

***Actualización de la disponibilidad media anual
de agua en el acuífero Pinos (3231), 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.**

CDXIX 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							
3231	PINOS	18.0	0.0	12.596605	13.3	5.403395	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
PINOS, ESTADO DE ZACATECAS***

**DETERMINACIÓN DE LA DISPONIBILIDAD DE AGUA
SUBTERRÁNEA EN EL ACUÍFERO PINOS, 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.....	6
3.3. Hidrografía.....	6
3.4. Geomorfología.....	7
4. GEOLOGÍA.....	7
4.1. Estratigrafía.....	8
4.2. Geología estructural.....	11
4.3. Geología del subsuelo.....	12
5. HIDROGEOLOGÍA.....	12
5.1. Tipo de acuífero.....	12
5.2. Parámetros hidráulicos.....	13
5.3. Piezometría.....	14
5.4. Comportamiento hidráulico.....	14
5.4.1. Profundidad al nivel estático.....	14
5.4.2. Elevación del nivel estático.....	15
5.4.3. Evolución del nivel estático.....	15
5.5. Hidrogeoquímica y calidad del agua subterránea.....	16
6. CENSO DE APROVECHAMIENTOS E HIDROMETRÍA.....	16
7. BALANCE DE AGUAS SUBTERRÁNEAS.....	17
7.1. Entradas.....	18
7.1.1. Recarga natural.....	18
7.1.2. Flujo subterráneo horizontal.....	18
7.2. Salidas.....	20
7.2.2. Bombeo.....	20
7.2.3. Flujo subterráneo horizontal.....	20
7.3. Cambio de almacenamiento.....	21
8. DISPONIBILIDAD.....	22
8.1. Recarga total media anual.....	22
8.2. Descarga natural comprometida.....	22
8.3. Rendimiento permanente.....	22
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, en la autorización de nuevos aprovechamientos de agua subterránea, en 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

Cubriendo una superficie aproximada de 1436 km² de la porción sureste del estado de Zacatecas, la zona de estudio se localiza entre los paralelos 21° 50' y 22° 20' de Latitud Norte y los meridianos 101° 27' y 101° 50' de Longitud Oeste. Constituye el 1.9 % de la superficie total del Estado. El acuífero se localiza totalmente dentro del municipio de Pinos. (Figura No. 1).

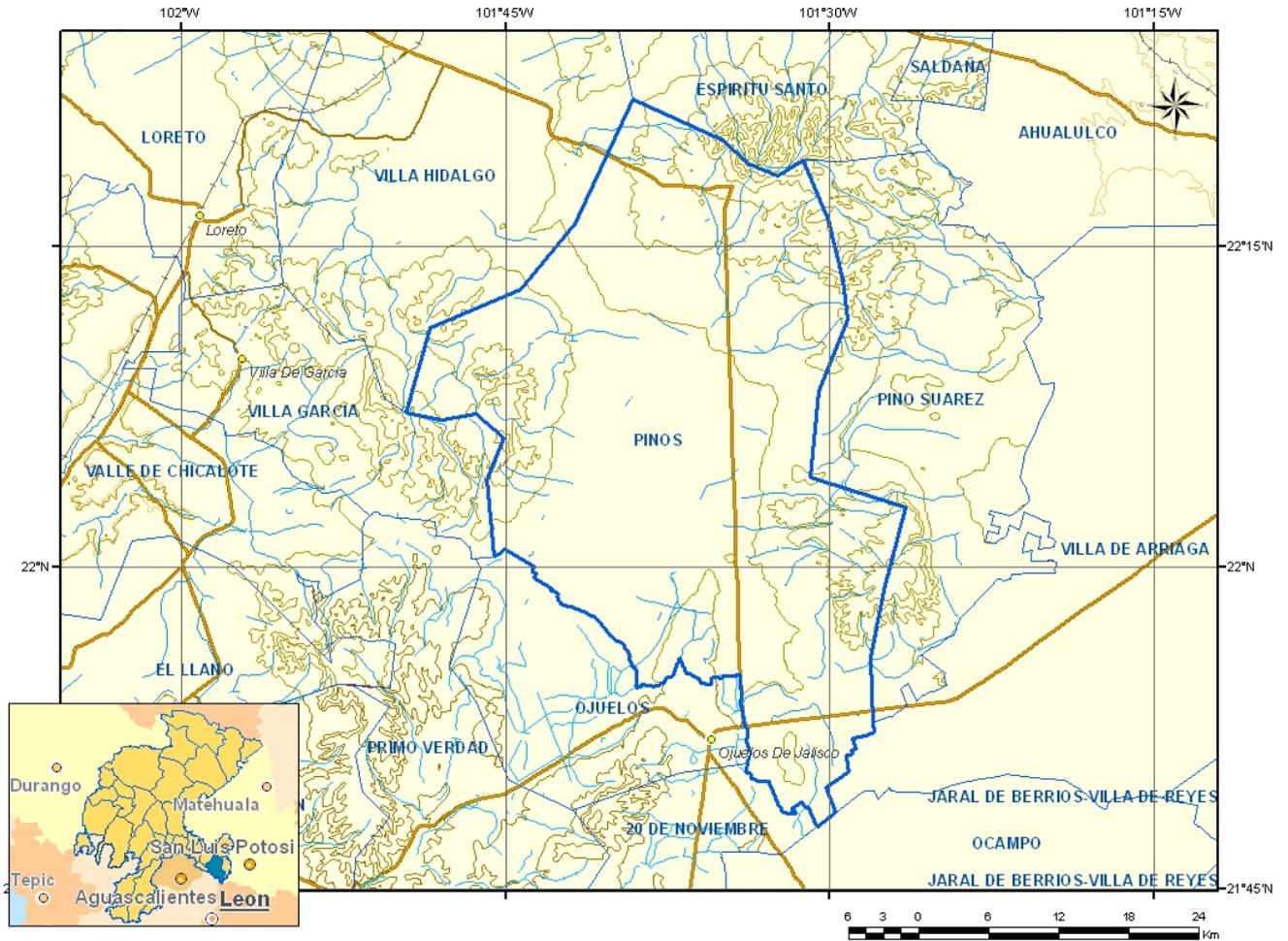


Figura No. 1. Localización del acuífero Pinos

Colinda al norte con el acuífero Espíritu Santo, al oriente con el acuífero Pino Suárez, al Sur con el estado de Jalisco, y al poniente con los acuíferos Villa Hidalgo y Villa García. La poligonal simplificada que delimita el acuífero se encuentra definida por los vértices cuyas coordenadas se muestran en la tabla No. 1.

La vía de comunicación más importante, es una carretera estatal que cruza el área de norte a sur, ésta parte del entronque con la Carretera Federal No 49, pasa por la Cabecera Municipal de Pinos, y prosigue hasta la población de ojuelos, en el estado de Jalisco. Otra vía de importancia, ubicada en la porción suroeste de la zona, es la carretera que inicia en la cabecera municipal de Pinos, se orienta en dirección E – W, pasando por Villa Hidalgo, comunicando finalmente esta región con la Ciudad de Zacatecas. Existen además, caminos vecinales y brechas, cuya circulación solo se ve afectada ocasionalmente en tiempo de lluvias.

Entre las poblaciones importantes que se ubican en el área, destaca la Cabecera Municipal de Pinos, otras poblaciones con menor número de habitantes son: La Victoria, el Obraje y El Nigromante. La economía de la región se basa principalmente en la agricultura de temporal, seguida por la cría de ganado caprino y vacuno y en menor proporción el comercio; son pocas

las personas que regularmente perciben algún sueldo, es por esta situación, que habitantes del área se han visto obligados a emigrar en busca de mejores oportunidades.

ACUIFERO 3231 PINOS

VERTICE	LONGITUD OESTE			LATITUD NORTE			OBSERVACIONES
	GRADOS	MINUTOS	SEGUNDOS	GRADOS	MINUTOS	SEGUNDOS	
1	101	45	5.2	22	6	2.7	
2	101	46	22.9	22	7	8.9	
3	101	47	57.1	22	6	52.1	
4	101	49	36.4	22	7	13.3	
5	101	48	30.9	22	11	11.1	
6	101	44	20.9	22	12	58.6	
7	101	41	47.7	22	16	2.6	
8	101	39	8.7	22	21	51.6	
9	101	35	1.1	22	19	56.1	
10	101	33	45.8	22	18	48.1	
11	101	32	25.5	22	18	16.7	
12	101	31	17.6	22	19	0.3	
13	101	30	7.7	22	16	13.6	
14	101	29	25.5	22	13	26.3	
15	101	29	13.9	22	11	32.8	
16	101	30	33.3	22	8	14.2	
17	101	30	55.7	22	4	13.3	
18	101	26	32.3	22	2	48.9	
19	101	27	32.0	21	58	57.5	
20	101	28	8.4	21	55	46.8	
21	101	28	0.7	21	52	45.2	DEL 21 AL 22 POR EL LIMITE ESTATAL
22	101	29	45.5	21	48	34.5	DEL 22 AL 23 POR EL LIMITE ESTATAL
23	101	30	35.8	21	47	56.4	DEL 23 AL 24 POR EL LIMITE ESTATAL
24	101	33	50.1	21	50	53.7	DEL 24 AL 25 POR EL LIMITE ESTATAL
25	101	45	33.3	22	0	30.4	
26	101	45	52.5	22	4	6.3	
1	101	45	5.2	22	6	2.7	

Tabla No. 1 Coordenadas de la Poligonal simplificada del acuífero Pinos

1.2 Situación Administrativa del Acuífero

El acuífero Pinos se ubica dentro del perímetro que abarca el decreto de veda “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, donde se ubica el acuífero, se ubica en la Zona de Disponibilidad 7.

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 31 de mayo del 2006).

2. ESTUDIOS TÉCNICOS REALIZADOS CON ANTERIORIDAD.

Los trabajos de carácter hidrogeológico realizados en la zona son los siguientes:

- *Estudio Hidrogeológico Preliminar de la Cuenca de Pinos, Municipio de Pinos, Zac., (S.A.R.H, 1978).*

El estudio comprendió una superficie total de 1297 km², fue elaborado con el fin de determinar zonas de interés geohidrológico para la explotación de los recursos hidráulicos del subsuelo, y determinar los parámetros geohidrológicos que rigen el funcionamiento del acuífero.

Las actividades consistieron en la verificación en campo de la geología, contactos y estructuras existentes, inventario de obras subterráneas, toma de muestras de agua para su análisis fisicoquímico, realización de pruebas de bombeo, clasificación y calidad de las aguas subterráneas, así como la determinación de unidades hidrológicas. Los resultados del estudio concluyen la existencia de dos acuíferos, uno superior muy superficial, y otro profundo. Con respecto a las recomendaciones se citan algunas áreas específicas del acuífero para la perforación de pozos. Los trabajos no contemplaron la realización del balance hidráulico subterráneo, únicamente se presenta un cálculo del volumen infiltrado al acuífero, este fue estimado en 49.7 hm³/año.

- *“Servicios de prospección y levantamientos geológicos y geofísicos en la región de Pinos, en el Estado de Zacatecas”. (SARH, 1981).*

Este comprendió una superficie aproximada de 5000 km², incluyendo a los acuíferos Pinos, Espíritu Santo, Pino Suárez y Saldaña, todos ellos en el estado de Zacatecas; cubriendo, como se puede ver, la zona de nuestro interés. 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 temas referentes a generalidades, aprovechamientos hidráulicos subterráneos, geología, hidrogeoquímica, geofísica, geohidrología. Concluye la existencia de un acuífero principal, ubicado en los materiales clásticos del cuaternario, conformados por conglomerados poco cementados y rellenos aluviales. 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 Mesa Central (E. Raisz 1964), la cual se caracteriza por presentar diferentes paisajes topográficos de los cuales destacan las

sierras altas con mesetas lávicas, llanuras aluviales y valles, formando parte de la Subprovincia Llanos de Ojuelos – Aguascalientes.

En la zona de interés, el rasgo fisiográfico que predomina es un llano de piso rocoso, donde se acumularon depósitos aluviales, lacustres y tobas de granulometría variable, este llano se encuentra delimitado en su porción occidental por mesetas extensas, en la parte norte y oriental se observan estas mismas mesetas, presentándose también sierras altas con mesetas bordeadas por lomeríos muy suaves y aislados con bajadas, esculpidos en areniscas con intercalaciones de lutitas. Las mesetas están formadas por coladas riolíticas, ignimbritas y tobas arenosas.

El llano de piso rocoso, presenta elevaciones medias del orden de los 2100 msnm. Las zonas montañosas son aisladas y están constituidas por rocas metamórficas de edad Triásica y rocas ígneas intrusivas y extrusivas de edad Terciaria, que alcanzan elevaciones máximas de 2900 msnm.

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.

En la zona se registra una precipitación media anual de 416.7 mm, la temporada de lluvias tiene lugar en los meses de julio a septiembre. La temperatura media anual es de 16.1 °C, se tiene una temperatura máxima promedio de 19.1 °C y una mínima promedio de 12.6 °C para el periodo de observación; los meses más calurosos son mayo y junio, mientras que los más fríos son diciembre y enero. La evaporación media anual estimada es del orden de 1489 mm. (CNA 1961-2000)

3.3. Hidrografía

El área es una cuenca cerrada de forma alargada con orientación Norte-Sur, que comprende parte de los Estados de Zacatecas y Jalisco; 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, los arroyos son de régimen torrencial y solo llevan agua durante la época de lluvias, la mayoría de los arroyos que bajan de los lomeríos y sierras, por lo general desaparecen en la llanura, en esta, se observan arroyos aislados de cauce divagante, destacando los arroyos El Varillal, Estancia Saucedo, San Juan, ubicados en la porción Norte; y Aparicio, Las Tapias y La Escondida en la parte Sureste.

Debido al carácter endorreico de la cuenca, los escurrimientos superficiales son conducidos hacia las partes topográficamente mas bajas, por lo que el drenaje es hacia el centro de la cuenca, para continuar en forma no muy definida hacia la parte sur de la zona de estudio, en los límites de Zacatecas y Jalisco. En época de lluvias se forman en el llano un gran número de lagunas, las de mayor importancia son: Navarro y La Larga, localizadas en la parte noroeste; y La Joyita en la porción central.

Existe poca infraestructura hidráulica para el aprovechamiento del agua superficial, está representada por presas de reducida capacidad (Tabla No.2), pero de gran importancia para la zona, destacando entre las siguientes:

Nombre	Municipio	Capacidad Almacenamiento (Mm ³)	Corriente aprovechada	Beneficio (Has.)
El Nigromante	Pinos	0.9	A. Providencia	72
La Pompeya	Pinos	1.0	A. El Arenal	-
	Total	1.9		

Tabla No. 2 Principales aprovechamientos hidráulicos superficiales de la zona

Otras presas de menor capacidad son: San Pablo, La Presa Nueva, Las Tapias y Las Aletas. Además existen numerosos bordos y tanques que representan pequeños almacenamientos de aguas superficiales.

3.4 Geomorfología

El desarrollo del ciclo geomorfológico de la región, es el resultado de una serie de eventos tectónicos que modelaron el área, levantando primero el relieve al manifestarse los efectos de los diferentes eventos orogénicos; y posteriormente degradada bajo los efectos de los agentes erosivos, hasta llegar a conformar el aspecto actual, mismo que se caracteriza por un paisaje de cuencas cerradas, producto de la fragmentación en bloques del terreno después de la Orogenia Laramide, que posteriormente fueron rellenadas por material clástico en los diferentes intervalos comprendidos 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, la cual está alargada en dirección Norte – Sur, presenta una longitud aproximada de 50 km y un ancho medio de 15 km; esta sierra delimita al acuífero Pinos en su porción oriental. 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

En el área afloran rocas sedimentarias e ígneas extrusivas. Las sedimentarias son de edad Cretácica y corresponden a las formaciones Cuesta del Cura, Indidura y Caracol, las cuales están constituidas por calizas de color gris claro con estratificación delgada que eventualmente se encuentran intercaladas con lutitas calcáreas y lentes de pedernal negro, calizas arcillosas intercaladas con lutitas calcáreas carbonosas; areniscas en capas delgadas o medianas y algunos horizontes de calizas arcillosas y calcarenitas. El paquete sedimentario está intrusionado por diques andesíticos y riolíticos. Sobreyace a esta secuencia un potente paquete de derrames de lavas e ignimbritas de composición riolítica (Figura No. 2).

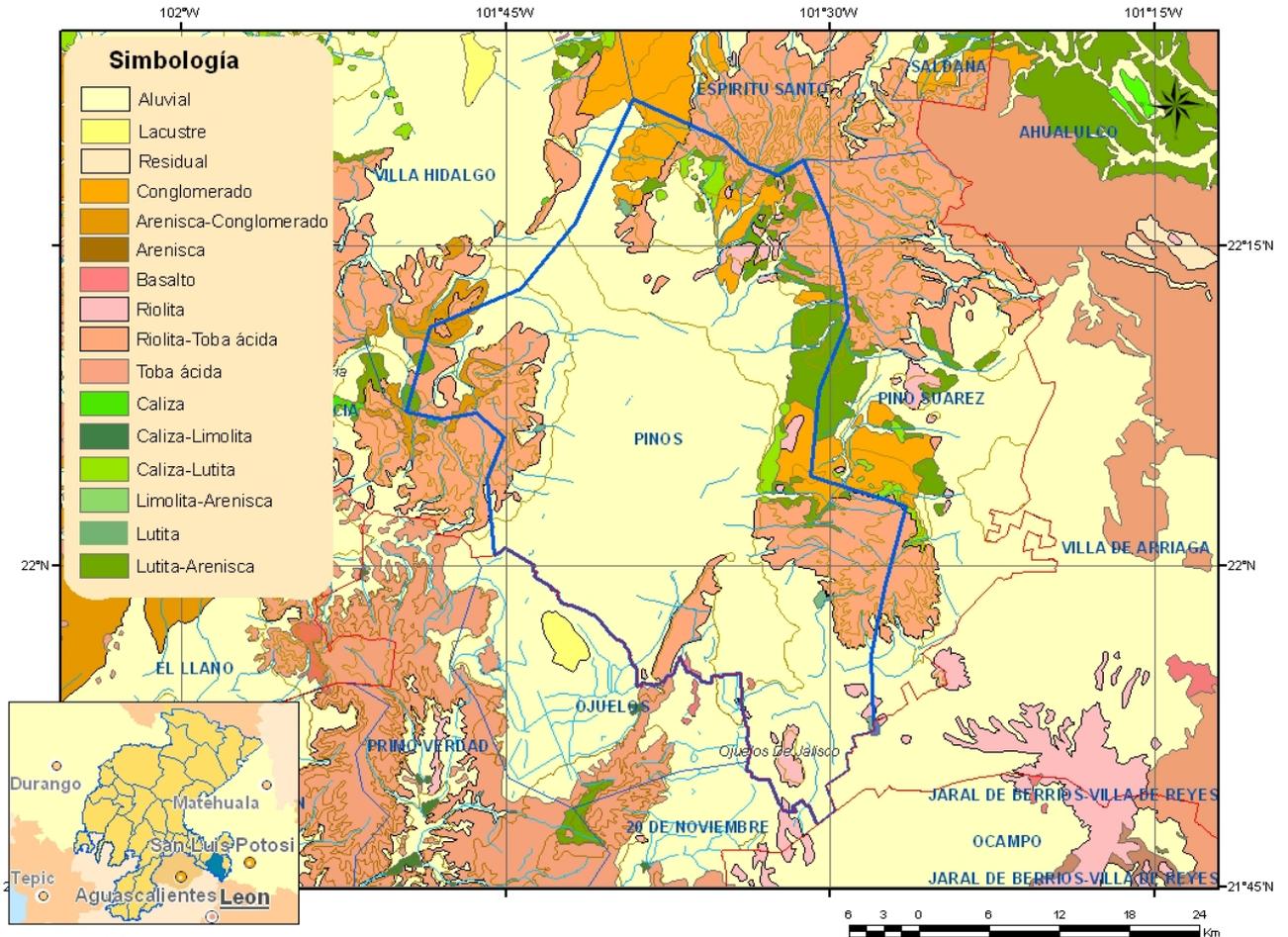


Figura No. 2. Geología del acuífero Pinos

4.1 Estratigrafía

El registro estratigráfico comprende del Cretácico al Reciente y está conformado por rocas, ígneas y sedimentarias. A continuación se describe la columna estratigráfica, tomada del estudio de 1978, de la unidad más antigua a la más reciente.

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 suaves pendientes, se presenta por lo general en el núcleo de los pegamientos observados.

Se encuentra formada por calizas de color gris oscuro, por intemperismo adquiere un color gris claro a amarillento, de estratificación delgada, de 10 a 20 cm de espesor. Se observan interestratificaciones de caliza arcillosa y en ocasiones de lutitas calcáreas, con 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 a la Formación Indidura, en forma

concordante. 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 infranérica.

Formación Indidura

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.

Está constituida por calizas de color gris claro, que por intemperismo adquieren un color gris claro parduzco, su estructura es criptocrystalina, de naturaleza arcillosa, posee estratificación delgada con interestratificaciones de lutita y lentes de pedernal negro.

El espesor de esta formación no se pudo determinar pero se estima que puede superar los 100 m. En los recorridos realizados, no se encontraron fósiles que sirvieran para datarla, 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 Cretácicas que afloran en la Unidad Hidrogeológica de Pinos, las de esta formación son las más abundantes. Se encuentran aflorando en la parte norte y este, en menor proporción las tenemos al oeste, se le encuentra en el llano parcialmente cubierta y en las sierras se observa 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 a los derrames terciarios en discordancia angular.

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. Así 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 derrames y tobas de composición riolítica, producto de la intensa actividad volcánica que existió durante el Mioceno – Plioceno en la porción noroccidental de México.

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, constituida por fragmentos de cuarzo, riolita y algo de piedra pómez, en matriz de cenizas y lapilli, la cual, por intemperismo se ha alterado a arcillas. Se encuentra subyaciendo a los derrames riolíticos, pero se pueden presentar alternancia 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, formando también mesetas con bordes escarpados. Son de color rojizo o rojo violáceo que intemperizan a pardo rojizo. 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

Está constituido en forma general por sedimentos poco consolidados, los cuales cubren el 70% del área de estudio.

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 de riolitas, cuyo diámetro varía de 5 a 50 cm, predominando los de 5 a 10 cm, en matriz arcillo – arenosa, moderadamente cementada, poseen mala clasificación. 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 en general de color gris oscuro, con algo de grava, su espesor no sobrepasa los 20 m.

4.2 Geología Estructural

La zona de estudio se encuentra afectada por dos fenómenos estructurales que la controlan y limitan, ellos son: 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 norte y este de la zona, se observa a las rocas sedimentarias afectadas por plegamientos, originados por los esfuerzos generados por la Revolución 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 la estratificación delgada y la presencia de lutitas, lo que da a esta formación 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, son acompañados por fallas y fracturas, las cuales liberan parte de la energía generada por los esfuerzos compresionales; una vez que estos dejan de actuar, tiene lugar una tectónica de relajamiento en la cual las rocas sufren un reacomodo en bloques.

El sistema principal de fracturamiento sigue un rumbo preferente al NNE , una inclinación general de 70° al NW y tiene control sobre las sierras que limitan a la cuenca en su parte oriente y poniente, observándose al sureste de ella una falla cuyo rumbo es N 37° E y su inclinación 81° al NW. En la porción occidental, y aunque no se detectó la traza de falla alguna, se infiere su presencia por el alineamiento de la sierra así como por la presencia de agua termal (30 °C) en los pozos construidos en el Potrero La Pirulada.

Se tiene otro sistema cuyo rumbo general es E – W, que se observa a la altura de los ranchos San José de Bernalejo y La Jaulilla, compuesto por dos fallas que limitan la presencia de los derrames riolíticos.

En la parte oeste se infiere el paso de otra falla de este sistema, la cual seccionó en forma transversal a la sierra localizada en ella, la traza se encontraría aproximadamente en la zona que limita al estado de Zacatecas y Jalisco, a la altura de la comunidad Ojo de Agua de la Palma. En suma, la cuenca en que se depositó el material cuaternario, se encuentra limitado al oriente, sur y poniente, por fallamiento de tipo normal.

4.3 Geología del Subsuelo

Las exploraciones geofísicas realizadas en el área, se llevaron a cabo durante el estudio elaborado en el año 1981, denominado “*Servicios de prospección geofísica y levantamientos geológicos y geofísicos en la región Pinos, Zacatecas*”. El programa de exploración indirecta comprendió 84 sondeos eléctricos verticales (SEV), con los cuales se construyeron 6 secciones.

En el acuífero Pinos se realizaron un total de 27 sondeos eléctricos verticales (SEV), distribuidos en dos secciones geofísicas. La sección 1 formada por 17 sondeos eléctricos verticales, tiene una orientación oeste – este, su longitud es de 25 km y va del poblado El Nigromante, hasta las cercanías de la localidad El Mezquite. La sección 2 está formada por 10 sondeos eléctricos verticales, fue trazada desde el poblado La Trinidad de Buenavista, finalizando en la comunidad Jaula de Arriba y tiene una longitud de 17 km.

Además de los estudios geofísicos realizados, 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 593 km², que representa el 41 % respecto al área total de la unidad hidrogeológica.

La exploración geoelectrónica en la región, que alcanzó los 700 m de profundidad, arroja la existencia de seis unidades, las tres superiores son materiales granulares, y las restantes corresponden a materiales compactos:

- La capa superficial está compuesta por materiales finos y gruesos, alterados y drenados, se presentan capas de caliche que forman una barrera impermeable a la infiltración de agua.
- La unidad superior que corresponde a los primeros 50 m, carece de interés geohidrológico, pues son materiales que se encuentran drenados y alterados.
- La unidad 3, formada por conglomerados, es la que presenta mejores posibilidades para el almacenamiento del agua subterránea.
- La unidad 4, la forman tobas de variable composición y que presentan de media a baja permeabilidad.
- La unidad 5 puede ser interpretada como un conglomerado o bien a un paquete arcillo – calcáreo de alguna de las formaciones del Cretácico, considerados de baja permeabilidad.
- La unidad 6, su espesor no fue posible determinarlo, sin embargo, de acuerdo a cortes litológicos esta unidad se localiza a profundidades superiores a los 100 m. Su permeabilidad es variable dependiendo del fracturamiento que presente.

5. HIDROGEOLOGÍA

5.1 Tipo de Acuífero

En la Unidad Hidrogeológica Pinos, se observa en general la existencia de dos acuíferos: uno superficial alojado en depósitos granulares, el otro profundo contenido en rocas fracturadas.

El acuífero granular está contenido en sedimentos continentales poco consolidados tales como depósitos aluviales, lacustres y de talud. La distribución de tales materiales, está en función de

su tamaño, de esta manera, se encuentran los más gruesos cercanos a las sierras, constituyendo el pie de monte y que llegan a constituir conglomerados. Los sedimentos finos generalmente se encuentran en la parte central de la cuenca y cercanos a los afloramientos de rocas sedimentarias.

El carácter endorreico de la cuenca propicia que en las partes topográficas bajas, se tengan principalmente sedimentos del tamaño de la arcilla y limos, por lo que se espera una baja transmisividad en dichas zonas. El espesor de estos materiales no se ha establecido con certeza, se estima que puede ser mayor de 20 m en la parte media de la cuenca. Este acuífero superficial está siendo aprovechado por un número considerable de norias presentes en la zona, con niveles estáticos que varían de 1 a 5 m de profundidad.

Por otra parte, los pozos en términos generales, explotan un acuífero regional profundo, de tipo libre, cuyos niveles estáticos varían de 30 a 120 m con respecto a la superficie del terreno. Se observa que en las porciones oeste, noroeste y suroeste de la cuenca, se tienen las mejores condiciones de transmisividad de la zona.

El acuífero está formado en su parte inferior por tobas arenosas, lavas e ignimbritas, y en su parte superior por conglomerados; todos estos alojados en una fosa tectónica formada como consecuencia de fallas normales y movimientos de distensión ocurridos en el Oligoceno. El basamento y barreras laterales están constituidos por rocas de edad Cretácica pertenecientes a las formaciones Cuesta del Cura, Indidura y Caracol.

5.2 Parámetros hidráulicos

Durante el estudio del año 1978 se realizaron 2 pruebas de bombeo, en pozos localizados en el Potrero de la Pirulada (Buenavista) y en el Rancho La Pachona, con estas pruebas se obtuvieron valores de transmisividad para el acuífero Pinos. El valor más bajo se presenta en el área de La Pachona, donde se obtuvo una transmisividad del 55.2 m²/día. En la zona de Buenavista el valor obtenido fue del orden de 274 m²/día.

Además de las transmisividad obtenidas en las pruebas de bombeo, se cuenta con 9 valores de caudal específico reportados en el estudio del año 1978, así mismo, se tienen los resultados de 9 aforos realizados en la zona, que fueron recopilados en los últimos años. El valor más alto para el caudal específico se presenta en la porción sureste del acuífero, que corresponde a 22.14 lps/m, obtenido en un pozo ubicado en la comunidad San Bernardo. En el resto de la zona los valores varían de 0.05 a 3.70 lps/m. Estos datos nos dan una idea acerca de la distribución de la transmisividad en el acuífero.

Para el caso del coeficiente de almacenamiento, no existen datos debido a que en las pruebas de bombeo realizadas no se contó con pozos e observación. Atendiendo el tipo y características de los materiales que constituyen el subsuelo de la región, se estima un valor para la zona de Pinos de 0.07, el cual queda dentro del rango considerado 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, contando con lecturas en temporada de lluvias y de estiaje.

5.4 Comportamiento hidráulico

5.4.1 Profundidad al nivel estático

Utilizando las lecturas de profundidad de niveles estáticos correspondientes a septiembre de 2005, se elaboró el plano de isovalores, en el cual se puede observar que en la porción noroeste del acuífero, en las cercanías de la comunidad Pedregoso, se presentan profundidades del orden de 60 a 70 m. Asimismo, profundidades de 40 a 50 m se presentan en los bordes de las sierras y lomeríos que se ubican en la parte oriente y norte de la unidad hidrogeológica.

Los valores más profundos se observan en la porción suroeste del acuífero, en las cercanías de las comunidades Buenavista y Ojo de Agua de la Palma, donde el nivel estático se detecta a profundidades de 100 a 120 m. (Figura No. 3).

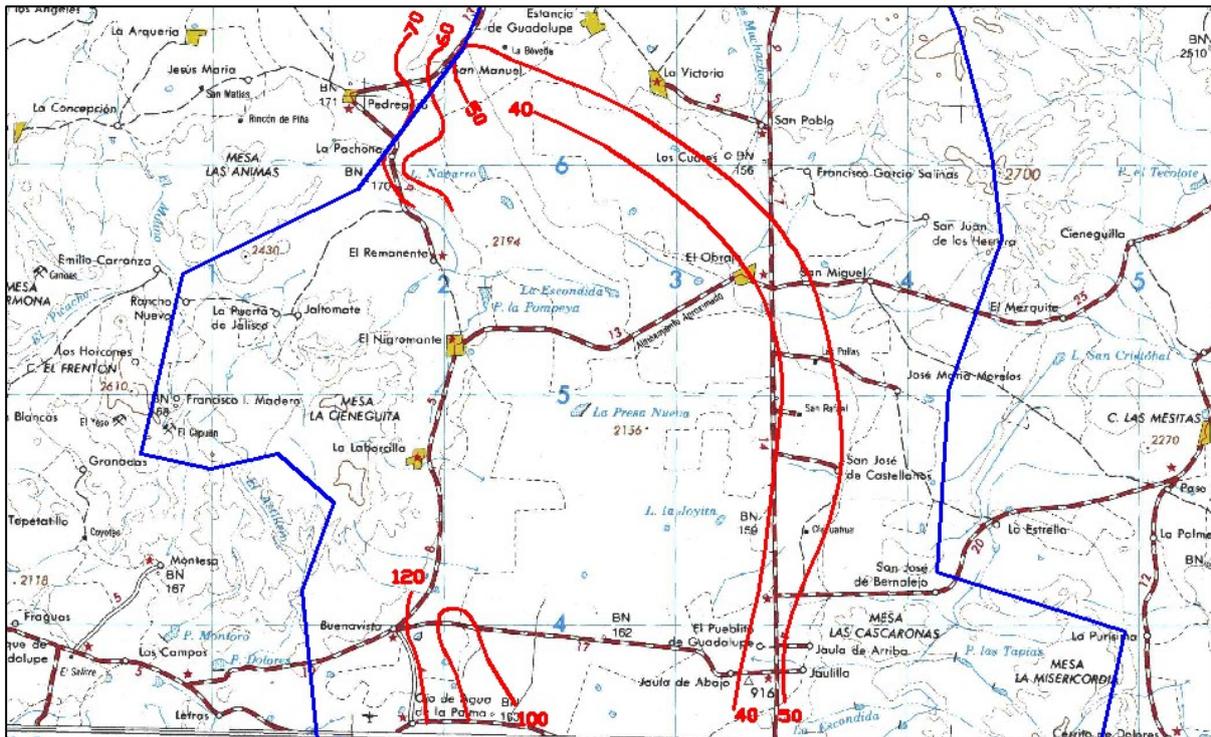


Figura No. 3 Profundidad al nivel estático (septiembre 2005)

5.5 Hidrogeoquímica y calidad del agua subterránea

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.

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 17 de estas muestras, que son las que se encuentran ubicadas dentro del acuífero de Pinos, correspondiendo 5 a pozos y 12 a norias.

De acuerdo con esta información, el agua presenta concentraciones de sólidos totales disueltos que varían de 250 a 800 ppm; el calcio varía de 28 a 116 ppm; el magnesio de 2.41 a 24.31 ppm; el sodio de 0.1 a 5.8 miliequivalentes por litro; los bicarbonatos varían de 122 a 512 ppm; los sulfatos de 9 a 96 ppm; y los cloruros de 3 a 35 ppm.

De acuerdo al diagrama triangular, respecto a los cationes, 7 de estos corresponden a aguas cálcicas, 4 a aguas sódicas y 6 caen en la zona de aguas mixtas; en cuanto a los aniones el total de las muestras se clasificaron como aguas bicarbonatadas.

De la clasificación del agua para uso agrícola, se encontró que 10 de las muestras pertenecen a la clase C2 S1 y las 7 restantes son clase C3 S1, las cuales corresponden 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.

6. CENSO DE APROVECHAMIENTOS E HIDROMETRÍA

El primer censo de aprovechamientos realizado en la zona se llevó a cabo durante el estudio hidrogeológico preliminar del año 1978, en el cual se inventariaron 64 aprovechamientos, de los cuales 32 son pozos profundos, 28 norias y 4 manantiales. La mayor parte de estas obras son con fines agrícolas, y en menor proporción para suministro de agua potable. Posteriormente, durante el estudio del año 1981 se actualizó este inventario, 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 junio y agosto del 2005. La actualización del inventario de aprovechamientos hidráulicos subterráneos, reveló la existencia de un total de 319 obras, de estas, atendiendo su uso, 53 son destinadas a la agricultura, 212 son para abastecimiento de agua potable, 45 son de uso doméstico, 8 pecuarias y 1 es utilizada con fines de servicios.

En conjunto, estas obras extraen un volumen anual de 13, 320,792 m³/año, del cual 10, 675,770 m³/año es utilizado para uso agrícola; 2, 616,507 m³/año en agua potable; 23,120 m³/año para uso doméstico; 4,481 m³/año pecuarios y los 914 m³/año restantes se utilizan con fines de servicios.

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 aplicó 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 proveniente del acuífero Pinos (Tabla No. 3).

Uso	Número de obras	Volumen (m ³ /año)	Porcentaje (%)
Agrícola	53	10,675,770	80.14
Público Urbano	212	2,616,507	19.64
Domestico	45	23,120	0.17
Pecuario	8	4,481	0.03
Servicios	1	914	0.01
Total	319	13,320,792	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:

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

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

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

Donde:

- Eh:** Recarga por flujo horizontal
- Rv:** Infiltración por lluvia
- Ir:** Retornos de riego

- Sh:** Salidas por flujo horizontal
- Dm:** Descargas por manantiales
- 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 593 km² que representa el 41 % respecto al área total de la unidad hidrogeológica. El balance planteado comprende un periodo de 1981 a 2005, con esta información se trazó la red de flujo y área de balance. Los valores obtenidos fueron promediados para un año.

7.1 ENTRADAS

La recarga total (R_t) que recibe el acuífero Pinos está integrada básicamente por las entradas subterráneas, la recarga vertical por lluvia, y por los excedentes del riego en la zona agrícola

7.1.1 Recarga natural

Esta recarga está constituida por la infiltración de una parte del agua precipitada en el área de la llanura y de la recarga por flujo horizontal subterráneo que se presenta a través de las zonas que bordean las sierras y lomeríos.

Recarga vertical (R_v).

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

7.1.2. Entradas subterráneas horizontales (E_h)

Una fracción del volumen de lluvia 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 la llanura.

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 del nivel estático para septiembre de 2005 (Figura 5), 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

7.1.3. Infiltración por retornos 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:

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

Donde:

Ir: Infiltración por riego

vol. r: Volumen de agua aplicado al riego

Cr: Coeficiente de infiltración en la parcela (para este caso se consideró un valor del 12 %)

Sustituyendo valores:

$$I_r = 10.675 * 0.12$$

$$I_r = 1.2 \text{ hm}^3/\text{año} \text{ (Millones de metros cúbicos anuales).}$$

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 sur del acuífero, fuera del área de balance. 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.

7.2.1 Bombeo (B)

El volumen extraído del acuífero a través del bombeo, ya fue analizado en el apartado de hidrometría, el cual resultó ser de **13.3 hm³/año** (Millones de metros cúbicos anuales).

7.2.2 Salidas subterráneas (Sh)

Las salidas subterráneas que ocurren hacia la porción sur 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 del nivel estático presentado en la figura No. 5. El valor obtenido en 5 celdas de salida es de **4.7 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	2,040	2,030	10	1,150	0.008696	4,000	0.99	34.43	1.08
2	2,040	2,030	10	1,300	0.007692	3,700	0.99	28.18	0.90
3	2,040	2,030	10	1,500	0.006667	4,000	0.99	26.41	0.83
4	2,040	2,030	10	1,100	0.009091	3,350	0.99	30.16	0.95
5	2,040	2,030	10	1,050	0.009524	3,200	0.99	30.18	0.95
							TOTAL	149.36	4.71

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 el intervalo de tiempo que comprende los años de 1981 a 2005, y con ella se realizó la configuración de curvas de igual evolución del nivel estático, determinando 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

Con el cálculo realizado se determinó que la variación de los niveles piezométricos es poco significativa, algunos valores negativos que se presentan son puntuales y por lo tanto despreciables, por lo que se deduce que el cambio de almacenamiento tiende a cero, esto quiere decir, que el volumen bombeado es a costa de la recarga que recibe la unidad hidrogeológica

$$CVA = 0.0$$

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:

$$R_v = Sh + B - Eh - I_r - CVA$$

Sustituyendo valores:

$$R_v = 4.7 + 13.3 - 5.6 - 1.2 - 0.0$$

$$RV = 11.2 \text{ hm}^3/\text{año} \text{ (Millones de metros cúbicos anuales).}$$

Sustituyendo valores en la ecuación general de balance:

$$Eh + I_p + I_r - Sh - B = CVA$$

$$5.6 + 11.2 + 1.2 - 4.7 - 13.3 = 0.0$$

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

$$18.0 - 18.0 = 0.0 \text{ hm}^3/\text{año} \text{ (Millones de metros cúbicos anuales).}$$

De los resultados antes expuestos, se desprende que el acuífero Pinos se encuentra en condición de subexplotación, puesto que actualmente, la recarga que recibe el acuífero es del orden de $18.0 \text{ hm}^3/\text{año}$, en tanto que el volumen extraído por bombeo asciende a $13.3 \text{ hm}^3/\text{año}$ (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:

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

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.

8.1 RECARGA TOTAL MEDIA ANUAL

La recarga total media anual que recibe el acuífero (Rt), corresponde con la suma de todos los volúmenes que ingresan al acuífero, tanto en forma de recarga natural como inducida. Para este caso, su valor es de **18.0 hm³/año** (Millones de metros cúbicos anuales), de los cuales 16.8 corresponden a recarga natural y los 1.2 restantes a recarga inducida.

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 sur de la unidad hidrogeológica, fuera del área de balance, sin embargo este volumen queda dentro del mismo acuífero de Pinos. De esta manera se considera que **no existen descargas naturales comprometidas**.

8.3 RENDIMIENTO PERMANENTE

El rendimiento permanente es la recarga total media anual menos la descarga natural comprometida. Por lo tanto, para el caso del acuífero Pinos el rendimiento permanente es igual a la recarga total, que equivale a **18.0 hm³/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 (REPGA), de la Subdirección General de Administración del Agua, con fecha de corte al **31 de mayo de 2005 es de 10'283,043 m³/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 REPGA, que en el caso del acuífero Pinos, el resultado es el siguiente:

Disponibilidad media anual de agua subterránea en una Unidad Hidrogeológica (hm ³ /año)	=	Recarga total media anual	-	Descarga natural comprometida	-	Volumen anual de agua subterránea concesionado e inscrito en el REPGA
7.716957	=	18.0	-	0.0	-	10.283043

El resultado indica que existe actualmente un volumen de **7'716,957 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) "Estudio Hidrogeológico Preliminar de la Cuenca de Pinos, Municipio de Pinos, Zac.", 1978.

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.