan en las bajadas aluviales, en la parte Suroeste de la zona, en el vaso de la presa Malpaso, siendo del orden de 2010 msnm.

El drenaje en general es de tipo dendrítico; por sus características, la región se ubica en una etapa geomorfológica de madurez temprana.

3.2 CLIMA

Para el análisis climatológico, se tomaron los datos de 3 estaciones, una de estas, la estación Malpaso, se ubica dentro de la zona; las otras dos, Calera y Zacatecas, se localizan cercanas al límite de la zona de estudio, estas se presentan a continuación con su localización y su respectivo período de análisis:

Estación Climatológica	Coordenadas geográficas		Período de información (años)
	Latitud	Longitud	
Malpaso	22° 37' 19"	102° 45' 49"	1975 - 1999
Calera	22° 54' 00"	102° 39' 00"	1958 - 1992
Zacatecas	22° 46' 39"	102° 34' 30"	1953 - 1997

3.2.1 Precipitación

La precipitación promedio anual es de 410.85 mm/año, varía de un valor máximo de 1028.5 mm/año, registrada en la estación Malpaso en el año 1990, a un mínimo de 79.0 mm/año, registrada en la misma estación, en el año 1986. Respecto a la precipitación media mensual, el valor máximo se registró en la estación calera en el mes de junio con 291.6 mm.

3.2.2 Temperatura

El valor promedio de temperatura media anual es de 16.2° C; el valor mayor se obtuvo en el año 1975, con 18.1° C, registrada en la estación Malpaso; la temperatura mínima fue de 14.2° C, tomada en el mismo año en la estación Calera.

La temperatura máxima media mensual, se registró en el mes de mayo en la estación Calera con 38.9° C; la mínima fue de 11.0° C, obtenida en el mes de febrero en la estación Calera; el período caluroso del año es de mayo a septiembre, siendo enero el mes más frío.

3.2.3 Evaporación

La evaporación potencial media anual es de 1983.8 mm; el año con índice mayor de evaporación media fue 1973 con un valor de 2620.9 mm/año, reportada en la estación Calera; el valor menor fue de 1478.5 mm/año, reportado en la estación Malpaso en el año 1993.

La evaporación promedio mensual en el período y para las estaciones analizadas resultó ser de 165.3 mm; el mes con índice mayor de evaporación media fue abril con 258.6 mm, obtenida en la estación Calera; el de menor valor fue diciembre con 109.4 mm, reportada en la misma estación.

De acuerdo a la clasificación de W. Köppen, modificado por E. García, el clima: es del tipo semiseco BS1kw, con lluvias en verano y en menor proporción en invierno.

3.3 HIDROGRAFÍA

El área corresponde a una cuenca topográficamente abierta, que tiene continuidad hacia la zona de Villanueva, sin embargo, la Presa Malpaso constituye una barrera artificial para esta; es de forma irregular, aun así, su forma pudiera ser comparada a un triángulo, ligeramente alargado, con orientación Noroeste - Sureste.

Pertenece a la Región Hidrológica No. 12 "Lerma-Chapala-Santiago" a la cuenca "Río Juchipila", y subcuenca "Río Juchipila-Malpaso". Cabe mencionar, que administrativamente la cuenca se considera parte de la región Cuencas Centrales del Norte, lo anterior debido a que el municipio de Zacatecas, que es el que tiene mayor extensión dentro de la zona, esta contemplado en dicha región administrativa.

En el área no existen corrientes superficiales importantes, únicamente pequeños arroyos de régimen intermitente; y de carácter torrencial, por lo que solamente se presentan durante el período de lluvias; destacan los arroyos Rancho Nuevo, Los Negros, de Abajo, Las Boquillas, Dos Hermanos, El Muerto, Jacobo, Tortugas, Machines, Calerilla y Las Chilitas, todos estos son afluentes del Río Juchipila, siendo en esta cuenca donde se origina.

Todos los escurrimientos drenan a la Presa Malpaso, que por su ubicación, es la de mayor importancia; esta se localiza en la parte Suroeste del área; otros aprovechamientos de menor importancia son las presas Chilitas, El Mirador, El Maguey y Calerilla, cuya capacidad se presenta a continuación:

PRINCIPALES APROVECHAMIENTOS HIDRÁULICOS SUPERFICIALES DE LA ZONA

Nombre	Municipio	Capacidad instalada Mm³	Corriente aprovechada	Beneficio Has.
Malpaso	Villanueva	2.0	R. Juchipila	230
Chilitas	Zacatecas	2.3	A. Machines	276
El Mirador	Zacatecas	0.6	A. Rancho Nuevo	49
Calerilla	Zacatecas	1.5	A. Calerilla	-
	Totales	6.4		555

4 GEOLOGIA

4.1 ESTRATIGRAFÍA

La unidad más antigua esta formada por rocas metamórficas que están representadas por esquistos sericiticos de color negro con algunos nódulos de cuarzo y esquistos sericiticos que varían de color rojizo a verdoso.

Sobreyaciendo a la secuencia anterior, existe un paquete constituido por una secuencia de rocas sedimentarias y rocas volcánicas interestratificadas; su litología consta de filitas de color morado, gris, verde y algunas veces con manchas moradas o rojizas, con variaciones a pizarras de color morado y gris, esquistos sericiticos y grafiticos de color gris a gris oscuro, cuarcitas de color gris, metaconglomerado de color gris blancuzco, con fragmentos de cuarcita, esquistos sericiticos, rocas metavolcánicas de composición básica con matriz arenosa y micácea, calizas de grano fino y color gris oscuro, dispuestas en capas discontinuas con espesores que no pasan de 40 cm, y escasa presencia de pedernal.

La edad de esta unidad se determinó en base en su contenido faunístico, cefalópodos y bivalvos pertenecientes al Triásico Superior, piso Carnico, esta secuencia volcano - sedimentaria, es conocida como Formación Zacatecas y aflora ampliamente al Este de la comunidad Cieneguitas.

Sobreyace una alternancia de calizas y pizarras, con un horizonte lenticular de hornfels de actinolita, que alcanza un espesor de 80 m. El espesor de esta unidad es de 300 m, en su parte superior predominan calizas correlacionables con la Formación Zuloaga, la cual aflora en las cercanías de la comunidad Francisco I. Madero, en el límite de la zona de estudio. Estas dos unidades anteriores son de baja permeabilidad y constituyen el basamento del acuífero

Yaciendo concordantemente sobre la unidad anterior está la Formación Chilitos del Cretácico Inferior, constituida por rocas volcánicas de composición andesítica y basáltica, con intercalación de sedimentos como limolitas areniscas y lentes de margas, depositadas en un medio acuático, por lo que presentan numerosas estructuras de almohadilla con intensa cloritización y epidotización.

Esta unidad es de gran importancia económica ya que es la que encajona la mayor parte de las vetas auro -argentíferas. En la zona aflora a lo largo de toda la sierra de Zacatecas, donde,

en tiros de mina se han detectado espesores superiores a los 400 m., presenta permeabilidad por fracturamiento.

En el Terciario se desarrollo una actividad volcánica que originó considerables volúmenes de rocas riolíticas durante el Eoceno Tardío (46.8 ma) y el Oligoceno Temprano (36.8 ma); presentan un contenido químico de sílice que va de alto a moderado, por lo que son consideradas como riolitas peraluminosas; encierran además, un porcentaje alto de potasio. Estas rocas están expuestas ampliamente, constituyendo la mayor parte de la zona de recarga.

Durante el Plioceno y principios del Cuaternario se depositó un conglomerado que aflora en las cercanías de las presas Malpaso y Las Chilitas; del Pleistoceno son también los depósitos lacustres y del reciente es el aluvión que cubre la parte central de la zona.

4.2 GEOLOGÍA ESTRUCTURAL

En las rocas sedimentarias se ha detectado una estructura anticlinal de rumbo N40°W, cuyos flancos tienen un echado que varía de 30 a 60° con numerosos pliegues de arrastre y de desplazamiento.

Al Norte de la zona, las rocas presentan un fallamiento preferencial NW - SE; al Noroeste, entre las comunidades El Maguey y Francisco I. Madero, se detectó una falla por métodos geofísicos y fotointerpretación, que presenta un rumbo NE - SW.

Las sierras de Zacatecas y Fresnillo, en su conjunto, son la expresión fisiográfica de pilares tectónico; y los valles adyacentes corresponden a fosas tectónicas originadas por una fase distensiva ocurrida a finales del Terciario y principios del Cuaternario, cuyas fallas normales presentan una orientación general Norte - Sur, y posteriormente, rellenadas por depósitos aluviales intercalados con material tobáceo. El acuífero Benito Juárez esta alojado en la parte Sur de un graben que tiene dimensiones regionales, y que comprende también el acuífero de Calera.

4.3 GEOLOGÍA DEL SUBSUELO

Los estudios geofísicos realizados han cubierto la mayor parte del área; durante el estudio elaborado en el año 1978, denominado “Estudio de fuentes de abastecimiento en Zacatecas, Zac”, se realizaron en la zona Benito Juárez un total de 21 sondeos eléctricos verticales, distribuidos en 4 perfiles geofísicos.

El Perfil I, se localiza en la parte Norte de la zona, esta formado por 5 sondeos eléctricos verticales, va del poblado de Francisco I. Madero al Norte de la comunidad Cieneguita, tiene una orientación NW - SE y una longitud de 6.5 km.

El Perfil II, tiene la misma orientación que el anterior se localiza en la parte central del área, esta formado por 7 sondeos eléctricos verticales, inicia al Norte del poblado Miguel Hidalgo, finalizando en la comunidad García de la Cadena; presenta una longitud de 12 km.

El Perfil III, tiene la misma orientación que el anterior, esta formado por 3 sondeos eléctricos verticales, se ubica en la porción Sur de la zona, al Sur de la comunidad Benito Juárez.

El Perfil IV, es longitudinal a la cuenca, esta compuesto por 9 sondeos eléctricos verticales, tiene una orientación NE - SW, tiene una longitud de 14.5 km.

Posteriormente, durante el estudio del año 1988, denominado “Actualización geohidrológica en la zona de Benito Juárez para suministro de agua a la Ciudad de Zacatecas, Zac.”, se efectuaron 26 sondeos eléctricos verticales, distribuidos en 4 secciones, sin embargo estas fueron realizadas con la misma distribución y orientación que las del estudio anterior ya descritas.

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 139 km², que representa el 35 % respecto al área total de la zona geohidrológica. Esta delimitado al Este y Oeste por pilares tectónicos constituidos principalmente por rocas de las formaciones Zacatecas y Chilitos, del Triásico y Jurásico respectivamente; así mismo, las rocas metamórficas de la Formación Zacatecas constituyen la frontera Norte del acuífero, al Sur queda delimitado por las rocas volcánicas ácidas del Terciario.

Los estudios geofísicos y perforaciones directas realizadas, muestran que el acuífero es de tipo libre o no confinado. La profundidad de basamento es del orden de los 400 m en su porción central.

Los cortes litológicos, muestran en forma general, que el acuífero esta formado en la parte inferior por tobas redepositadas que varían de arcillosas a arenosas; en la parte superior se tienen gravas y arenas medianamente cementadas intercaladas con depósitos lacustres.

5 HIDROGEOLOGIA

5.1 MODELO CONCEPTUAL

La recarga del acuífero proviene de la precipitación pluvial que se realiza sobre las sierras y lomeríos, la cual se infiltra y alimenta por flujo subterráneo al acuífero. Se efectúa también por los escurrimientos intermitentes de arroyos formados en las partes altas y que al llegar al contacto con los materiales granulares, parte de esta agua se infiltra.

Otro aspecto importante es la infiltración de agua que se precipita sobre el mismo valle y la infiltración en cauces de arroyos que escurren torrencialmente alimentando por flujo vertical el acuífero. Un volumen pequeño 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 flujo subterráneo hacia la Presa Malpaso.

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 Sur, hacia la Presa Malpaso.

5.2 PARÁMETROS HIDRÁULICOS

Las características hidráulicas del acuífero se determinaron mediante la interpretación de 16 pruebas de bombeo de corta duración, en su etapa de abatimiento y recuperación, las cuales fueron realizadas durante los diferentes estudios geohidrológicos efectuados con anterioridad, con esta información, se elaboró el plano de curvas de igual valor de transmisividad.

En la zona de Benito Juárez, la transmisividad varía de 1.0×10^{-3} m²/s en la porción Nororiental, a 3.0×10^{-3} m²/s en la parte Sur del área.

Para el caso del coeficiente de almacenamiento, considerando el tipo y características de los materiales que constituyen el subsuelo de la región, se adaptó 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 recopilados en el año de 1954, la construcción de nuevos aprovechamientos permitió contar con mayor información, contándose a la fecha, con una historia piezométrica completa, la cual permite conocer por medio de una red de 83 pozos piloto, la posición y comportamiento de los niveles del agua subterránea en la región.

5.4 COMPORTAMIENTO HIDRÁULICO

5.4.1 Profundidad del nivel estático

Las curvas de igual profundidad del nivel estático, correspondiente a marzo de 1993, describe en la porción noreste de la zona profundidades del orden de 90 m que van descendiendo hacia el centro del acuífero, donde existe la mayor concentración de pozos, hasta profundidades que 20 m observadas en la porción Sur.

5.4.2 Elevación al nivel estático

Las líneas equipotenciales de igual elevación al nivel estático muestran una dirección del flujo subterráneo que va de las zonas de recarga hacia la porción central del acuífero en una forma radial concéntrica, posiblemente como resultado de la excesiva concentración del bombeo, con elevaciones que van de los 2170 a 2160 msnm; en la porción Sur estas líneas permanecen abiertas, lo que indica que el flujo se incorpora al drenaje general que es de Norte a Sur.

5.4.3 Evolución del Nivel Estático

La evolución del nivel estático correspondiente al periodo marzo 1980 - marzo 1993, presenta un descenso de los niveles que oscila de 4 m en la periferia del valle a 7 m. en la parte central, correspondiendo a abatimientos medios anuales del orden de 0.40 m/año situación que seguramente obedece a la explotación de los pozos para suministro de agua potable a la Ciudad de Zacatecas.

5.5 HIDROGEOQUÍMICA Y CALIDAD DEL AGUA SUBTERRÁNEA

Para la determinación de las características químicas del agua del acuífero, se cuenta con los resultados físico - químicos, de un total de 59 muestras que fueron obtenidas y analizadas durante los diversos estudios realizados en la zona.

Los valores de bicarbonatos registrados en la zona varían de 142 a 466 ppm. Se observa que en general los contenidos varían de 210 a 360 ppm. El contenido de cloruros en las aguas subterráneas fluctúan entre 1 y 145 ppm, en general los valores varían entre 13 y 50 ppm. Dichas concentraciones, se encuentran por debajo del valor máximo recomendable.

Los contenidos de sulfatos varían desde 8 ppm, hasta valores máximos del orden de 141 ppm. En términos generales las concentraciones varían entre 20 y 50 ppm. Las concentraciones de calcio varían de valores mínimos de 53 ppm a valores máximos de 268 ppm. La mayoría de las muestras analizadas arrojaron concentraciones inferiores a las 200 ppm.

Las concentraciones del ion magnesio varían de 15 ppm, a valores máximos del orden de 234 ppm. En promedio, el ion varia entre 30 y 100 ppm. Las concentraciones del ion sodio varían entre 12 y 30.5 ppm, por lo que se encuentran por debajo del limite permisible para agua potable. Las concentraciones de potasio registradas son inferiores a 3.5 ppm.

Los sólidos totales disueltos varían de concentraciones de 266 ppm hasta máximos de 1066 ppm, en general varían entre 330 y 700 ppm. Finalmente, las concentraciones de nitratos varían de 2 hasta 18 ppm.

En términos generales, las concentraciones encontradas en las muestras de agua subterránea, analizadas desde el punto de vista físico - químico, se establece, que con excepción de algunos sitios muy locales, presentan buenas condiciones para la utilización con fines

potables; respecto al uso agrícola, el agua puede ser catalogada de acuerdo a la clasificación de Wilcox como C2 - S1, que consiste en agua de salinidad media y poco sodio.

6 CENSO DE APROVECHAMIENTOS E HIDROMETRIA

El censo de aprovechamientos hidráulicos subterráneos, actualizado en 1992, reveló la existencia de un total de 109 aprovechamientos, de los cuales 17 se detectaron fuera de operación y 92 están activos; de estos últimos, 86 son pozos y 6 norias. De acuerdo al uso, de los aprovechamientos activos, 69 son utilizados con fines agrícolas, 17 para fines público urbano, 5 destinadas a labores doméstico abrevadero, y 1 es utilizados en actividades industriales; con los cuales, se viene explotando un volumen del orden de 23 Mm³/año.

Del volumen total extraído, el 74.10% (17.044 Mm³/año) es utilizado para fines agrícolas, el 24.79% (5.701 Mm³/año) es para uso público urbano, el 0.02% (0.005 Mm³/año) se destina en actividades doméstico - pecuarias, y el 1.09% (0.25 Mm³/año) restante es utilizado en usos industriales.

EVALUACION DE LA EXTRACCION DE ACUERDO AL USO DEL AGUA

Tipo de Obra	Uso del agua										
	agrícola		doméstico/pecuario		público ur./servicios		industrial		Total		obras inactiv.
	No. aprov.	volumen extracc. (Mm ³ /año)	No. aprov.	volumen extracc. (Mm ³ /año)	No. aprov.	volumen extracc. (Mm ³ /año)	No. aprov.	volumen extracc. (Mm ³ /año)	No. aprov.	Volumen extracc. (Mm ³ /año)	
Pozos	67	17.018	2	0.004	16	5.698	1	0.250	86	22.97	10
Norias	2	0.026	3	0.001	1	0.003	0	0.000	6	0.03	7
Total	69	17.044	5	0.005	17	5.701	1	0.250	92	23.00	17

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

En el caso de aprovechamientos de uso agrícola, se asignó un volumen de 6,000 m³/año por hectárea, que implica una lámina de riego promedio de 0.60 m, independientemente del cultivo realizado.

Para uso público urbano, se le asignó a cada habitante, una dotación de 150 litros por día, (54.75 m³/año).

Para uso pecuario, se estimó aplicando un promedio de 50 litros por cabeza de ganado mayor, (18.25 m³/año), y 5 litros por cabeza de ganado menor, (1.825 m³/año).

En el caso del uso industrial, se utilizó el volumen reportado en el padrón de usuarios que maneja la Subgerencia de Administración del agua.

7 BALANCE DE AGUAS SUBTERRANEAS

El área donde se tiene información piezométrica, considerada para la realización del balance es de 139 km² representa el 100 % respecto al área acuífera. A partir de la configuración de elevación media del nivel estático para el periodo marzo 1980 - marzo 1993, se trazo la red de flujo y área de balance. Los valores obtenidos fueron referenciados a 1 año.

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

$$E_h + I_p + I_r - S_h - B = CVA$$

Donde:

E_h: Recarga por flujo horizontal de zonas de recarga

I_p: Infiltración por lluvia

I_r: Infiltración en áreas de riego

S_h: Salidas por flujo subterráneo horizontal

B: Bombeo

CVA: Cambio en el volumen almacenado

7.1 ESTIMACIÓN DE LA RECARGA

Entradas por flujo subterráneo (E_h)

El cálculo de entradas por flujo horizontal, producto de la precipitación que se infiltra en las zonas de recarga, se realizó basándose en la red de flujo, partiendo de la configuración de elevación media del nivel estático para el periodo marzo 1980 - marzo 1993, 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 13 celdas de entrada fue de 0.12722 m³/s, que corresponde a 4.0 Mm³/año.

Resultados del calculo de entradas por flujo horizontal (eh)

No. celda	Δh (m)	ΔL (km)	T X 10 ⁻³	B (km)	i	Q X 10 ⁻³
-----------	--------	---------	----------------------	--------	---	----------------------

			(m ² /s)		(m / km)	(m ³ /s)
1	3	0.65	1.20	2.75	4.62	15.25
2	3	0.70	1.20	2.60	4.29	13.38
3	5	0.95	1.20	2.25	5.26	14.20
4	5	1.10	0.86	2.10	4.55	8.22
5	5	0.75	0.50	1.80	6.66	5.99
6	5	0.80	0.20	1.70	6.25	2.13
7	5	0.50	0.20	1.75	10.00	3.50
8	5	0.65	0.20	2.30	7.69	3.54
9	5	0.85	0.50	3.00	5.88	8.82
10	3	0.60	1.10	3.00	5.00	16.50
11	3	0.75	1.10	2.45	4.00	10.78
12	3	0.65	1.20	2.20	4.62	12.20
13	3	0.65	1.10	2.50	4.62	12.71
					Total	127.22

Cabe aclarar que dentro del área de balance, 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.

7.1.1 Infiltración por lluvia (Ip)

Este término de la ecuación de balance, que contempla la infiltración por lluvia en el área de balance, fue la incógnita por despejar.

7.1.2 Infiltración en áreas de riego (Ir)

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

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

Donde:

Ir: Infiltración por riego

vol. r: volumen de agua aplicado al riego

Cr: Coeficiente de infiltración en la parcela

Sustituyendo valores:

$$I_r = 17.1 * 0.127 = 2.2 \text{ Mm}^3/\text{año}$$

7.2 ESTIMACIÓN DE LAS SALIDAS

7.2.1 Salidas por flujo subterráneo horizontal (Sh)

La descarga del acuífero que ocurre de manera natural, es un pequeño volumen que sale por flujo horizontal hacia la zona geohidrológica Villanueva, sin embargo este no se tiene cuantificado, para el caso del presente balance este volumen se considera despreciable.

Así mismo, dentro del área de balance no existen manantiales, tampoco se presentan niveles someros, por lo que las descargas del acuífero por manantiales y por evaporación directa de agua freática somera y/o por la transpiración de plantas, se descartan en el cálculo de las salidas.

7.2.2 Bombeo

El volumen extraído del acuífero a través del bombeo, ya fue analizado en el apartado de hidrometría, el cual resultó ser de 23.0 Mm³/año.

7.3 CAMBIO DE ALMACENAMIENTO

Para la determinación de este término se consideró la evolución piezométrica del acuífero en el intervalo de tiempo de marzo de 1980 a marzo de 1993, basándose en 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 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 marzo de 1980 a marzo de 1993, fue de 292.9 Mm³, que equivale a 22.53 Mm³/año, dando el siguiente resultado:

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

Sustituyendo valores:

$$CVA = 0.13 * 22.53$$

$$CVA = -2.93 \text{ (Mm}^3\text{/año)}$$

RESULTADOS DEL CALCULO DEL CAMBIO DE ALMACENAMIENTO (CVA)

No. área	A X 10 ⁶ (m ²)	h (m)	Volumen drenado X 10 ⁶ (m ³)
1	14.250	2.0	28.500
2	7.250	2.0	14.500

3	6.750	2.0	13.500
4	8.825	7.0	61.775
5	31.750	5.5	174.625
Total	68.825		292.900

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:

$$I_p = S_h + B - E_h - I_r - CVA$$

Sustituyendo valores:

$$I_p = 0.0 + 23.0 - 4.0 - 2.2 - 2.93$$

$$I_p = 13.9 \text{ (Mm}^3\text{/año)}$$

Sustituyendo valores en la ecuación general de balance:

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

$$20.1 - 23.0 = -2.9 \text{ (Mm}^3\text{/año)}$$

De los resultados antes expuestos, se desprende que el acuífero se encuentra en condiciones de sobreexplotación, puesto que el volumen de recarga que recibe el acuífero (20.1 Mm³/año), es inferior a las extracciones por bombeo (23.0 Mm³/año), existiendo un desequilibrio en el sistema acuífero, del orden de 2.9 Mm³/año, volumen que esta siendo extraído a costa del almacenamiento subterráneo.

8 DISPONIBILIDAD

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:

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

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 *Benito Juárez*, en el Estado de Zacatecas es de 20.1 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 *Benito Juárez*, en el Estado de Zacatecas, no existe una descarga natural comprometida.

8.3 VOLUMEN ANUAL DE AGUA SUBTERRÁNEA CONCESIONADO E INSCRITO EN EL REPDA

En el acuífero *Benito Juárez*, en el Estado de Zacatecas, el volumen anual concesionado, de acuerdo con los títulos de concesión inscritos en el Registro Público de Derechos de Agua (REPDA), de la Subdirección General de Administración del Agua, al 30 de abril de 2002 es de 21,088,362 metros cúbicos por año (m³/año).

8.4 DISPONIBILIDAD DE AGUAS SUBTERRÁNEAS

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 REPDA:

$$-988,362 = 20,100,000 - 0 - 21,088,362$$

La cifra indica que no existe volumen disponible para nuevas concesiones en la unidad hidrogeológica denominada acuífero *Benito Juárez*, en el Estado de Zacatecas.

9 BIBLIOGRAFIA Y REFERENCIAS

- 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.
- Coordinación General de los Servicios Nacionales de Estadística, Geografía e Informática, 1982, Carta Geológica, escala 1: 250,000. Zacatecas F13-6.

- Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos, 1988, Actualización geohidrológica en la zona de Benito Juárez, para suministro de agua a la ciudad de Zacatecas, Zac.