

***Actualización de la disponibilidad media anual
de agua en el acuífero Espíritu Santo (3232),
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.**

CDXX REGIÓN HIDROLÓGICO-ADMINISTRATIVA "CUENCAS CENTRALES DEL NORTE"		R	DNCOM	VCAS	VEXTET	DAS	DÉFICIT
CLAVE	ACUÍFERO	CIFRAS EN MILLONES DE METROS CÚBICOS ANUALES					
ESTADO DE ZACATECAS							
3232	ESPÍRITU SANTO	9.0	0.0	7.970559	7.3	1.029441	0.000000

R: recarga media anual; DNCOM: descarga natural comprometida; VCAS: volumen concesionado de agua subterránea; VEXTET: volumen de extracción de agua subterránea consignado en estudios técnicos; DAS: disponibilidad media anual de agua subterránea. Las definiciones de estos términos son las contenidas en los numerales "3" y "4" de la Norma Oficial Mexicana NOM-011-CONAGUA-2015.



Comisión Nacional del Agua

Subdirección General Técnica

Gerencia de Aguas Subterráneas

Subgerencia de Evaluación y Ordenamiento de Acuíferos

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

**DETERMINACIÓN DE LA DISPONIBILIDAD DE AGUA
SUBTERRÁNEA EN EL ACUÍFERO ESPIRITU SANTO, ESTADO DE
ZACATECAS**

CONTENIDO

	Página
1. GENERALIDADES.....	2
1.1. Localización.....	2
1.2. Situación administrativa del acuífero.....	4
2. ESTUDIOS TÉCNICOS REALIZADOS CON ANTERIORIDAD.....	5
3. FISIOGRAFÍA.....	5
3.1. Provincia fisiográfica.....	5
3.2. Clima.....	5
3.3. Hidrografía.....	6
3.4. Geomorfología.....	6
4. GEOLOGÍA.....	7
4.1. Estratigrafía.....	11
4.2. Geología estructural.....	11
4.3. Geología del subsuelo.....	11
5. HIDROGEOLOGÍA.....	12
5.1. Tipo de acuífero.....	12
5.2. Parámetros hidráulicos.....	12
5.3. Piezometría.....	13
5.4. Comportamiento hidráulico.....	13
5.4.1. Profundidad al nivel estático.....	13
5.4.2. Elevación del nivel estático.....	14
5.4.3. Evolución del nivel estático.....	14
5.5. Hidrogeoquímica y calidad del agua subterránea.....	15
6. CENSO DE APROVECHAMIENTOS E HIDROMETRÍA.....	16
7. BALANCE DE AGUAS SUBTERRÁNEAS.....	17
7.1. Entradas.....	17
7.1.1. Recarga natural.....	17
7.1.2. Recarga inducida.....	18
7.1.3. Entradas por flujo subterráneo horizontal.....	18
7.2. Salidas.....	19
7.2.1. Descargas naturales.....	19
7.2.2. Bombeo.....	20
7.2.3. Salidas por flujo subterráneo horizontal.....	20
7.3. Cambio de almacenamiento.....	21
8. DISPONIBILIDAD.....	22
8.1. Recarga total media anual.....	23
8.2. Descarga natural comprometida.....	23
8.3. Rendimiento permanente.....	23
8.4. Volumen concesionado de aguas subterráneas.....	23
8.5. Disponibilidad de aguas subterráneas.....	23
9. BIBLIOGRAFÍA Y REFERENCIAS.....	24

1. GENERALIDADES

Antecedentes

La Ley de Aguas Nacionales y su Reglamento (LAN) contemplan que la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) debe publicar en el Diario Oficial de la Federación (DOF), la disponibilidad de las aguas nacionales, por acuífero en el caso de las aguas subterráneas, de acuerdo con los estudios técnicos correspondientes y conforme a los lineamientos que considera la Norma Oficial Mexicana NOM-011-CNA-2000 “Norma Oficial Mexicana que establece el método para determinar la disponibilidad media anual de las aguas nacionales”. Esta norma ha sido preparada por un grupo de especialistas provenientes de la iniciativa privada, instituciones académicas, asociaciones de profesionales, organismos de los gobiernos de los estados y municipios, y de la CONAGUA.

El método que establece la NOM indica que para calcular la disponibilidad de aguas subterráneas deberá de realizarse un balance de las mismas, donde se defina de manera precisa la recarga de los acuíferos, y de ésta deducir los volúmenes comprometidos con otros acuíferos, la demanda de los ecosistemas y los usuarios registrados con derechos vigentes en el Registro Público de Derechos del Agua (REPGA)

El cálculo de la disponibilidad obtenida permitirá una mejor administración del recurso hídrico subterráneo ya que el otorgamiento de nuevas concesiones sólo podrá efectuarse en acuíferos con disponibilidad de agua subterránea. Los datos técnicos que se publiquen deberán estar respaldados por un documento en el que se sintetice la información necesaria, en donde quede claramente especificado el balance de aguas subterráneas y la disponibilidad de agua subterránea susceptible de concesionarse, considerando los volúmenes comprometidos con otros acuíferos, la demanda de los ecosistemas y los usuarios registrados con derechos vigentes en el REPGA. La publicación de la disponibilidad servirá de sustento legal para fines de administración del recurso, para la autorización de nuevos aprovechamientos de agua subterránea, para los planes de desarrollo de nuevas fuentes de abastecimiento, y en las estrategias para resolver los casos de sobreexplotación de acuíferos y la resolución de conflictos entre usuarios.

1.1 Localización

La zona se localiza en la porción sureste de la entidad, entre los paralelos 22° 44' y 22° 18' de Latitud Norte y los meridianos 101° 40' y 101° 17' de Longitud Oeste, formando parte de la zona semiárida del estado: Abarca una extensión aproximada de 1258 km² que representan el 1.7 % de la superficie estatal. El acuífero se localiza dentro de los municipios de Villa Hidalgo y Pinos, a los cuales cubre de manera parcial. (Figura No. 1).

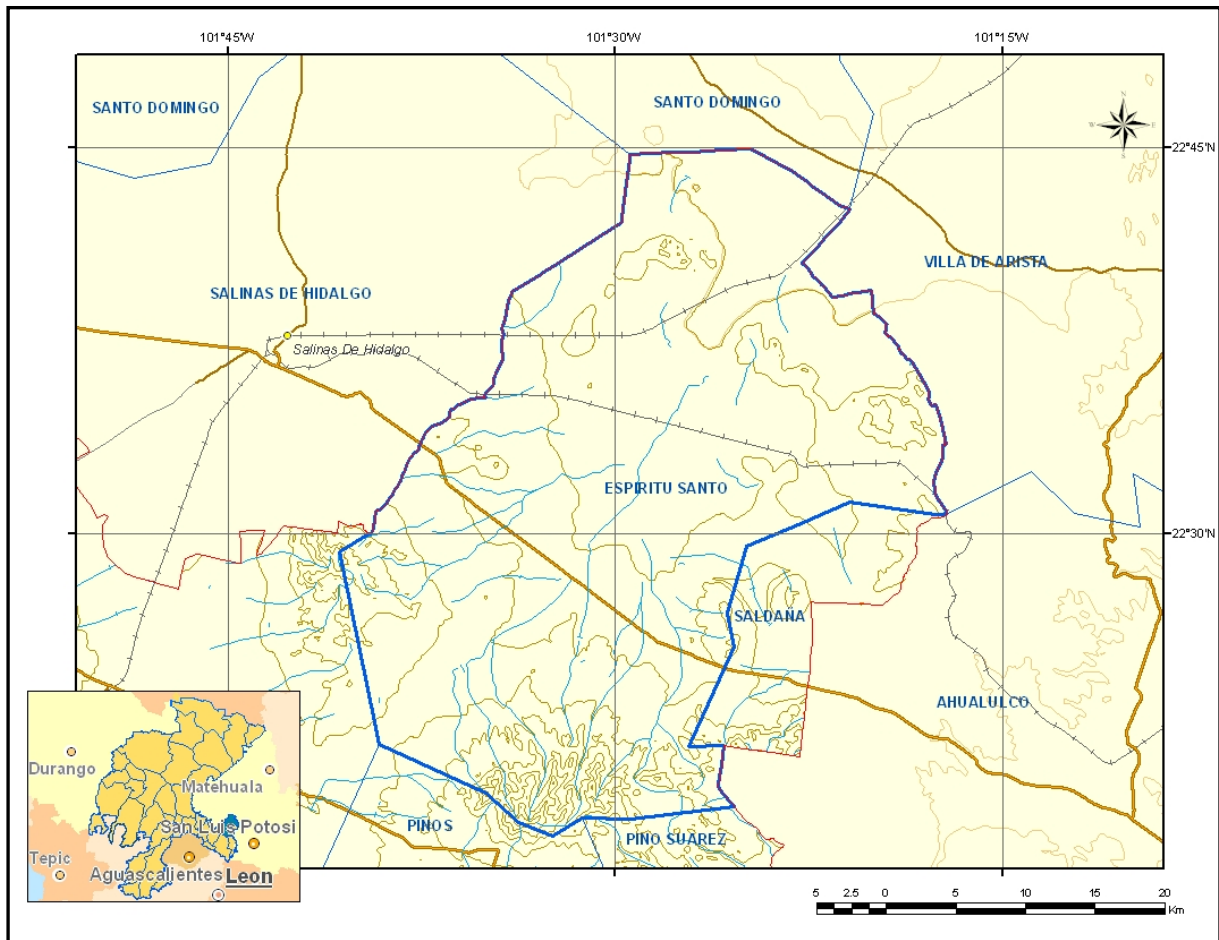


Figura No. 1. Localización del acuífero Espíritu Santo

Colinda al norte y al oriente con el estado de San Luis Potosí, al sureste con el acuífero Saldaña, al sur con el acuífero Pinos, y al poniente con el acuífero Villa Hidalgo. La poligonal simplificada que delimita el acuífero se encuentra definida por los vértices cuyas coordenadas se muestran en la Tabla No. 1.

ACUIFERO 3232 ESPIRITU SANTO

VERTICE	LONGITUD OESTE			LATITUD NORTE			OBSERVACIONES
	GRADOS	MINUTOS	SEGUNDOS	GRADOS	MINUTOS	SEGUNDOS	
1	101	29	26.5	22	44	44.0	DEL 1 AL 2 POR EL LIMITE ESTATAL
2	101	20	56.0	22	42	37.7	DEL 2 AL 3 POR EL LIMITE ESTATAL
3	101	17	11.1	22	30	46.1	
4	101	17	38.9	22	30	45.3	
5	101	20	57.1	22	31	13.9	
6	101	22	49.2	22	30	23.8	
7	101	24	56.1	22	29	30.5	
8	101	25	41.2	22	26	57.1	
9	101	25	26.1	22	25	36.2	
10	101	27	11.2	22	21	45.5	
11	101	25	49.6	22	21	46.7	DEL 11 AL 12 POR EL LIMITE ESTATAL
12	101	25	25.3	22	19	26.6	
13	101	29	23.7	22	18	56.6	
14	101	31	17.6	22	19	0.3	
15	101	32	25.5	22	18	16.7	
16	101	33	45.8	22	18	48.1	
17	101	35	1.1	22	19	56.1	
18	101	39	8.7	22	21	51.6	
19	101	40	41.9	22	29	18.5	
20	101	39	32.5	22	30	0.3	DEL 20 AL 1 POR EL LIMITE ESTATAL
1	101	29	26.5	22	44	44.0	

Tabla No. 1 Coordenadas de la Poligonal simplificada del acuífero Espíritu Santo

El acuífero Espíritu Santo, cuenta con una red múltiple de carreteras y caminos dentro de las cuales destaca una vía primaria que corresponde a la Carretera Federal No. 49, en el tramo Salinas - San Luis Potosí la cual atraviesa la zona en su porción central, en una dirección NW – SE. También existe otra vía secundaria de importancia, esta comunica la comunidad Espíritu Santo con la Cabecera Municipal de Pinos, entronca en su parte media con la carretera federal citada con una dirección NE – SW. Existen además otras vías pavimentadas, así como un número suficiente de tercercerías, las cuales a partir de las vías antes mencionadas comunican a las poblaciones que se ubican en la zona. Así mismo, dos ramales del ferrocarril atraviesan esta zona: el tramo Salinas de Hidalgo – San Luis Potosí y el tramo Salinas de Hidalgo – Charcas.

La tiene baja densidad de población, algunas de las poblaciones que se ubican en el área son: Espíritu Santo, La Pendencia, Guadalupe Victoria, La Trinidad Norte, La Mesilla, Tolosa y San Andrés. La actividad de mayor importancia en la región es la agricultura de temporal, seguida por la cría de ganado caprino y vacuno y en menor proporción el comercio.

1.2 Situación Administrativa del Acuífero

El acuífero se ubica dentro del perímetro que abarca el decreto de veda para los municipios de Noria de Ángeles, Pinos, Villa García y otros, publicado en el Diario Oficial de la Federación el día 9 de febrero de 1978, ordenamiento a través del cual, por causa de interés público, el Ejecutivo Federal, establece veda por tiempo indefinido para la extracción, alumbramiento y aprovechamiento de aguas del subsuelo.

En esta veda sólo se permiten extracciones para usos prioritarios y establece que, *excepto cuando se trate de extracciones para uso doméstico y de abrevadero, que se realicen por medios manuales, desde la vigencia del decreto nadie podrá ejecutar obras de alumbramiento de aguas del subsuelo dentro de la zona vedada sin contar con el correspondiente permiso de construcción otorgado por la Autoridad del Agua, esta concederá permisos únicamente en los casos en que de los estudios relativos se concluya que no se causarán los perjuicios que con el establecimiento de la veda tratan de evitarse.*

De acuerdo a la Ley Federal de Derechos vigente para el año 2006, el municipio de Pinos se ubica en la zona de disponibilidad No. 7, mientras que el municipio de Villa Hidalgo se localiza en la zona de disponibilidad No. 6.

El acuífero pertenece a la región Hidrológico-Administrativa VII Cuencas Centrales del Norte. Forma parte del Consejo de Cuenca del Altiplano y no cuenta con un Comité Técnico de Aguas Subterráneas (COTAS) (situación al mes de mayo de 2006).

2. ESTUDIOS TÉCNICOS REALIZADOS CON ANTERIORIDAD

El único estudio de carácter hidrogeológico realizado en la zona es el siguiente:

- “*Servicios de prospección y levantamientos geológicos y geofísicos en la región de Pinos, en el Estado de Zacatecas*”. S.A.R.H., 1981.

Este comprendió una superficie aproximada de 5000 km², incluyendo a los acuíferos Espíritu Santo, Pinos, Pino Suárez y Saldaña, todos estos del estado de Zacatecas. Los objetivos fueron definir las estructuras y unidades geohidrológicas del subsuelo con posibilidades de almacenar agua subterránea y localizar las áreas favorables para la perforación de pozos exploratorios. Consistió en la realización de inventario de aprovechamientos de aguas subterráneas, muestreo de agua, interpretación fotogeológica e hidrogeológica, con verificación de campo, así como exploraciones geofísicas.

El estudio cubrió entre otros, temas referentes a generalidades, aprovechamientos hidráulicos subterráneos, geología, hidrogeoquímica, geofísica y geohidrología. Entre sus conclusiones más importantes destaca la existencia de un acuífero principal, ubicado en los materiales clásticos del cuaternario, conformados por conglomerados poco cementados y rellenos aluviales. No se contempló la realización de un balance de aguas subterráneas, únicamente recomienda áreas favorables para la perforación de pozos.

3. FISIOGRAFÍA

3.1. Provincia Fisiográfica

El área en estudio, se localiza en la Provincia Fisiográfica de la Meseta Central, que se caracteriza por presentar diferentes paisajes topográficos, entre los cuales destacan las sierras altas con mesetas lávicas, llanuras aluviales y valles, que forman parte de la Subprovincia Llanos y Sierras Potosino – Zacatecanos.

La zona de interés está formada en su mayor parte por bajadas aluviales. Otros rasgos fisiográficos que se observan son pequeñas mesetas y cerros relictos, que se presentan de manera aislada dentro de las bajadas aluviales. Estas unidades se encuentran delimitadas en su porción sur por lomeríos con bajadas y sierras altas con mesetas.

3.2. Clima

De acuerdo con la clasificación de climas de Köppen, modificados por E. García (1964), el clima imperante dentro del área de estudio es del tipo BS₁kw, caracterizado por ser semiseco, con invierno fresco y régimen de lluvias en verano.

La precipitación media anual en el área es de 442.86 mm, con valores máximos mensuales de 91.2 mm. La temporada de lluvias tiene lugar entre los meses de julio a septiembre.

De los datos observados para el periodo 1961-2000, se deduce una temperatura media anual de 16.2 °C en el área de interés, una temperatura máxima promedio de 19.1 °C, y una mínima promedio de 12.6 °C. Los meses más calurosos son mayo y junio, mientras que los más fríos son diciembre y enero. (CNA 1961-2000)

3.3. Hidrografía

La zona representa una cuenca cerrada que comprende parte de los estados de Zacatecas y San Luis Potosí; pertenece a la Región Hidrológica No. 37 "El Salado" y a la cuenca "San Pablo y Otras". En el área no existen corrientes superficiales importantes, únicamente pequeños arroyos de régimen intermitente; la mayoría de los arroyos que bajan de las planicies montañosas por lo general desaparecen en la llanura.

El drenaje es hacia el centro de la cuenca, para continuar en forma no muy definida con dirección norte. No existe infraestructura para el aprovechamiento del agua superficial; las obras más importantes son algunas presas de reducida capacidad, pero de gran importancia para la zona. Entre ellas destacan las presas Espíritu Santo (El Rosario) ubicada en la porción norte, y El Ahijadero localizada al sur (Tabla No. 2).

Nombre	Municipio	Capacidad de Almacenamiento (hm ³)	Corriente aprovechada	Beneficio (has)
Espíritu Santo	Pinos	3.0		-
El Ahijadero	Pinos	0.2	A. El Quemado	100
	Total	3.2		

Tabla No. 2 Principales aprovechamientos hidráulicos superficiales de la zona

3.4. Geomorfología

El desarrollo del ciclo geomorfológico de la región es el resultado de una serie de eventos tectónicos que modelaron el área; ocurriendo primero el levantamiento del relieve al manifestarse los efectos de los diferentes eventos orogénicos y posteriormente su degradación bajo los efectos de los agentes erosivos hasta llegar a conformar el aspecto actual. Este se caracteriza por presentar un paisaje de cuencas cerradas producto de la fragmentación en bloques del terreno después de la Orogenia Laramide. Posteriormente fueron las cuencas fueron rellenadas por material clástico en los diferentes episodios de depósito ocurridos desde el Terciario al Reciente.

Estas cuencas fueron delimitadas por bloques positivos de elevación media a baja constituidos por derrames de lava y tobas de composición riolítica. Como ya se comentó anteriormente, los lomeríos que se observan están constituidos por areniscas y lutitas plegadas, su edad es del cretácico superior. Las mesetas de cimas planas y alargadas están constituidas por riolitas, tobas arenosas e ignimbritas.

La unidad geomorfológica más sobresaliente es la Sierra de Pinos, que alcanza una elevación máxima de 2900 msnm, Esta sierra está orientada en dirección norte-sur, presenta una longitud aproximada de 50 km y un ancho medio de 15 km y constituye el límite sur del acuífero. De acuerdo a lo anterior, se puede considerar que el área de estudio corresponde a un llano circundado por lomeríos y mesetas de poca elevación, característico de un ciclo geomorfológico de madurez

4. GEOLOGÍA

4.1 Estratigrafía

El registro estratigráfico comprende del Triásico al Reciente y está conformado por rocas metamórficas, sedimentarias, ígneas intrusivas y extrusivas. A continuación se describe la columna estratigráfica, tomada del estudio de 1981, de la unidad más antigua a la más reciente (figura No. 2).

Sistema Terciario

Rocas metamórficas

El Triásico se encuentra representado en esta zona por la Formación Zacatecas que agrupa a una secuencia de pizarras, filitas y esquistos de color verde claro y oscuro, estas rocas presentan una estructura bandeada ocasionada por los efectos del metamorfismo.

En la Sierra Peñón Blanco, ubicada en la porción suroeste del área, aflora una secuencia de filitas y esquistos y en menor proporción pizarras, que presentan una estructura bandeada, sobre la que se observan fenocristales de cuarzo, sericita y clorita.

A estas rocas, afectadas por metamorfismo regional, se les atribuye una edad Triásica con base en sus características litológicas y su posición estratigráfica.

Sistema Cretácico

Formación Cuesta del Cura

Esta formación constituye la base de la columna estratigráfica que aflora en la zona de estudio, se le encuentra principalmente en la porción septentrional ocupando generalmente las partes bajas, constituyendo lomeríos de poca altitud y de pendiente suave. Generalmente se presenta en el núcleo de los plegamientos observados.

Se encuentra formada por calizas de color gris oscuro que al intemperismo adquieren un color gris claro a amarillento, de estratificación delgada de 10 a 20 cm de espesor, con interestratificaciones de caliza arcillosa y en ocasiones lutitas calcáreas y frecuentes bandas de pedernal negro. Presenta débil fracturamiento.

No se pudo medir su sección estratigráfica, pero se estima que puede alcanzar en la zona más de 200 m de espesor. Se encuentra subyaciendo en forma concordante a la Formación Indidura. La edad de esta formación fue establecida por correlación y por su relación con las rocas que le sobreyacen ya que no se encontraron horizontes fosilíferos que pudieran datarla. Rogers (1961) le asigna una edad que abarca desde el Albiano Medio hasta el Cenomaniano Temprano. También determinó que el depósito de estos sedimentos se llevó a cabo en aguas de profundidad media en la zona infranerítica.

Formación Indidura

Está constituida por calizas de color gris claro que al intemperizar adquieren un color gris claro parduzco. Su estructura es criptocristalina, arcillosa y presenta estratificación delgada con interestratificaciones de lutita y lentes de pedernal negro.

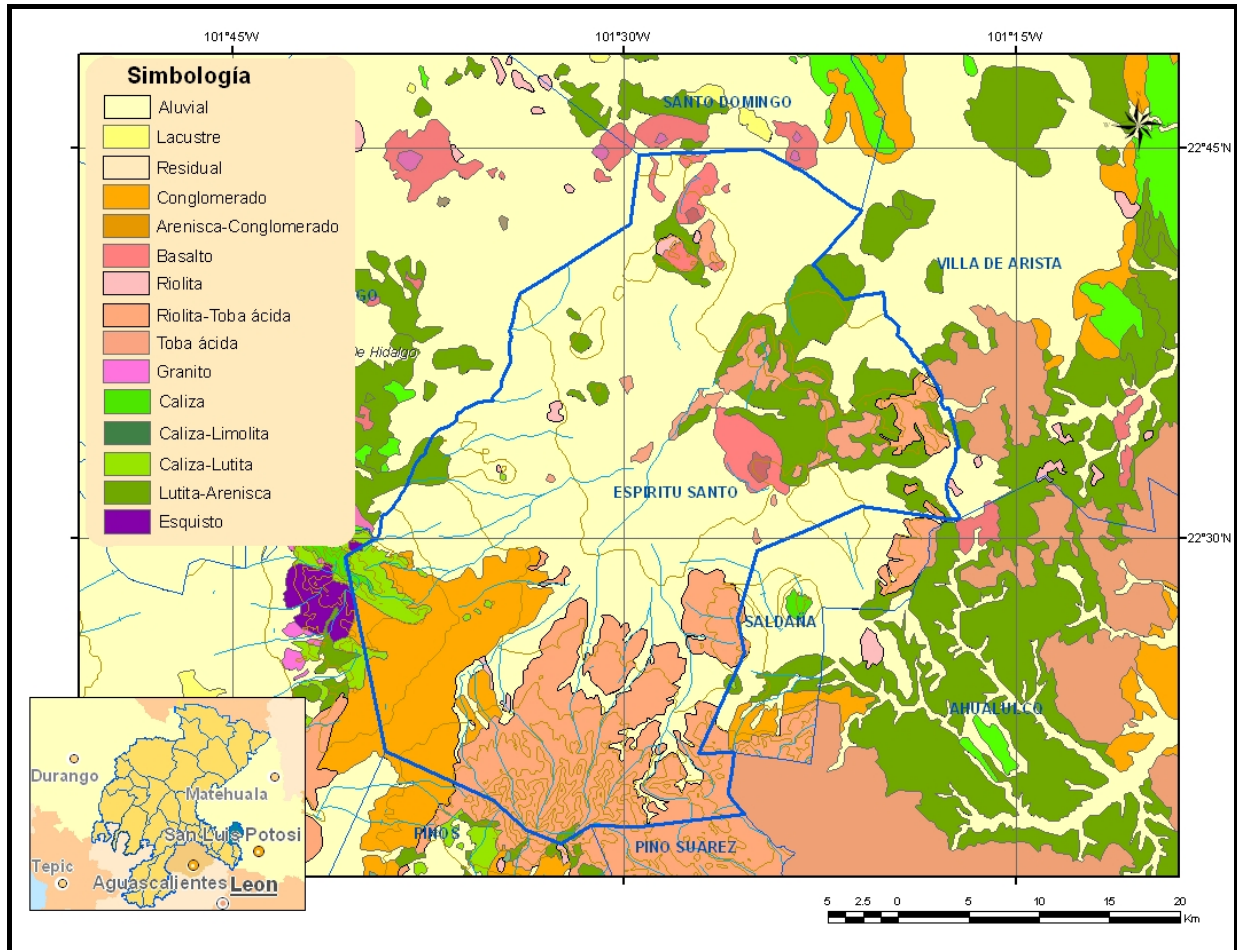


Figura No. 2. Mapa Geológico del acuífero Espíritu Santo

Se encuentran afloramientos de ella en la parte norte y este de la cuenca, los cuales constituyen cerros de poca altitud y pendientes suaves, es notoria la falta de vegetación por lo que son fáciles de reconocer.

El espesor de esta formación no se pudo determinar pero se estima que puede pasar los 100 m. En los recorridos realizados no se encontraron fósiles índice para datar a esta unidad, por lo que su edad se establece por su relación con las rocas que la limitan. De esta manera se le asigna un alcance del Cenomaniano al Turoniano.

Esta formación es poco fosilífera debido probablemente a que las condiciones del fondo marino, bajo las cuales se depositó, fueron desfavorables para la vida bentónica; además su carácter indica que la profundidad del mar iba disminuyendo. Se encuentra subyaciendo a la Formación Caracol en forma concordante y de igual forma sobreyace a la Caliza Cuesta del Cura.

Formación Caracol

De las rocas sedimentarias que afloran en la Unidad Hidrogeológica Pinos, las de esta formación son las más abundantes. Se encuentran aflorando en la parte norte y este, y en menor proporción hacia el oeste. Se le encuentra en el llano parcialmente cubierta y en las sierras se le ve en las partes bajas, presenta una topografía redondeada y de poca altitud.

Está constituida por una alternancia de areniscas, limolitas y lutitas de color pardo verdoso a verde olivo, por lo general en estratos delgados. Las areniscas son de composición arcósica que varía a calcárea, presenta fragmentos de cuarzo, plagioclasa y de rocas volcánicas, las lutitas son calcáreas y un poco arenosas.

Esta unidad se encuentra muy perturbada, por lo que presenta un fracturamiento intenso. También se observa clivaje en las lutitas, lo que demuestra que entre los estratos de arenisca y lutita hubo corrimiento, propiciado por la alta competencia de estas últimas, que actuaron como lubricantes. El espesor de esta formación no se pudo medir ya que en el área no se observa una sección que lo permita; se encuentra subyaciendo en discordancia angular a los derrames terciarios.

La edad de esta unidad se ha establecido por su relación con las rocas adyacentes, ya que no se encontraron fósiles que sirvieran para datarla. Se le asigna un alcance Conaciano-Santoniano, del Cretácico Superior.

Sistema Terciario

Las rocas terciarias que afloran en la zona de estudio están constituidas por rocas intrusivas, derrames y tobas de composición riolítica, producto de la intensa actividad volcánica que existió durante el Mioceno – Plioceno en la porción noroccidental de México.

Granito

Numerosos afloramientos de rocas intrusivas de tipo granítico se localizan en la porción suroeste de la zona, formando una alineación en dirección norte – sur, que se inicia con el Cerro Peñón Blanco y se continúa con los cerros Verde, Prieto y otros de menor importancia.

El más importante de los cuerpos graníticos es precisamente el que aflora en el Cerro Peñón Blanco, el cual tiene forma ovalada con su eje mayor en dirección NW – SE y una longitud de poco más de 4 km. El resto son de menor tamaño, existiendo numerosos afloramientos bajo la forma de apófisis y dique-estratos diseminados, que a profanidad pueden conectarse y formar un solo cuerpo que constituye el núcleo granítico de la sierra. Por sus dimensiones tiene el grado de batolítico y su emplazamiento ocasionó metamorfismo de contacto en las formaciones Indidura y Caracol, que actuaron como roca encajonante. Dado que los cuerpos intrusivos del área afectaron a las rocas calcáreas del Cretácico Superior ya emergidas y que no llegan a afectar las rocas que constituyen la secuencia que descansa sobre ellas, se considera que su edad es del Terciario Inferior.

Tobas

Estas rocas afloran en casi todo el perímetro de la cuenca y se encuentran generalmente en las laderas de las montañas, descendiendo a la llanura con pendientes suaves. Son de color rosado y pardo amarillento, de textura piroclástica y están constituidas por fragmentos de cuarzo, riolitas y algo de piedra pómez; embebidos en una matriz de cenizas y lapilli, que al intemperizarse se ha alterado a arcillas. Se encuentra subyaciendo a los derrames riolíticos, pero se pueden presentar alternancias entre ellos. El espesor máximo observado de tobas fue de 60 m.

Riolitas

Al igual que las anteriores, afloran en todo el perímetro de la zona, ocupando por lo general las partes altas de las sierras en forma de mesetas con bordes escarpados. Son de color rojizo o rojo violáceo que al intemperizar adquieren una tonalidad parda rojiza; presenta textura porfirítica con fenocristales de cuarzo, plagioclasas cálcicas y escasa biotita. Su estructura varía de microcristalina a vítrea.

Se observa un intenso fracturamiento vertical y en menor proporción en el sentido del flujo. El espesor observado en estos derrames es de aproximadamente 40 m. La secuencia terciaria, se encuentra sobreyaciendo a las rocas mesozoicas en discordancia angular. Su edad fue determinada por su relación con las rocas adyacentes, así como con los derrames terciarios de la Sierra Madre Occidental, por lo que se les asigna un alcance Mioceno – Plioceno.

Sistema Cuaternario

Basalto

Los afloramientos de basalto son pequeños y aislados, encontrándose diseminados en toda el área. Los más importantes afloran al sur de la comunidad Espíritu Santo, en la porción norte del área. Las rocas basálticas esencialmente están formadas por plagioclasas, labradorita y minerales máficos como los piroxenos y olivino.

La forma más común en que se presentan los basaltos es como coladas de poco espesor que forman mesetas. Los basaltos constituyen una de las unidades litológicas más jóvenes del área, solo anteriores a los conglomerados y aluviones. Es por esto que se encuentran descansando discordantemente sobre las unidades preexistentes. Por su posición estratigráfica se le considera de edad Pleistoceno, del Cuaternario Inferior.

Conglomerados

Esta unidad se encuentra formada por conglomerados, arenas, limos y arcillas distribuidos de la siguiente forma: los materiales gruesos se localizan en los bordes de las sierras y en las áreas de influencia de los arroyos, mientras que los finos se encuentran preferentemente hacia la porción central de la cuenca, influenciados por el carácter endorreico de la misma.

Otro factor que influye en la granulometría del cuaternario es la composición de la roca madre, por lo que en las zonas donde se observan rocas sedimentarias se presenta un aumento en el porcentaje de finos.

Los afloramientos de conglomerado se encuentran principalmente en la parte norte, noroeste y noreste de la cuenca. Están constituidos por fragmentos subangulosos y subredondeados mal clasificados de riolita, cuyo diámetro varía de 5 a 50 cm, predominando los de 5 a 10 cm, en matriz arcillo – arenosa, moderadamente cementada. El espesor de estos materiales no ha sido determinado pero se estima que en las partes centrales puede alcanzar los 200 m.

Aluvión

Proporcionalmente, es la unidad que mayor superficie ocupa en el área de estudio, sin embargo su espesor es reducido, formando en ocasiones solamente la tierra vegetal. Descansa sobre todas las unidades descritas, cubriendo preferentemente a los conglomerados que rellenan la llanura. Está constituido por arcillas y arenas de color gris oscuro, con menores cantidades de grava; su espesor tal vez no sobrepase los 20 m.

4.2 Geología Estructural

La zona de estudio se encuentra afectada por dos fenómenos estructurales que la controlan y limitan: los plegamientos que perturbaron a las rocas sedimentarias de la región y las fallas y fracturas que se encuentran afectando a las rocas terciarias y mesozoicas.

En la porción sur de la zona, se observa a las rocas sedimentarias afectadas por plegamientos originados por los esfuerzos generados por la Orogenia Laramide del Cretácico Tardío. Los ejes de estas estructuras siguen un rumbo general N 25° E y buzan hacia el SW, se observan anticlinales y sinclinales de tipo simétrico, cuyos flancos presentan un ángulo menor de 45°. La formación más perturbada es la Caracol debido a su estratificación delgada y la presencia de lutitas, adquiriendo una gran competencia al ser sometida a esfuerzos. Esto es evidenciado por la presencia de clivaje en dichas rocas. Los esfuerzos que dieron origen a estos plegamientos fueron compresionales y debieron actuar con una dirección NW – SE.

Los eventos antes descritos estuvieron acompañados por fallas y fracturas que liberaron parte de la energía generada por los esfuerzos compresionales. Una vez que estos dejaron de actuar, tuvo lugar una tectónica de relajamiento en la cual las rocas sufren un reacomodo en bloques.

4.3 Geología del subsuelo

Con el objeto de determinar la geología del subsuelo, durante la elaboración del estudio denominado “*Servicios de prospección geofísica y levantamientos geológicos y geofísicos en la región de Pinos, Zacatecas*”(1981), se realizó un programa de exploración indirecta mediante 84 sondeos eléctricos verticales (SEV), con los cuales se construyeron 6 secciones, de estas 1 se ubicó dentro de la zona de nuestro interés, conformada por 17 sondeos eléctricos verticales con una orientación general este – oeste. Su longitud es de 23 km y va del poblado La Pendencia, hasta la localidad Tolosa.

Además de los estudios geofísicos se cuenta con cortes litológicos y registros eléctricos de pozos construidos en diferentes años, que permiten definir la mayor parte de la geometría del subsuelo. El acuífero cubre superficialmente una extensión de 344 km², que representa el 27 % respecto al área total de la unidad hidrogeológica.

La exploración geoelectrica en la región alcanzó profundidades de 700 m e identificó la existencia de seis unidades geoelectricas en el subsuelo:

- Unidad 1. Comprende resistividades entre 60 y 750 ohms-m, su espesor es variable, considerándose 5 m como promedio. Se asocia con la capa de alteración superficial formada por aluviones gruesos, drenados y alterados.

- Unidad 2. Comprende el rango de resistividades entre 11 y 33 ohms-m. Su espesor es de 30 a 160 m. Se correlaciona con aluviones arcillo – arenosos de regular permeabilidad.
- Unidad 3. Comprende las resistividades entre 36 y 77 ohms-m, su espesor promedio se considera de 250 m y se asocia con gravas y arenas poco compactas de permeabilidad variable.
- Unidad 4. Comprende resistividades entre 168 y 195 ohms-m, se presenta en forma de lentes, siendo su espesor promedio de 170 m. Se correlaciona con tobas de composición variable y baja permeabilidad.
- Unidad 5. Comprende las resistividades entre 130 y 276 ohms-m, su espesor fue calculado en 250 m. se asocia con un paquete de arenas y arcillas, semicompactas y de permeabilidad variable.
- Unidad 6. Comprende resistividades entre 331 y 483 ohms-m, se asocia con una roca compacta, posiblemente calcaren de permeabilidad variable dependiendo del grado de fracturamiento.

5. HIDROGEOLOGÍA

5.1 Tipo de acuífero

De acuerdo con la información hidrogeológica existente, es posible identificar la existencia de un acuífero principal, de tipo libre, alojado en los materiales clásticos del Cuaternario constituidos por conglomerados y rellenos aluviales. El espesor de estos materiales es variable, siendo mayor en la parte central del valle y menor hacia los flancos de las montañas. Se considera que su espesor no sobrepasa los 200 m.

Otro acuífero de menor importancia lo conforman las rocas sedimentarias de las formaciones Caracol e Indidura así como las tobas riolíticas, las cuales por fracturamiento pueden alojar un acuífero de bajo rendimiento que es explotado básicamente mediante obras de extracción manual para satisfacer las necesidades del uso doméstico-abrevadero. El basamento y barreras laterales están constituidos por rocas de edad Cretácica de la Formación Cuesta del Cura, así como por rocas metamórficas y algunos cuerpos de rocas graníticas.

5.2 Parámetros hidráulicos

En la zona, a la fecha no se han realizado pruebas de bombeo que nos permitan conocer las principales características hidráulicas del acuífero, tal como la transmisividad y el coeficiente de almacenamiento.

Al no tener valores de transmisividad, y dada la necesidad de contar con este parámetro, fueron utilizados los valores del caudal específico obtenidos de 9 aforos realizados en la zona, que fueron recopilados en los últimos años. Con esta información fue elaborado el plano de isovalores de caudal específico, en el que se observa que varían de 0.01 lps/m a 1.11 lps/m.

Los valores máximos se tienen en la parte central de la zona, entre las comunidades Santiago, Trinidad Norte y El Salto, donde se presentan valores superiores a 0.24 lps/m. Los valores más bajos se presentan en la porción oriental, en las cercanías de la comunidad Tolosa.

Para el caso del coeficiente de almacenamiento, no existe información para determinarlo. Sin embargo, atendiendo el tipo y características de los materiales que constituyen el subsuelo de la región, se estima un valor para el acuífero de 0.07, el cual queda dentro del rango para acuíferos libres.

5.3 Piezometría

Existe información piezométrica recabada tanto de los estudios previos como de los recorridos recientes que ha realizado la Gerencia Estatal en Zacatecas. Los datos con los que se cuenta comprenden un periodo de 1981 a 2005, comprendiendo tanto temporadas de lluvias como de estiaje.

5.4 Comportamiento hidráulico

5.4.1 Profundidad al nivel estático

En buena parte de la zona de estudio las profundidades al nivel estático son someras, predominando valores de 5 a 10 m. Estos valores se presentan en la porción norte, a partir de la Comunidad Mesillas, donde existe un número considerable de norias que son utilizadas para uso doméstico-abrevadero.

En la porción norte, en los límites de los lomeríos con la sierra y en las cercanías de la comunidad La Pendencia, se observan los valores del nivel estático más profundos, del orden de 60 a 70 m de profundidad (Figura No.3).

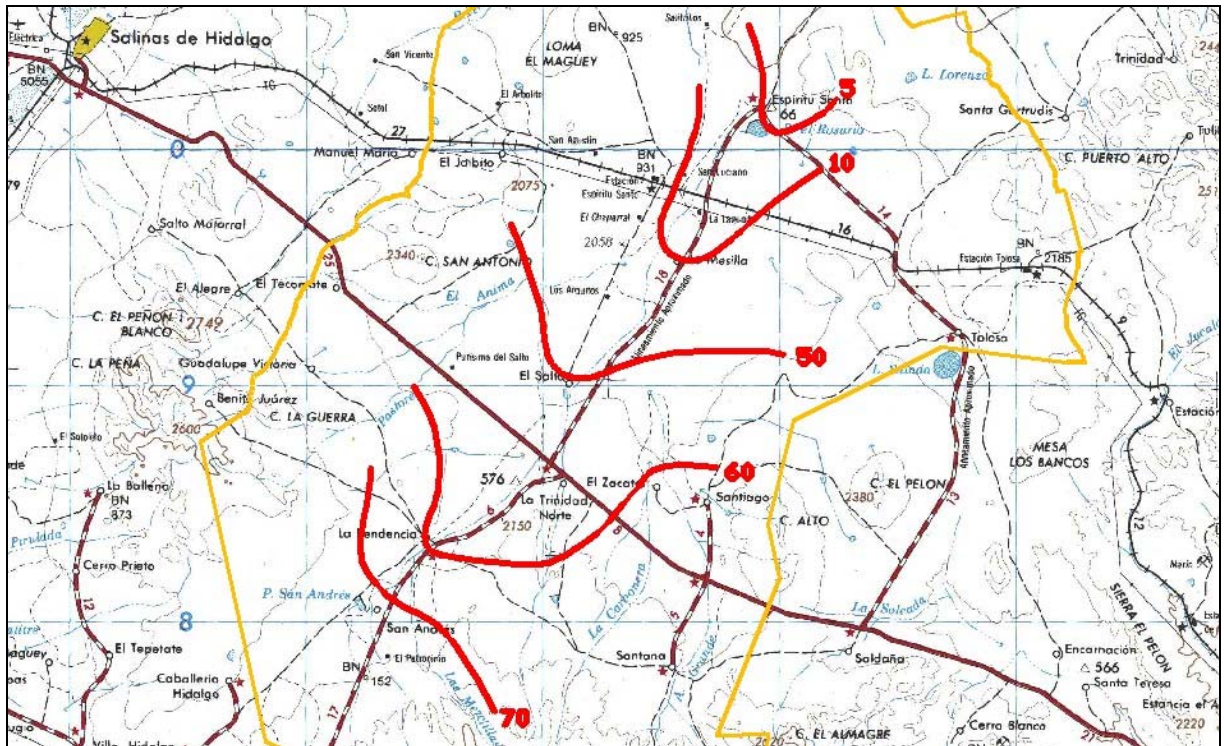


Figura No. 3 Profundidad al nivel estático (septiembre 2005)

5.4.2 Elevación del nivel estático

La configuración de curvas de igual elevación del nivel estático correspondiente a septiembre de 2005 muestra una dirección preferencial del flujo subterráneo de sur a norte. Los valores máximos del orden de 2200 msnm se ubican en la porción sur del acuífero, en las cercanías de las comunidades San Andrés y Santana. A partir de esta cota, los valores descienden de manera uniforme hacia el norte hasta llegar a un valor de 2010 msnm, en las proximidades de la localidad Espíritu Santo.

Las líneas de flujo muestran que la recarga principal al acuífero proviene de la Sierra de Pinos, ubicada al sur de la unidad hidrogeológica. (Figura No.4).

5.4.3 Evolución del nivel estático

Los valores de evolución del nivel estático para el periodo 1981- 1991 muestran que para este período se registraron abatimientos poco significativos, únicamente se presentaron valores máximos de 1 m en dos sitios puntuales: uno de estos en las cercanías de la localidad La Pendencia, el otro en la comunidad Espíritu Santo (figura No.5). Otro pequeño cono de abatimiento se observa en la porción central del acuífero, en los alrededores de la comunidad El Salto, donde se presentan valores del orden de 0.0 a 0.25 m de abatimiento.

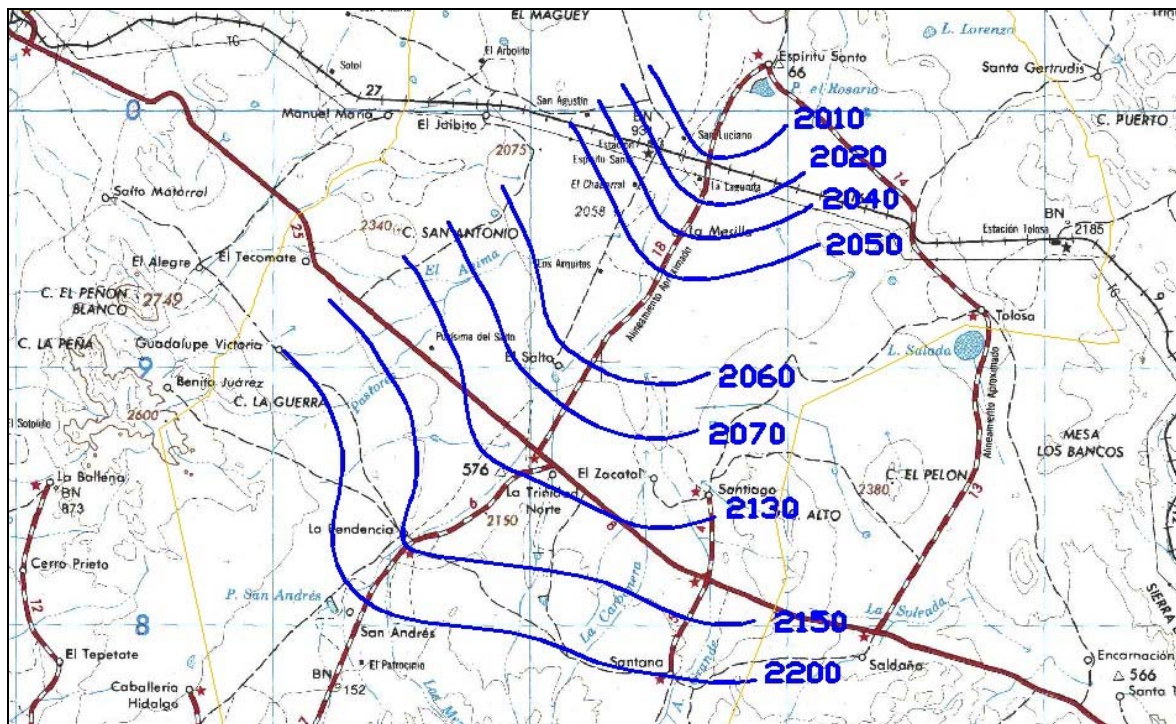


Figura No. 4. Elevación del nivel estático (septiembre 2005)

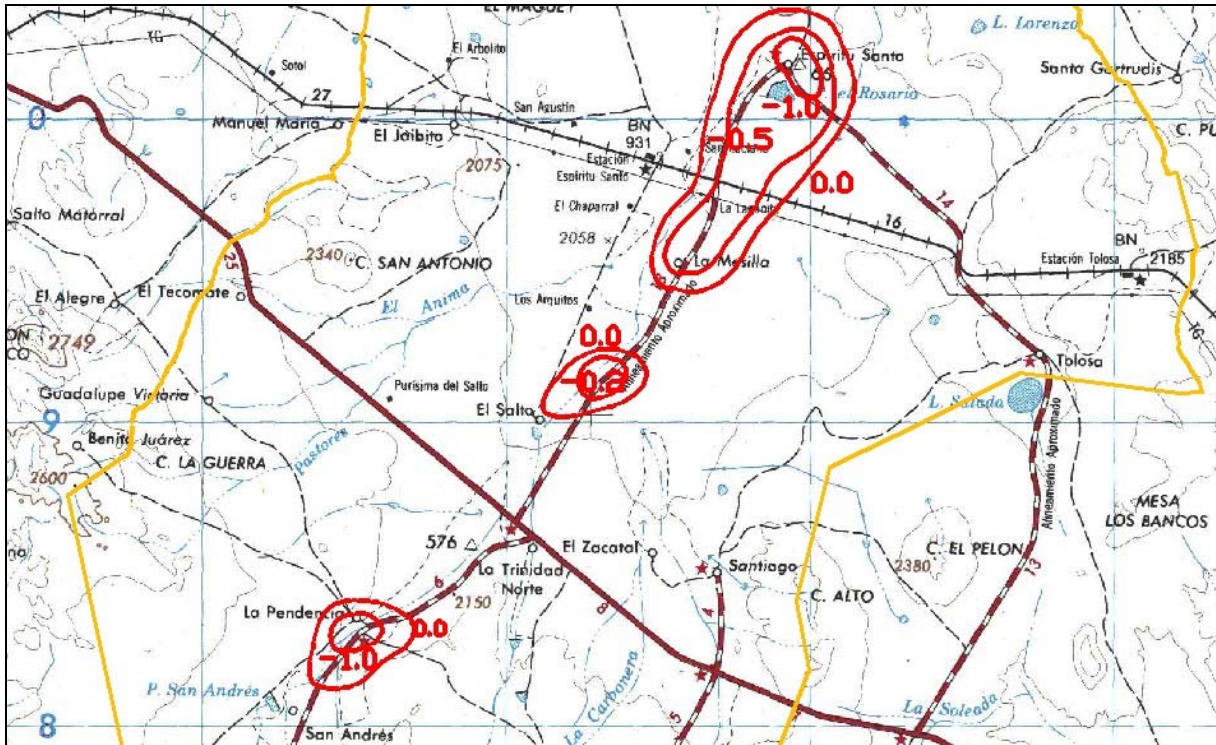


Figura No. 5 Evolución del nivel estático (1981-1991)

5.5 Hidrogeoquímica y calidad del agua subterránea

Durante los trabajos de campo realizados para el estudio de prospección del año 1981, fueron recolectadas y analizadas un total de 70 muestras. La interpretación hidrogeoquímica se realizó con base en 25 de estas muestras, que son las que se encuentran ubicadas dentro del acuífero de Espíritu Santo. De ellas, 2 corresponden a pozos, 21 a norias y 2 más fueron tomadas en galerías filtrantes.

El agua presenta concentraciones de sólidos totales disueltos que varían de 512 a 844 ppm, el calcio oscila entre 44 a 192 ppm, el magnesio de 2.41 36.04 ppm, el sodio de 0.5 a 5.5 ppm, los bicarbonatos varían de 244 a 549 ppm, los sulfatos de 19 a 192 ppm y los cloruros de 0 a 124 ppm.

De acuerdo al diagrama triangular de Piper 7 de las muestras corresponden a aguas cálcicas, 5 a aguas sódicas y 13 caen en la zona de aguas mixtas; en cuanto a los aniones 24 de las muestras se clasificaron como aguas bicarbonatadas y 1 corresponde a aguas mixtas.

De la clasificación del agua para uso agrícola, se encontró que 1 de las muestras pertenecen a la clase C2 S1 y las 24 restantes son clase C3 S1, la cual corresponde a agua de buena calidad apropiada para su utilización en la agricultura, en prácticamente cualquier tipo de terreno sin peligro de sodificación o salinización de los suelos.

En general la calidad del agua subterránea se considera apta para todo uso. No existen fuentes potenciales de contaminación que pudieran alterar la calidad del agua del acuífero.

6. CENSO DE APROVECHAMIENTOS E HIDROMETRÍA

El primer censo de aprovechamientos realizado en la zona se llevó a cabo durante el estudio denominado “*Servicios de prospección y levantamientos geológicos y geofísicos en la región de Pinos, en el Estado de Zacatecas*”, en el año 1981, incluyendo también el censo de obras de los acuíferos vecinos.

El censo más reciente fue realizado por la Gerencia Estatal en Zacatecas en los meses de marzo, abril y mayo de 2005. La actualización del inventario de aprovechamientos hidráulicos subterráneos reveló la existencia de un total de 673 obras. De de estas, atendiendo su uso, 420 son destinadas a la agricultura, 79 son para abastecimiento de agua potable, 134 son de uso doméstico y las 40 restantes son utilizadas con fines pecuarios.

En conjunto, estas obras extraen un volumen anual de 7'320,492 m³/año; de los cuales 6'522,741 son utilizados en la agricultura; 695,024 para agua potable; 88,734 para uso doméstico y los 13,993 restantes para uso pecuario.

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

- En el caso de aprovechamientos de uso agrícola, se asignó un volumen de 6,000 m³/año por hectárea, que implica una lámina de riego promedio de 0.60 m, independientemente del cultivo realizado, a este volumen se le aplico un valor de eficiencia total de acuerdo al tipo de riego.
- Para uso público urbano y doméstico, 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 la tabla siguiente se muestra la clasificación por usos del agua subterránea, provenientes del acuífero Pinos (Tabla No. 3).

Uso	Número de obras	Volumen (m ³ /año)	Porcentaje (%)
Agrícola	420	6,522,741.00	89.10
Público Urbano	79	695,024.00	9.49
Domestico	134	88,734.00	1.21
Pecuario	40	13,993.00	0.19
Total	673	7,320,492.00	100.0

Tabla No. 3 Número de aprovechamientos y volumen de extracción por uso

7. BALANCE DE AGUAS SUBTERRÁNEAS

La diferencia entre la suma total de las entradas (recarga), y la suma total de las salidas (descarga), representa el volumen de agua perdido o ganado por el almacenamiento del acuífero, en el periodo de tiempo definido.

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

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

Aplicando esta ecuación al estudio del acuífero, las entradas quedan representadas por la recarga total, las salidas por la descarga total y el cambio de masa por el cambio de almacenamiento de una unidad hidrogeológica:

$$\text{Recarga total} - \text{Descarga total} = \text{Cambio de almacenamiento en la unidad hidrogeológica}$$

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

$$\mathbf{Eh + Rv + Ir - Sh - B = \Delta V(S)}$$

Donde:

- Eh:** Recarga por flujo horizontal
- Rv:** Infiltración por lluvia
- Ir:** Infiltración en áreas de riego
- Sh:** Salidas por flujo horizontal
- B:** Bombeo
- $\Delta V(S)$:** Cambio en el volumen almacenado

El área donde se tiene información piezométrica, considerada para la realización del balance es de 344 km², que representa el 27 % respecto al área total de la unidad hidrogeológica. El balance planteado comprende un periodo de 1981 a 1991.

7.1 Entradas

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

7.1.1 Recarga natural

Recarga vertical (Rv)

Es uno de los términos que mayor incertidumbre implica su cálculo. Debido a que se tiene información para calcular el cambio de almacenamiento $\Delta V(S)$, así como las entradas y salidas por flujo subterráneo, su valor será la incógnita a despejar en la ecuación de balance.

7.1.2 Recarga inducida

Infiltración en áreas de riego

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

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

Donde:

- I_r:** Infiltración por riego
- vol. r:** Volumen de agua aplicado al riego
- Cr:** Coeficiente de infiltración en la parcela

Sustituyendo valores:

$$I_r = 6.522 * 0.12$$
$$I_r = 0.8 \text{ hm}^3/\text{año} \text{ (Millones de metros cúbicos anuales)}$$

7.1.3 Entradas por flujo subterráneo horizontal (E_h)

Una fracción del volumen de lluvias que se precipita en las zonas altas del área de estudio se infiltra por las fracturas de las rocas que forman parte de ellas y a través de los piedemonte, para posteriormente llegar a recargar al acuífero en forma de flujos subterráneos que alimentan la zona de explotación localizada en el área del valle.

El cálculo de entradas por flujo horizontal, producto de la precipitación que se infiltra en las zonas de recarga, se realizó con base en la red de flujo, partiendo de la configuración de elevación media del nivel estático para el periodo 1981-1991 (Figura No. 6), de acuerdo a la siguiente expresión

$$Q = B * i * T$$

Donde

- B:** Ancho (m) del canal de flujo
- i:** Gradiente hidráulico ($i = h_2 - h_1 / L$); h y L son la diferencia y distancia respectivamente entre las equipotenciales (h) que conforman el canal de flujo.
- T:** Transmisividad (m²/s) en el canal de flujo

El gasto obtenido en un total de 8 celdas de entrada fue de 0.149930438 m³/s, que corresponde a **4.7 hm³/año** (Millones de metros cúbicos anuales).

NO. CELDA	h_1 (m)	h_2 (m)	Dh (m)	DL (m)	i	B (m)	$T \times 10^{-3}$ (m^2/s)	$Q \times 10^{-3}$ (m^3/s)	Q ($hm^3/año$)
1	2,200	2,150	50	2,400	0.020833	2,850	0.24	14.25	0.45
2	2,200	2,150	50	2,500	0.020000	3,000	0.24	14.40	0.45
3	2,200	2,150	50	2,150	0.023256	4,300	0.24	24.00	0.76
4	2,200	2,150	50	2,000	0.025000	3,500	0.24	21.00	0.66
5	2,200	2,150	50	2,450	0.020408	3,550	0.24	17.39	0.55
6	2,200	2,150	50	2,600	0.019231	3,600	0.26	18.00	0.57
7	2,200	2,150	50	2,050	0.024390	3,200	0.26	20.29	0.64
8	2,050	2,040	10	1,450	0.006897	2,900	1.03	20.60	0.65
							Total	149.93	4.73

Tabla No. 4 Entradas subterráneas por flujo horizontal

Los valores de transmisividad utilizados para el cálculo de las entradas y salidas subterráneas, fueron obtenidos de pruebas de aforo recopiladas en los últimos años, como ya se explicó en el apartado de Parámetros hidráulicos.

7.2 Salidas

La descarga del acuífero ocurre, de manera artificial, por el bombeo de pozos y norias, y de manera natural se presentan salidas subterráneas hacia la porción norte del acuífero, fuera del área de balance.

7.2.1 Descargas naturales

No existen manantiales dentro del área de balance, asimismo, considerando que el balance se realiza al acuífero regional profundo, tampoco se tienen niveles someros donde puedan presentarse salidas por evapotranspiración, ni descargas de flujo base a lo largo de algún río.

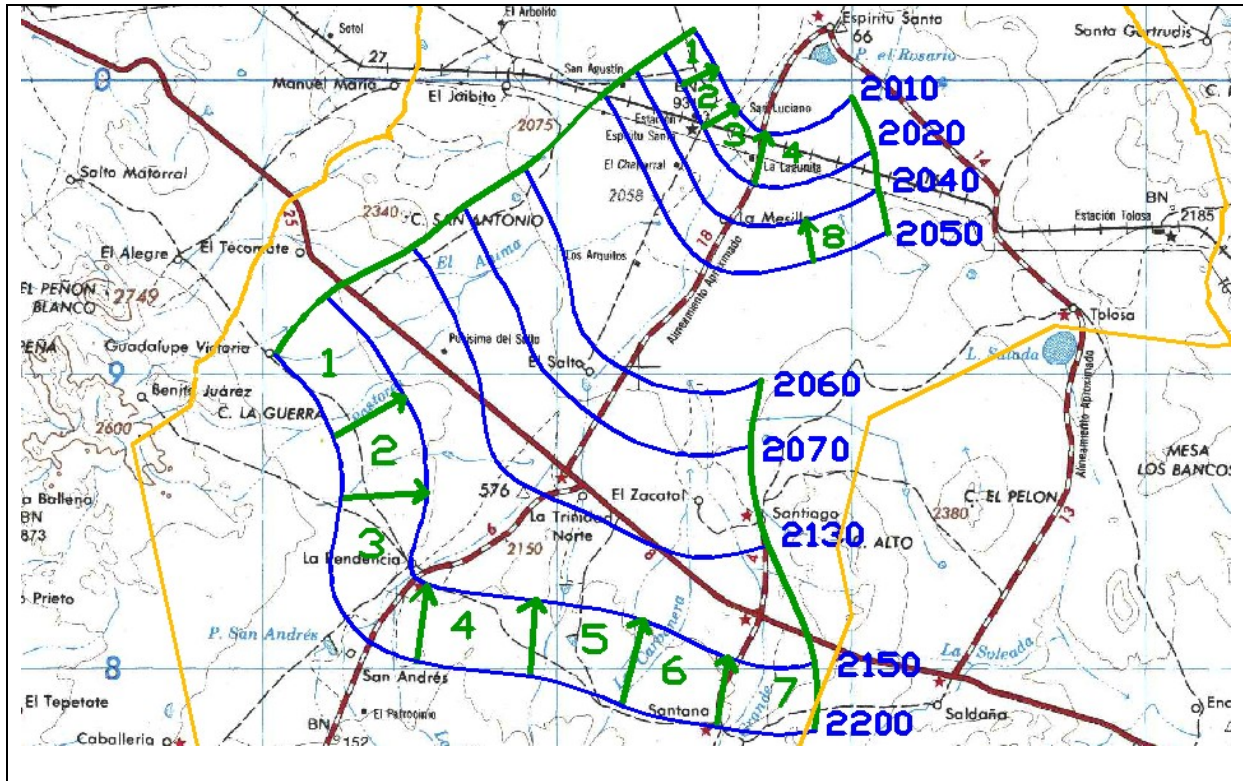


Figura No. 6 Celdas de entrada y salida y red de flujo

7.2.2 Bombeo (B)

El volumen extraído del acuífero a través del bombeo, ya fue analizado en el apartado de hidrometría, el cual resultó ser de **7.3 hm³/año** (Millones de metros cúbicos anuales).

7.2.3 Salidas por flujo subterráneo horizontal (Sh)

Las salidas subterráneas que ocurren hacia la porción norte del acuífero, fuera del área de balance, fueron calculadas de la misma manera como se evaluaron las entradas subterráneas, a partir también de la configuración de elevación media del nivel estático, presentada en la Figura No. 6. El valor obtenido en 4 celdas de salida es de 0.058063492 m³/s, que corresponde a **1.8 hm³/año** (Millones de metros cúbicos anuales), tal como se muestra en la tabla No. 5.

NO. CELDA	h ₁ (m)	h ₂ (m)	Dh (m)	DL (m)	i	B (m)	T x10 ⁻³ (m ² /s)	Q x10 ⁻³ (m ³ /s)	Q (hm ³ /año)
1	2,020	2,010	10	1,350	0.007407	2,400	1.00	17.78	0.56
2	2,020	2,010	10	1,400	0.007143	2,000	1.00	14.29	0.45
3	2,020	2,010	10	1,750	0.005714	2,250	1.00	12.86	0.40
4	2,020	2,010	10	1,750	0.005714	2,300	1.00	13.14	0.41
							Total	58.06	1.82

Tabla No. 5 Salidas subterráneas por flujo horizontal

7.3 Cambio de almacenamiento (ΔVS)

Para la determinación de este término se consideró la evolución piezométrica del acuífero en un intervalo de tiempo de 10 años, que comprende de 1981 a 1991. Con base en la configuración de curvas de igual evolución del nivel estático, y considerando un coeficiente de almacenamiento $S = 0.07$, se determinó la variación del almacenamiento con la siguiente expresión:

$$\Delta VS = S * A * h$$

Donde:

- ΔVS :** 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

Como consecuencia de la explotación del recurso la posición del nivel piezométrico ha descendido, propiciando una variación negativa del almacenamiento, que en este caso es poco significativa. El volumen de sedimentos drenados en el intervalo de tiempo de 10 años, fue de 19.41 hm³, que equivale a 1.94 hm³/año (Millones de metros cúbicos anuales), dando el siguiente resultado:

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

Sustituyendo valores:

$$\Delta V(S) = 1.94 (0.07) = -0.1 \text{ (hm}^3\text{/año)}$$

No. Área	Área (km ²)	Valor medio entre curvas (m)	Volumen Drenado x 10 ⁶ (m ³)
1	1.60	1.00	1.60
2	14.90	0.75	11.18
3	12.00	0.25	3.00
4	1.90	0.20	0.38
5	3.50	0.10	0.35
6	1.20	1.00	1.20
7	3.40	0.50	1.70
Total	38.5		19.41
Promedio para el periodo 1981-1991 = 1.94			

Tabla No. 6 Resultados del cálculo del cambio de almacenamiento (CVA)

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

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

Sustituyendo valores:

$$R_v = 1.8 + 7.3 - 4.7 - 0.8 - 0.1$$

$$R_v = 3.5 \text{ hm}^3/\text{año} \text{ (Millones de metros cúbicos anuales).}$$

Sustituyendo valores en la ecuación general de balance:

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

$$4.7 + 3.5 + 0.8 - 1.8 - 7.3 = -0.1$$

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

$$9.0 - 9.1 = -0.1 \text{ hm}^3/\text{año} \text{ (Millones de metros cúbicos anuales).}$$

De los resultados antes expuestos se desprende que el acuífero Espíritu Santo se encuentra en condiciones de subexplotación, puesto que actualmente la recarga que recibe el acuífero es del orden de $9.0 \text{ hm}^3/\text{año}$ (Millones de metros cúbicos anuales), en tanto que el volumen extraído por bombeo asciende a $7.3 \text{ hm}^3/\text{año}$ (Millones de metros cúbicos anuales).

8. DISPONIBILIDAD

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

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

8.1 Recarga total media anual

La recarga total media anual que recibe el acuífero (R_t), corresponde con la suma de todos los volúmenes que ingresan al acuífero, tanto en forma de recarga natural ($8.2 \text{ hm}^3/\text{año}$) como inducida ($0.8 \text{ hm}^3/\text{año}$). Por lo tanto el valor de la recarga total es de **$9.0 \text{ hm}^3/\text{año}$** (Millones de metros cúbicos anuales).

8.2 Descarga natural comprometida

La descarga natural comprometida se determina sumando los volúmenes de agua concesionados de los manantiales y del caudal base de los ríos que está comprometido como agua superficial, alimentados por el acuífero, más las descargas que se deben conservar para no afectar a los acuíferos adyacentes; sostener el gasto ecológico y prevenir la migración de agua de mala calidad hacia el acuífero

Para el caso de la zona de estudio, no existen manantiales ni caudal base, únicamente se presentan descargas por flujo subterráneo hacia la porción norte de la unidad hidrogeológica, fuera del área de balance. Sin embargo este volumen queda dentro del mismo acuífero de Espíritu Santo, por lo que no se considera como descarga comprometida.

$$\text{DNCOM} = 0.0$$

8.3 Rendimiento permanente

El rendimiento permanente es la recarga total media anual menos la descarga natural comprometida. Por lo tanto, para el caso de este acuífero, el rendimiento permanente es igual a la recarga total, que equivale a $9.0 \text{ hm}^3/\text{año}$ (Millones de metros cúbicos anuales).

8.4 Volumen concesionado de aguas subterráneas

El volumen anual de extracción, 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, con fecha de corte al **31 de mayo de 2005** es de **$7'518,480 \text{ m}^3/\text{año}$** .

8.5 Disponibilidad de aguas subterráneas

La disponibilidad de aguas subterráneas, constituye el volumen medio anual de agua subterránea disponible en un acuífero, al que tendrán derecho de explotar, usar o aprovechar los usuarios, adicional a la extracción ya concesionada y a la descarga natural comprometida, sin poner en peligro a los ecosistemas.

La disponibilidad de aguas subterráneas, conforme a la metodología indicada en la NORMA Oficial Mexicana NOM-011-CNA-2000, Conservación del recurso agua-Que establece las especificaciones y el método para determinar la disponibilidad media anual de las aguas nacionales, se obtiene de restar a la recarga total los volúmenes de la descarga natural

comprometida y el volumen concesionado e inscrito en el REPDA, de acuerdo a la expresión siguiente:

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

Donde:

DAS = Disponibilidad media anual de agua subterránea en una unidad hidrogeológica.
Rt = Recarga total media anual.
DNCOM = Descarga natural comprometida.
VCAS = Volumen de agua subterránea concesionado e inscrito en el REPDA.

De acuerdo con lo anterior, se tiene que:

$$DAS = 9.0 - 0.0 - 7.518480$$

$$\mathbf{DAS = 1.481520 \text{ hm}^3/\text{año}}$$
 (Millones de metros cúbicos anuales).

El resultado indica que actualmente existe un volumen de **1'481,520 m³ anuales disponibles** para ser administrados, conforme se otorguen nuevas concesiones de agua y se realicen o actualicen los estudios técnicos; tomando en cuenta que la disponibilidad de agua subterránea varía a lo largo del tiempo, dependiendo de los cambios en el régimen natural de recarga, del comportamiento del acuífero, del manejo del agua y de los volúmenes concesionados.

9. BIBLIOGRAFÍA

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

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

Custodio, Llamas E., "Hidrogeología Práctica".

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

Secretaría de Agricultura y Recursos hidráulicos (SARH). "Servicios de prospección y levantamientos geológicos y geofísicos en la región de Pinos, en el Estado de Zacatecas", 1981.