

***Actualización de la disponibilidad media anual
de agua en el acuífero Loreto (3229), 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.**

CDXVII 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

3229	LORETO	52.5	0.0	81.470494	81.4	0.000000	-28.970494
------	--------	------	-----	-----------	------	----------	------------

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 3229 LORETO

VERTICE	LONGITUD OESTE			LATITUD NORTE			OBSERVACIONES
	GRADOS	MINUTOS	SEGUNDOS	GRADOS	MINUTOS	SEGUNDOS	
1	101	54	53.7	22	35	53.0	
2	101	54	50.7	22	33	39.4	
3	101	53	45.4	22	31	55.6	
4	101	52	1.6	22	28	10.1	
5	101	52	38.2	22	26	22.8	
6	101	54	53.0	22	20	0.8	
7	101	55	46.1	22	17	54.8	
8	101	55	17.9	22	13	9.9	
9	101	58	16.7	22	12	43.2	
10	101	59	52.6	22	12	32.7	DEL 10 AL 11 POR EL LIMITE ESTATAL
11	102	7	6.5	22	17	11.7	DEL 11 AL 12 POR EL LIMITE ESTATAL
12	102	7	23.6	22	17	13.1	
13	102	7	8.7	22	20	43.4	
14	102	6	0.2	22	24	53.5	
15	102	6	35.4	22	26	9.5	
16	102	6	5.7	22	28	6.2	
17	102	4	46.1	22	27	51.4	
18	101	57	10.3	22	36	29.4	
19	101	55	56.0	22	36	49.3	
1	101	54	53.7	22	35	53.0	



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 LORETO, ESTADO
DE ZACATECAS***

México, D.F., 30 de abril de 2000

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.- Piezometria
- 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.- EVOLUCION DEL NIVEL ESTATICO

1.- GENERALIDADES

1.1.- Localización

La zona geohidrológica de Loreto se localiza en la porción Sureste del Estado de Zacatecas, limitando al Sur con el Estado de Aguascalientes. El área cubre una superficie aproximada de 743 km², que representa el 0.9 % del territorio estatal; ocupando de manera parcial a los municipios de Loreto, Villa González Ortega, Noria de Angeles y una pequeña fracción del municipio de Ojocaliente.

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

VERTICES DE LA POLIGONAL DE LA ZONA GEOHIDROLOGICA "LORETO"

Vértice	LONGITUD OESTE			LATITUD NORTE			OBSERVACIONES
	GRADOS	MINUTOS	SEGUNDOS	GRADOS	MINUTOS	SEGUNDOS	
1	101	53	56.4	22	38	31.2	Del 1 al 2 por el límite estatal
2	101	53	52.8	22	39	0.0	Del 2 al 3 por el límite estatal
3	101	48	3.6	22	28	12.0	
4	101	51	18.0	22	21	0.0	
5	101	55	33.6	22	19	4.8	
6	101	57	28.8	22	16	8.4	
7	102	0	10.8	22	14	27.6	Del 7 al 8 por el límite estatal
8	102	1	8.4	22	14	27.6	
9	102	2	20.4	22	14	13.2	
10	102	3	18.0	22	15	39.6	
11	102	6	14.4	22	14	49.2	
12	102	7	26.4	22	15	0.0	
13	102	8	6.0	22	17	16.8	
14	102	8	24.0	22	18	21.6	
15	102	5	56.4	22	20	52.8	
16	102	6	21.6	22	22	44.4	
17	102	4	4.8	22	28	8.4	
18	101	59	42.0	22	35	2.4	
19	101	57	10.8	22	36	28.8	
1	101	53	56.4	22	38	31.2	

Los principales centros de población del área son las Cabeceras Municipales de Loreto, Villa González Ortega y Noria de Angeles.

La zona esta bien comunicada, la vía más importante es la Carretera Estatal No. 57 que une a las poblaciones de Ojocaliente y Pinos, pasando por la comunidad de Villa González Ortega; entronca con la carretera Federal No. 45, en el tramo Aguascalientes - Zacatecas. También entronca a la altura del poblado La Blanca con la Carretera Federal No. 49, que comunica a las ciudades de San Luis Potosí y Zacatecas.

Existe otra carretera Estatal la cual atraviesa la zona en dirección Noreste -Sureste y une la población de Loreto con Luis Moya, pasando por Tierra Blanca y El Coecillo, y la carretera Estatal que va de Loreto a la ciudad de Aguascalientes. Con respecto a vías férreas, la línea existente atraviesa la zona en dirección Suroeste - Noreste, y pasa por Loreto, Francisco I. Madero, Guadalupe Victoria y San José del Río.

La importancia económica de esta zona radica en su producción agrícola. Los cultivos más comunes e importantes son las hortalizas y en menor escala maíz y vid. Otra actividad también muy importante es la minería; extrayéndose básicamente: plata, plomo y zinc.

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, que comprendió una pequeña superficie en su porción Norte; del resto de la zona, el decreto fue publicado el 9 de febrero de 1978; en estos dos 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 cuatro municipios que conforman la región, tres de ellos (Loreto, Villa González Ortega y Noria de Angeles) se ubica en la zona de disponibilidad No.5; y en la zona No. 4; uno de ellos (Ojocaliente).

2.- ESTUDIOS TECNICO REALIZADOS CON ANTERIORIDAD

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

♦ Estudio Geohidrológico preliminar del valle de Loreto, en el Estado de Zacatecas, S. A. R. H., 1970. Este consistió entre otras actividades, de reconocimientos hidrogeológicos, censo de aprovechamientos, nivelación de brocales, toma de lecturas piezométricas, pruebas de bombeo, toma de muestras de agua y análisis físico - químico. Los resultados del balance, concluyen que el acuífero se encuentra en condiciones de sobreexplotación, la recarga total obtenida fue de 30 Mm³/año, mientras que el bombeo fue de 47 Mm³/año.

♦ Actualización del Estudio Geohidrológica del Valle de Loreto, Estado de Zacatecas. S.A.R.H. 1980. Consistió en una actualización del estudio anterior, realizándose además exploraciones geofísicas. Los resultados del balance, concluyen que el acuífero se encuentra en condiciones de sobreexplotación, siendo la recarga total del orden de 49 Mm³/año, mientras que las extracciones por bombeo ascienden a 68 Mm³/año.

♦ Actualización del Censo de Aprovechamientos, C.N.A., 1995. Reporte Interno.

♦ Actualización del Estudio Geohidrológico de la Zona Loreto, Zac., C.N.A., 1996. (Reporte Interno). La finalidad del estudio fue la de realizar la actualización del balance de aguas subterráneas, los resultados fueron la base para la elaboración del presente documento.

3.- FISIOGRAFIA

3.1.- Provincias fisiográficas y geomorfología

La zona geohidrológica forma parte de la Provincia Fisiográfica de la Mesa Central, esta se encuentra entre las dos grandes sierras de México, la Oriental y la Occidental, así mismo, queda dentro de la Subprovincia Llanos de Ojuelos - Aguascalientes.

Los sistemas de topofomas que se presentan en la zona de estudio corresponden a un extenso llano de piso rocoso; limitado en su parte Norte por bajadas aluviales, al Poniente por lomeríos de pie de monte con mesetas, al Suroeste se presenta una sierra baja con mesetas, al Oriente se observa una pequeña sierra abrupta y al Sureste los rasgos corresponden a una mesa extensa. En su extremo Sur se encuentra un puerto topográfico labrado en rocas riolíticas y en su porción noreste las sierras no son continuas, encontrándose angostas llanuras que lo comunican con otras planicies.

Las elevaciones más prominentes las tenemos en la parte Noroeste en el Cerro La Biznaga con una elevación de 2,400 msnm y en las sierras de Asientos y de San Marcos donde se presentan elevaciones del orden de 2,500 msnm. La altura del llano oscila entre 2,030 y 2,100 msnm, la orientación es preferentemente Norte - Sur.

La sierra localizada en la porción Occidental, tiene forma alargada orientada Norte - Sur, su elevación aproximada es de 2,300 msnm. En la porción Norte cerca del poblado de Pastoría, se encuentra una elevación topográfica dentro de la sierra, la cual corresponde a un intrusivo granítico. En la porción Centro - Sur se presentan materiales de pie de monte los cuales tienen forma de lomeríos redondeados de suave pendiente.

En la porción Sureste se encuentra una sierra formada esencialmente por rocas de composición riolítica, las cuales presentan formas relativamente suaves. Al Norte, las elevaciones topográficas corresponden a afloramientos de calizas y lutitas, las cuales aparecen como lomeríos redondeados de pendiente suave y separados por valles aluviales.

3.2.- Clima

El clima, de acuerdo a la clasificación de Koppen modificada por E. García es BSi kw, que corresponde a semiseco, con régimen de lluvias en verano, y escasa precipitación en invierno, templado con verano cálido. En la mayor parte de la zona se presentan condiciones de canícula, que es una temporada menos húmeda dentro del periodo de lluvias.

Para llevar a cabo el análisis de la información climatológica durante el período que abarca de 1962 a 1995, se tomaron en cuenta las estaciones climatológicas dentro y adyacentes al área de interés, siendo estas; Loreto, Villa García, Guadalupe Victoria y Villa González Ortega. En el presente documento, únicamente se presentan las gráficas de la estación Loreto, por considerar que es la mas representativa de la zona.

Estación Climatológica	Coordenadas geográficas		Período de información (años)
	Latitud	Longitud	
Loreto	22° 16' 50"	101° 57' 27"	1963 - 1996
Villa García	22° 10' 10"	101° 57' 27"	1950 - 1996
Guadalupe Victoria	22° 23' 43"	101° 49' 52"	1966 - 1996
Villa González Ortega	22° 31' 02"	101° 51' 52"	1978 - 1996

3.2.1.- Precipitación

El período de mayor precipitación se presenta de junio a septiembre, siendo en junio la máxima, en agosto la mínima y en los meses restantes son esporádicos.

La precipitación promedio mensual varía de un valor mínimo de 6.1 mm, calculado para la estación de Guadalupe Victoria en el mes de marzo a un valor máximo 113.3 mm en la estación de Loreto en el mes de julio. La precipitación promedio mensual es de 136.3 mm.

La máxima precipitación anual se registro en 1973 con 705.9 mm medidos en la estación de Loreto y la mínima en 1969 mm con 80.8 mm para misma estación. La precipitación anual para la zona es de 415.4 mm.

3.2.2.- Temperatura

Las máximas temperaturas registradas son de mayo a agosto y las mínimas en el mes de enero; la temperatura mínima es de 11° C y la máxima de 22° C. La temperatura media anual es de 16.6° C.

3.2.3.- Evaporación

Las evaporaciones máximas se manifiestan durante los meses de abril, mayo y junio, mientras que la mínima se registra en diciembre. La evaporación potencial asciende de enero a mayo y desciende de junio a diciembre, con un promedio mensual de 167.8 mm. La evaporación potencial anual en la zona es de 2019 mm.

3.3.- Hidrografía

El 70% de la zona geohidrológica se encuentra comprendida dentro de la Región Hidrológica No.37 "El Salado" en la Cuenca Hidrológica "San Pablo y Otras" y Subcuenca "Presa San Pablo"; el restante 30%, en la Región Hidrológica No.12 "Lerma-Chapala-Santiago" en la Cuenca Hidrológica "Río Verde Grande y Subcuenca "Río Chicalote".

Entre los arroyos de mayor importancia destacan El Muerto, San Patricio, El Jaral y Las Blancas; en la parte Sur de la zona existen corrientes que escurren hacia el valle de Chicalote, en el estado de Aguascalientes.

Los tipos de drenaje que se denotan en el área son de tipo dendrítico, paralelo y subparalelo; el primero se presenta en las partes montañosas y los últimos en el llano, donde llegan a desaparecer. Los arroyos ahí existentes son de carácter torrencial, solo tienen escurrimientos durante la época de lluvias y descargan en pequeñas lagunas, presas y bordos diseminados en toda el área.

Al Este de la cabecera municipal de Loreto se ubica la Presa San Marcos, confluyendo en ella los arroyos El Muerto, Blanco y Gatera, siendo esta la obra mas importante con una capacidad de almacenamiento de 5 Mm³/año, para riego de 352 hectáreas.

4.- GEOLOGIA

4.1.- Estratigrafía

Las rocas que afloran en el área tienen una edad que va del Triásico Superior al Reciente. Las más antiguas pertenecen a una secuencia volcanosedimentaria constituida por tobas andesíticas, cuarcitas y arcillas, afectadas por metamorfismo de bajo grado y parecen ser correlacionables con la formación Zacatecas del Triásico Superior marino.

Sobreyace una secuencia marina de tipo Flysch, constituida por una alternancia de limolitas y areniscas de color gris oscuro a negro que al intemperizarse adquieren un tono café verdoso, presentan buena estratificación y ocasionalmente un metamorfismo muy débil. Por su posición estratigráfica, se les ha asignado una edad correspondiente al Cretácico Inferior (Berriasiano - Aptiano).

En la porción inmediata al sur de la mina Real de Angeles, se puede observar que la naturaleza de los sedimentos cambia de clástica a calcárea. La transición está formada por calizas arcillosas de color rosado y calizas más puras de color gris con lentes y capas de pedernal negro. La edad de esta unidad, determinada con base a su contenido faunístico, es Albiano Cenomaniano del Cretácico Inferior, y por lo tanto, correlacionable con la formación Cuesta del Cura.

El Cretácico Superior está representado por la formación Indidura y Caracol constituidas por calizas, calizas arcillosas, lutitas y areniscas. Del Terciario afloran rocas sedimentarias continentales representadas por un conglomerado y un paquete de rocas ígneas formado por tobas y derrames riolíticos.

En las partes bajas y cubriendo a las unidades antes mencionadas se encuentran distribuidos aluviones y depósitos de pie de monte pertenecientes al reciente. En el área afloran también rocas ígneas intrusivas formadas por granitos y granodioritas; el origen se relaciona con las intrusiones ocurridas a finales del Cretácico y principios del Terciario.

4.2. Geología estructural

Las rocas sedimentarias de esta región fueron afectadas por varios períodos de plegamiento; que en ocasiones son difíciles de reconocer, posteriormente estas rocas fueron intrusionadas en la parte occidental, lo cual produjo una nueva fase de plegamiento.

Dentro de las estructuras más sobresalientes que existen en el área de estudio se tiene en la porción Occidental un anticlinal, que esta definido por afloramientos de rocas metamórficas de la Formación Zacatecas, tiene una orientación NW-SE. Además de este anticlinal, se encuentra el de Saucedá de Mulatos, formado por rocas Cretácicas que dan origen a la Sierra de Saucedá. Esta estructura tiene su eje medio con orientación N-S y esta afectado por un cuerpo de rocas graníticas con dimensiones lacolíticas. 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 una falla inversa que se localiza en las cercanías de la Comunidad Santo Tomas.

En la parte Oriental de la zona, en el distrito minero de Real de Angeles, se ha determinado que el yacimiento ocupa la porción central de un amplio anticlinal, cuyo eje esta orientado con rumbo Noroeste - Sureste. El flanco Sur se encuentra bien preservado, y se advierte que la inclinación de las capas de depósitos tipo flysch es hacia ese mismo punto; el flanco Norte esta erosionado y solo se puede observar un suave echado de las capas hacia el Norte.

Las rocas volcánicas riolíticas y cuerpos intrusivos presentan fracturamiento que va de moderado a intenso con dos orientaciones preferenciales: NW-SE y NE-SW. Las rocas

sedimentarias también presentan fracturamiento con las mismas orientaciones, producto de los esfuerzos a que fueron sometidas.

4.3. Geología del subsuelo

Las exploraciones geofísicas realizadas en el área cubrieron la mayor parte de la zona; estas se llevaron a cabo durante el estudio elaborado en el año 1980, denominado “Actualización del Estudio Geohidrológico en el Valle de Loreto en el Estado de Zacatecas”, se realizaron un total de 35 sondeos eléctricos verticales (SEV), distribuidos en 3 secciones geofísicas. La separación entre sondeos fue de 1000 a 1500 m.

La Sección I, tiene una longitud aproximada de 13.5 km, se ubica paralelo al camino que une a los poblados de Loreto y Luis Moya, continuando por la carretera que va de Loreto a San Marcos, contiene 12 sondeos y tiene orientación NW-SE.

La Sección II, tiene una longitud aproximada de 12 km, contiene 11 sondeos, parte de la vía del ferrocarril en las cercanías del poblado Puerto de Juan Alberto y llega al camino que une a los poblados de Tierra Blanca y Maravillas; su orientación es SE-NW.

La Sección III, tiene una longitud aproximada de 14 km y una orientación NW-SE; se inicia en las cercanías del poblado de Cerritos de Agua y termina en las proximidades de Puerto de Juan Alberto; consta de 12 sondeos.

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 481 km², que representa el 64.7 % respecto al área total de la zona geohidrológica, tiene forma alargada, con orientación Norte-Sur; longitudinalmente mide 35 km y tiene un ancho medio de 15 km.

De acuerdo con los cortes litológicos y registros eléctricos, se determino que el acuífero esta alojado en una depresión en la cual primeramente se depositaron arcillas, arenas y fragmentos líticos de origen volcánico, posteriormente la erosión provocó el deposito de conglomerados poco consolidados; en la parte superior, el acuífero esta formado por sedimentos aluviales cuyo espesor se va incrementando de los bordes a la porción central de la zona. En conjunto, estas unidades forman un acuífero de tipo libre o no confinado con espesores que varían de 150 m en los bordes, a 530 m en la porción central.

El acuífero se encuentra limitado el Este y Oeste por pilares tectónicos formados por rocas metamórficas, sedimentarias y volcánicas, al Norte y Noreste afloran calizas y lutitas en forma de lomeríos; en su extremo sur se encuentra un puerto topográfico labrado en rocas riolíticas.

5.- HIDROGEOLOGIA

5.1.- Modelo conceptual

El acuífero está constituido por materiales granulares de permeabilidad primaria y se comporta como un acuífero de tipo "libre" o no confinado. Los límites fisiográficos de la zona están representados por rocas ígneas ácidas (riolitas) de escasa permeabilidad, ubicadas al Este de Loreto. Por el Oeste se encuentra limitada por conglomerados, calizas, lutitas y esquistos y al Noreste por calizas, lutitas y areniscas.

La trayectoria preferencial del flujo subterráneo es con dirección Norte-Sur, recibiendo aportaciones laterales de las zonas topográficamente altas que limitan al valle.

La recarga principal al acuífero proviene de la precipitación que se infiltra sobre las unidades permeables constituidas por aluviones, pie de monte, gravas, arenas, riolitas y calizas fracturadas; la cual a través de ellos drenan hacia la parte central de la zona.

De igual manera, solo que en menor proporción, los retornos de riego contribuyen con una parte importante de la recarga natural del sistema.

Así mismo, algunos de los escurrimientos superficiales de tipo efímero e intermitente, de carácter torrencial, escurren y se infiltran en las partes topográficas bajas de los valles, aportando parte de la recarga vertical hacia el medio granular.

La descarga ocurre principalmente de manera artificial, mediante las extracciones que se realizan, y de manera natural, a través de un pequeño volumen por flujo horizontal no cuantificado que circula hacia el Valle de Chicalote, en el Estado de Aguascalientes.

5.2.- Parámetros hidráulicos

Las características hidráulicas del acuífero se determinaron mediante la interpretación, de 38 pruebas de bombeo de corta duración, en su etapa de abatimiento y recuperación, las cuales fueron realizadas durante los estudios geohidrológicos de los años 1970 y 1980.

La información obtenida mediante las pruebas de bombeo permitió conocer que la transmisividad en la zona varía de $0.02 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$ en la periferia del valle, a $1.0 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$ en la parte central del mismo.

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 tomados durante el estudio del año 1970, la construcción de nuevos aprovechamientos permitió obtener mayor información, contándose a la fecha con una red de 76 pozos piloto, que se han monitoreado en forma continua en el periodo que comprende de 1970 a 1999; 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

La profundidad al nivel estático, correspondiente a febrero de 1993, manifiesta que en la porción Norte se presentan valores del orden de 30 a 55 m, estos últimos influenciados por las elevaciones del terreno. Hacia la porción Centro y Sur del valle, las lecturas observadas varían de 35 a 45 m, notándose un ligero incremento hacia el flanco Este con valores hasta de 60 m, donde la elevación topográfica incide directamente.

Elevación al nivel estático

En la configuración del nivel estático para la fecha antes mencionada, se observa que en la porción Norte, entre las poblaciones de Gral. González Ortega y Estancia de Animas, se manifiesta una curva semienvolvente con elevación de 2080 msnm, disminuyendo hacia centro de la misma hasta una equipotencial 2060 msnm, lo cual forma un efecto local del bombeo.

Hacia la porción central del valle, el comportamiento de las curvas de isovalores presentan una distribución concéntrica que se inicia con la equipotencial 2000 msnm, en lo que prácticamente es la zona de transición del valle, con las partes altas del mismo, para posteriormente ir disminuyendo entre el área circunvecina de las comunidades Tierra Blanca, Loreto y Bimbaletes, hasta alcanzar valores de 1980 msnm, en la parte mas crítica, situación que pone de manifiesto una deformación del esquema de flujo subterráneo, producto de la intensa explotación que se realiza en esta zona.

Evolución del Nivel Estático

El comportamiento del nivel estático durante el período diciembre de 1981 a febrero de 1993, pone de manifiesto que en la porción Norte de la zona, en los alrededores de la Comunidad Gral. González Ortega y Estancia de Animas, los abatimientos registrados, varían de 5 a 10 m.

Descensos más agudos que van de 9 a 15 m, se observan hacia el Noroeste y en el área periférica del poblado Maravillas. En la parte Centro - Oriental del valle, entre las Comunidades de Estancia de Animas y la parte Este de Loreto, los abatimientos detectados oscilan de 5 a 8 m, existiendo dos áreas donde los valores se incrementan hasta alcanzar los 10 y 12 m, respectivamente.

Finalmente, en el extremo sur del área, en los alrededores del poblado de Loreto y Bimbaletes, los descensos registrados son del orden de los 5 m, valor que se va incrementando hacia el Noreste, hasta alcanzar los 10 m.

En este contexto, de manera general, los abatimientos medios para el período de análisis varían de 0.4 a 0.8 m/año, existiendo áreas locales, donde los descensos oscilan de 1.0 a 1.25 m/año.

5.5.- Hidrogeoquímica y calidad del agua subterránea

De los análisis físico - químicos efectuados a diversos aprovechamientos hidráulicos subterráneos fueron determinados varios parámetros, como son: temperatura, pH, conductividad eléctrica, sólidos totales disueltos, dureza, alcalinidad total y los principales cationes y aniones.

El pH dentro del área de Loreto, varía de 7.0 a 8.2 por lo que se concluye que de acuerdo a su alcalinidad y acidez, el agua se considera ligeramente alcalina.

Las concentraciones de sólidos totales disueltos (STD) en la zona, varían de 350 a 500 ppm, observándose las mayores concentraciones (450 a 500 ppm) en la porción Norte, a la altura del poblado Estancia de Animas, y en la parte central del área.

Las menores concentraciones (350 a 400 ppm) se presentan hacia los flancos Este y Oeste, precisamente en la zona de transición de las sierras con el acuífero.

En general, las concentraciones mayores de STD se tienen hacia las partes centrales de la zona, siguiendo sensiblemente la trayectoria del flujo natural del agua, las concentraciones menores se tienen al Este de Loreto, efectuándose en este lugar una importante recarga al acuífero. De conformidad al contenido de Sólidos Totales Disueltos, se puede considerar que el agua es de buena calidad para todo uso.

La clasificación del agua de acuerdo con el Diagrama Triangular de Piper son del tipo: mixta bicarbonatada y mixta sódico-bicarbonatada.

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 riolitas. Las aguas sódico-bicarbonatadas y mixta sódico-bicarbonatada se encuentra en las partes centrales de la zona, probablemente por efecto del intercambio iónico que se realiza al circular el fluido entre las rocas.

De los resultados obtenidos mediante un total de 166 análisis Físico - Químicos efectuados en diversas etapas, el 95% de ellas, de acuerdo a la clasificación de Wilcox, el tipo de agua es de clase C₂ - S₁, lo que indica que el agua es de salinidad media, y bajo contenido de sodio, en tanto que, en el 5 % restante de las muestras, el agua es del tipo C₃ - S₁, correspondiendo a una agua de salinidad alta con bajo contenido de sodio.

6.- CENSO DE APROVECHAMIENTOS E HIDROMETRIA

La actualización del inventario de aprovechamientos hidráulicos subterráneos realizado en 1995, reveló la existencia de 802 obras, de las cuales 646 están activas y 156 inactivas. De acuerdo al tipo de aprovechamiento, de las obras activas, 544 son pozos y 102 corresponden a norias.

Atendiendo su uso, de los pozos 510 son destinados a la agricultura, 22 para abastecimiento de agua potable, 6 para fines Doméstico - Pecuario y 6 industriales. De las norias, 99 son destinadas a la agricultura y 3 para fines doméstico - pecuario.

En conjunto, estas obras extraen un volumen anual de 81.40 Mm³/año, del cual 73.6 Mm³/año es para uso agrícola, 2.50 Mm³/año se emplea en agua potable y servicios, 0.20 Mm³/año para doméstico - pecuario y 5.10 Mm³/año para fines industriales.

EVALUACION DE LA EXTRACCION DE ACUERDO AL USO DEL AGUA

Tipo de obra	U s o d e l a g u a										obras inactiv.
	agrícola		doméstico/pecuario		público ur./servicios		industrial		Total		
	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	510	71.98	6	0.20	22	2.50	6	5.10	544	79.78	116
Norias	99	1.62	3	0.00	0	0	0	0.00	102	1.62	40
Totales	609	73.60	9	0.20	22	2.50	6	5.10	646	81.40	156

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

- A) 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.
- B) Para uso público urbano, se le asignó a cada habitante, una dotación de 150 litros por día, (54.75 m³/año).
- C) 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).
- D) En el caso del uso industrial, se utilizo el volumen que fue concesionado por el Registro Público de Derechos del Agua (REPDÁ).

7.- BALANCE DE AGUAS SUBTERRANEAS

El área donde se tiene información piezométrica, considerada para la realización del balance es de 331 km² representa el 69 % respecto al área acuífera. A partir de la configuración de elevación media del nivel estático para el periodo diciembre 1981 - febrero 1993, se trazo la red de flujo y área de balance. Los valores obtenidos fueron referenciados a un año.

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

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

Donde:

Eh: Entradas por flujo horizontal de zonas de recarga

Ip: Infiltración por lluvia

Ir: Infiltración en áreas de riego

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, se realizó basándose en la red de flujo, partiendo de la configuración de elevación media del nivel estático para el periodo diciembre 1981 – febrero 1993, de acuerdo a la siguiente expresión:

$$\mathbf{Q = T * B * i}$$

Donde:

Q: Gasto que pasa por una determinada celda

T: Transmisividad

B: Ancho de celda

i: Gradiente hidráulico

El gasto obtenido en un total de 23 celdas de entrada fue de 0.29331 m³/s, que corresponde a **9.25 Mm³/año**

RESULTADOS DEL CALCULO DE ENTRADAS POR FLUJO HORIZONTAL (Eh)

NO. CELDA	Dh m	DL m	i m	B m	T m²/s	Q m³/s
1	5	1,150	0.00435	3,200	0.00070	0.00974
2	10	1,100	0.00909	1,850	0.00070	0.01177
3	10	950	0.01052	4,350	0.00070	0.03203
4	5	700	0.00714	4,600	0.00040	0.01314
5	5	900	0.00555	3,100	0.00040	0.00688
6	5	1,250	0.00400	2,150	0.00040	0.00344
7	20	1,350	0.01481	1,500	0.00100	0.02221
8	5	700	0.00714	4,800	0.00060	0.02056
9	25	750	0.03333	3,300	0.00056	0.06159
10	25	1,000	0.02500	2,600	0.00056	0.03640
11	5	2,000	0.00250	3,500	0.00056	0.00490
12	5	1,800	0.00277	2,700	0.00056	0.00419
13	5	1,600	0.00312	2,650	0.00021	0.00173
14	5	1,150	0.00435	2,800	0.00021	0.00256
15	5	1,300	0.00385	1,600	0.00021	0.00129
16	5	900	0.00555	1,750	0.00076	0.00738
17	5	700	0.00714	2,350	0.00070	0.01174
18	5	1,900	0.00263	2,450	0.00070	0.00451
19	5	1,000	0.00500	1,900	0.00070	0.00665
20	5	1,100	0.00454	1,900	0.00070	0.00604
21	5	1,400	0.00357	1,500	0.00100	0.00535
22	5	1,800	0.00278	2,200	0.00100	0.00612
23	5	1,300	0.00385	3,400	0.00100	0.01309
TOTAL						0.293318

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.

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.

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:

I_r: Infiltración por riego

vol. r: volumen de agua aplicado al riego

C_r: Coeficiente de infiltración en la parcela

Sustituyendo valores:

$$I_r = 73.60 * 0.12 = 8.83 \text{ Mm}^3/\text{año}$$

7.2.- Estimación de las salidas

La descarga del acuífero que ocurre de manera natural, es un pequeño volumen que sale por flujo horizontal hacia el Valle de Chicalote, en el Estado de Aguascalientes, 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.

Bombeo

El volumen extraído del acuífero en forma artificial, a través del bombeo, ya fue analizado en el apartado de hidrometría, el cual resultó ser de **81.40 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 diciembre de 1981 a febrero de 1993, 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: Area 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 propiciado una variación negativa del almacenamiento. El volumen de sedimentos drenados en el intervalo diciembre 1981 - febrero 1993 (11años), fue de 2,443.3875 Mm³, que equivale a 222.13 Mm³/año, dando el siguiente resultado:

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

Sustituyendo valores:

$$CVA = 0.13 * 222.13$$

$$CVA = -28.90 \text{ (Mm}^3\text{/año)}$$

RESULTADOS DEL CALCULO DEL CAMBIO DE ALMACENAMIENTO (CVA)

No. Area	Lectura del Planímetro	Factor	Area x 10 ⁶ (m ²)	Valor medio entre curvas (m)	Volumen Drenado x 10 ⁶ (m ³)
1	1038	0.025	25.950	5.0	129.7500
2	767	0.025	19.170	6.5	124.6050
3	241	0.025	6.025	7.5	45.1875
4	573	0.025	14.320	6.5	93.0800
5	716	0.025	17.900	10.0	179.0000
6	158	0.025	3.950	12.0	47.4000
7	1720	0.025	43.000	9.0	387.0000
8	302	0.025	7.550	6.5	49.0750
9	70	0.025	1.750	2.5	4.3750
10	337	0.025	8.420	6.5	54.7300
11	156	0.025	3.900	9.0	35.1000
12	1528	0.025	38.200	7.5	286.5000
13	1050	0.025	26.250	5.0	131.2500
14	641	0.025	16.020	10.0	160.2000
15	1319	0.025	32.970	7.5	247.2750
16	110	0.025	2.750	15.0	41.2500
17	273	0.025	6.820	10.0	68.2000
18	692	0.025	17.300	2.5	43.2500
19	328	0.025	8.200	6.5	53.3000
20	217	0.025	5.420	6.5	35.2300
21	40	0.025	1.000	6.5	6.5000
22	288	0.025	7.200	10.0	72.0000
23	663	0.025	16.570	9.0	149.1300
Total					2443.3875

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:

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

Sustituyendo valores:

$$I_p = 81.4 - 9.25 - 8.83 - 28.9$$

$$I_p = 34.42 \text{ (Mm}^3\text{/año)}$$

Sustituyendo valores en la ecuación general de balance:

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

$$52.5 - 81.4 = -28.9 \text{ (Mm}^3\text{/año)}$$

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 (52.5 Mm³/año), es inferior a las extracciones por bombeo (81.4 Mm³/año), existiendo un desequilibrio en el sistema acuífero, del orden de 28.9 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:

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

8.1 Recarga total media anual

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 Loreto es de 52.50 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 Loreto la descarga natural comprometida se considera prácticamente nula.

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

En el acuífero Loreto 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 71,939,486 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 REPDA:

$$\mathbf{-19,439,486} \quad = \quad \mathbf{52,500,000} \quad - \quad \mathbf{0.0} \quad - \quad \mathbf{71,939,486}$$

La cifra -19,439,486 indica que no existe volumen disponible para nuevas concesiones en la unidad hidrogeológica denominada acuífero Loreto, en el Estado de Zacatecas.

9.- 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, Carta Geológica Zacatecas F13-6, escala 1: 250,000.
- Consultores S. A., 1980, Actualización del Estudio Geohidrológico en el Valle de Loreto, en el Estado de Zacatecas: S.A.R.H.
- Consejo de Recursos Minerales, 1991, Monografía Geológico - Minera del Estado de Zacatecas.
- Comisión Nacional del Agua., 1996, Actualización del Estudio Geohidrológico de la zona Loreto, Zac.: C.N.A., Reporte Interno.
- Custodio, Llamas E., Hidrogeología Práctica.
- Johnson, Edward E., 1975, El aguas Subterránea y los Pozos: Johnson Division, UOP Inc.