

***Actualización de la disponibilidad media anual
de agua en el acuífero Sain Alto (3216), 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.**

CDIV		REGIÓN HIDROLÓGICO-ADMINISTRATIVA "CUENCAS CENTRALES DEL NORTE"					
CLAVE	ACUÍFERO	R	DNCOM	VCAS	VEXTET	DAS	DÉFICIT
CIFRAS EN MILLONES DE METROS CÚBICOS ANUALES							
ESTADO DE ZACATECAS							
3216	SAIN ALTO	17.2	3.9	11.785682	10.8	1.514318	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.

ACUIFERO 3216 SAIN ALTO

VERTICE	LONGITUD OESTE			LATITUD NORTE		
	GRADOS	MINUTOS	SEGUNDOS	GRADOS	MINUTOS	SEGUNDOS
1	103	11	31.1	23	36	44.9
2	103	10	5.2	23	33	14.5
3	103	10	7.7	23	27	5.7
4	103	13	8.3	23	25	49.6
5	103	16	4.9	23	27	2.6
6	103	18	6.8	23	26	23.3
7	103	28	8.0	23	29	11.5
8	103	29	43.0	23	32	1.0
9	103	32	17.3	23	37	34.8
10	103	35	3.3	23	40	47.6
11	103	34	38.8	23	42	56.5
12	103	32	14.3	23	47	22.9
13	103	27	58.7	23	48	19.9
14	103	26	28.5	23	47	4.6
15	103	22	20.7	23	43	21.9
16	103	19	13.4	23	40	54.7
17	103	13	13.4	23	38	50.2
1	103	11	31.1	23	36	44.9



SUBDIRECCIÓN GENERAL TÉCNICA

DETERMINACIÓN DE LA DISPONIBILIDAD DE AGUA SUBTERRÁNEA EN EL ACUÍFERO SAÍN ALTO, ESTADO DE ZACATECAS

DICIEMBRE, 2003

GERENCIA DE AGUAS SUBTERRÁNEAS

DETERMINACIÓN DE LA DISPONIBILIDAD DE AGUA SUBTERRÁNEA EN EL ACUÍFERO SAÍN ALTO, ESTADO DE ZACATECAS (3216)

CONTENIDO

		Página
1.	GENERALIDADES.....	1
1.1.	Localización.....	1
1.1.1	Coordenadas.....	1
1.1.2	Municipios.....	2
1.1.3	Población.....	2
1.2	Situación administrativa del acuífero.....	2
2	ESTUDIOS TÉCNICOS REALIZADOS CON ANTERIORIDAD.....	2
3	FISIOGRAFÍA.....	5
3.1	Provincia fisiográfica.....	5
3.2	Clima.....	5
3.2.1	Temperatura media anual.....	6
3.2.2	Precipitación media anual.....	6
3.2.3	Evaporación potencial media anual.....	6
3.3	Hidrografía.....	6
3.3.1	Región hidrológica.....	7
3.3.2	Subregión.....	7
3.3.3	Cuenca.....	7
3.3.4	Subcuenca.....	8
3.3.5	Infraestructura hidráulica.....	8
3.4	Geomorfología.....	8
4	GEOLOGÍA.....	9
4.1	Estratigrafía.....	9
4.2	Geología estructural.....	12
4.3	Geología del subsuelo.....	12
5	HIDROGEOLOGÍA.....	14
5.1	Tipo de acuífero.....	14
5.2	Parámetros hidráulicos.....	14
5.3	Piezometría.....	15
5.4	Comportamiento hidráulico.....	15
5.4.1	Profundidad al nivel estático.....	15
5.4.2	Elevación del nivel estático.....	15
5.4.3	Evolución del nivel estático.....	17
5.5	Hidrogeoquímica y calidad del agua subterránea.....	17
6	CENSO DE APROVECHAMIENTOS E HIDROMETRÍA....	19
7	BALANCE DE AGUAS SUBTERRÁNEAS.....	19
7.1	Entradas.....	20

7.1.1	Recarga natural.....	20
7.1.2	Recarga inducida.....	20
7.1.3	Flujo subterráneo horizontal.....	20
7.2	Salidas	21
7.2.1	Evapotranspiración.....	21
7.2.2	Descarga natural.....	22
7.2.3	Bombeo.....	22
7.2.4	Flujo subterráneo horizontal.....	22
7.3	Cambio de almacenamiento.....	23
8	DISPONIBILIDAD.....	24
8.1	Recarga total media anual.....	24
8.2	Descarga natural comprometida.....	24
8.3	Rendimiento permanente.....	24
8.4	Volumen concesionado de aguas subterráneas.....	24
8.5	Disponibilidad de aguas subterráneas.....	24
9	BIBLIOGRAFÍA Y REFERENCIAS.....	25

DETERMINACIÓN DE LA DISPONIBILIDAD DE AGUA SUBTERRÁNEA EN EL ACUÍFERO SAÍN ALTO, ESTADO DE ZACATECAS (3216)

1. GENERALIDADES

1.1 LOCALIZACIÓN

1.1.1 Coordenadas

El acuífero “Saín Alto”, quedó designado con la clave 3216 en el documento⁽¹⁾ publicado el 5 de diciembre de 2001 en el Diario Oficial de la Federación. Se localiza en la parte noreste del estado de Zacatecas, como se muestra en la Figura 1, cubre una superficie de aproximadamente 1 252 km², delimitados por las coordenadas que se presentan en la Tabla 1.

Tabla No. 1 Coordenadas que definen el área que cubre el acuífero “Saín Alto”

VÉRTICE	LONGITUD OESTE			LATITUD NORTE		
	GRADOS	MINUTOS	SEGUNDOS	GRADOS	MINUTOS	SEGUNDOS
1	103	10	44.4	23	39	50.4
2	103	14	34.8	23	37	26.4
3	103	11	56.4	23	32	38.4
4	103	3	43.2	23	31	55.2
5	103	6	10.8	23	25	22.8
6	103	13	8.4	23	25	40.8
7	103	16	37.2	23	25	40.8
8	103	23	31.2	23	29	49.2
9	103	28	8.4	23	29	13.2
10	103	29	42.0	23	31	4.8
11	103	29	13.2	23	31	44.4
12	103	30	18.0	23	36	36.0
13	103	34	44.4	23	39	32.4
14	103	34	37.2	23	42	57.6
15	103	32	13.2	23	47	24.0
16	103	27	57.6	23	48	21.6
17	103	25	4.8	23	44	2.4
18	103	21	43.2	23	40	55.2
19	103	19	55.2	23	40	8.4
20	103	15	18.0	23	39	50.4
21	103	11	38.4	23	43	26.4
22	103	9	18.0	23	44	24.0
1	103	10	44.4	23	39	50.4

¹ DOF. 5 de diciembre de 2001. ACUERDO por el que se establece y da a conocer al público en general la denominación única de los acuíferos reconocidos en el territorio de los Estados Unidos Mexicanos, por la Comisión Nacional del Agua, y la homologación de los nombres de los acuíferos que fueron utilizados para la emisión de los títulos de concesión, asignación o permisos otorgados por este órgano desconcentrado.

1.1.2 Municipios

Dentro de los límites del acuífero Saín Alto están comprendidos parcialmente los municipios de Saín Alto y Sombrerete, estado de Zacatecas, mismos que se muestran en la Figura 2.

1.1.3 Población

Entre las poblaciones que se localizan dentro del municipio de Saín Alto y comprendidas en la zona de estudio se encuentran: Saín Alto, Cantina, Emiliano Zapata, El Fresno y Francisco I. Madero. Respecto al municipio de Sombrerete entre las poblaciones más importantes y localizadas en el área de estudio se encuentran: San José de Montecillos, Santa Elena, Santa Anita, Felipe Carrillo Puerto, Emiliano Zapata, Ignacio Zaragoza y Ricardo Flores Magón.

De acuerdo a los datos del censo de población del año 2000 y publicado por el INEGI, en los municipios identificados dentro de los límites del acuífero Saín Alto, existe una población de 41 663, de los cuales 31 065 pertenecen al municipio de Sombrerete y 10 598 al de Saín Alto.

1.2 SITUACIÓN ADMINISTRATIVA DEL ACUÍFERO

No se encontró ningún decreto que establezca algún tipo de veda de alumbramiento de aguas del subsuelo en los municipios que forman parte del acuífero Saín Alto, Zac.

El acuífero de Saín Alto queda comprendido dentro de la Región Administrativa VII Cuencas Centrales del Norte; asimismo forma parte del *Consejo de Cuenca Nazas-Aguanaval*, instalado el 1 de diciembre de 1998, y no cuenta con un Comité Técnico de Aguas subterráneas, COTAS (situación al 26 de noviembre de 2002).

2 ESTUDIOS TÉCNICOS REALIZADOS CON ANTERIORIDAD

En el periodo comprendido entre la década de los años 70'S y el año 2000, en el área que ocupa el acuífero Saín Alto, se han realizado estudios técnicos de carácter hidrogeológico con el fin de caracterizar y entender el sistema acuífero, a continuación se enumeran los estudios disponibles de este acuífero:

SARH 1981. SERVICIOS DE PROSPECCIÓN Y LEVANTAMIENTOS GEOLÓGICOS Y GEOFÍSICOS EN LA ZONA SAÍN ALTO, ZACATECAS. CONTRATO GZA 81-31-ED. REALIZADO POR TÉCNICOS, ASESORES Y CONSTRUCTORES, S.A.

Durante la realización de este estudio se llevó a cabo un inventario de aprovechamientos de agua subterránea, de 39 pozos, 57 norias y 20 manantiales. Las características hidrogeoquímicas indican que las aguas subterráneas son bicarbonatadas cálcicas y apropiadas para cualquier uso.

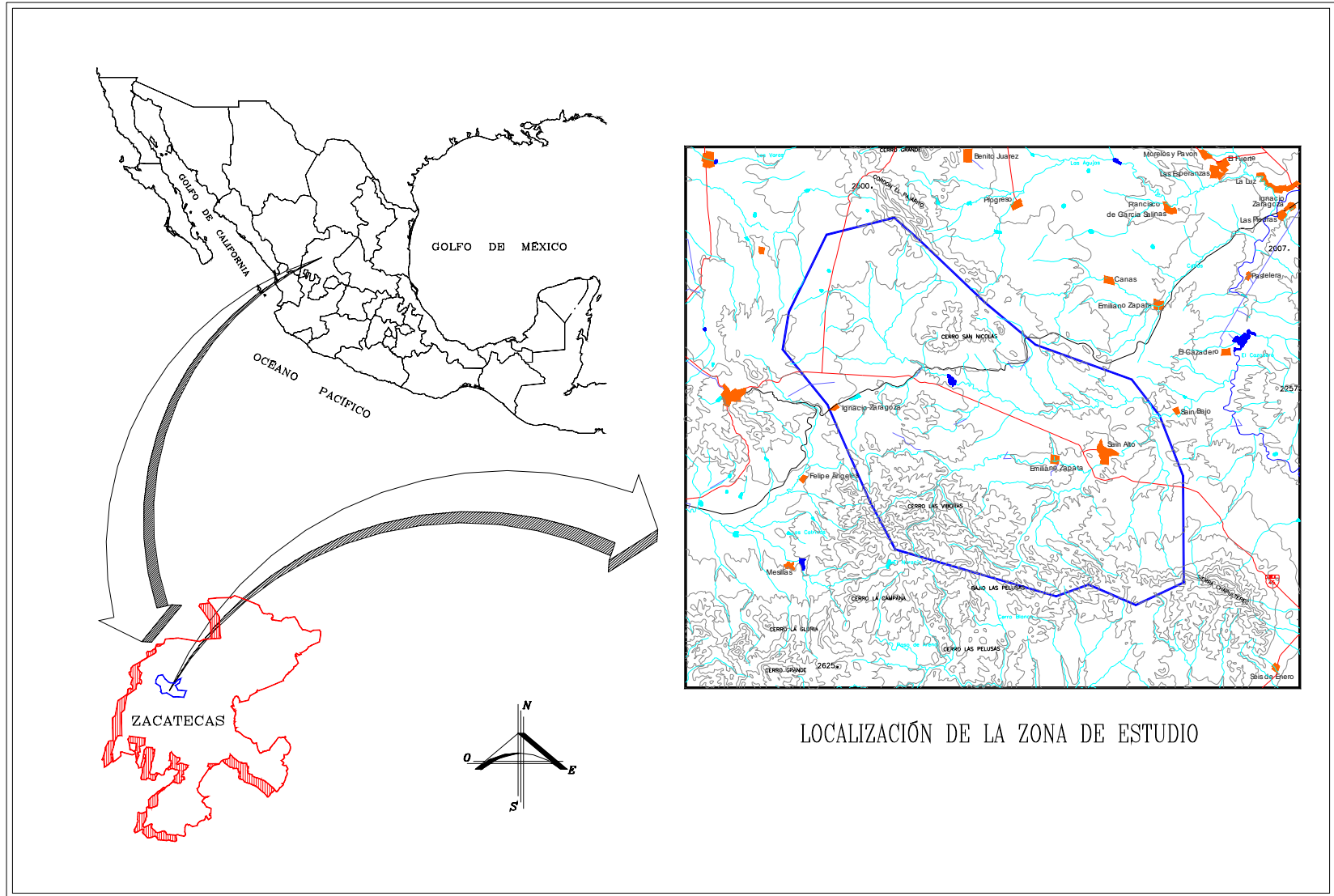


Figura No. 1 Localización del acuífero Saín Alto, Zac.

SECRETARÍA DE FOMENTO AGROPECUARIO 2000. ESTUDIO DE EVALUACIÓN DE LA DISPONIBILIDAD DE AGUA SUBTERRÁNEA EN LAS ZONAS EL PALMAR Y SAÍN ALTO EN EL ESTADO DE ZACATECAS. CONTRATO SEFOA 005/00. REALIZADO POR CONSULTORES EN AGUA SUBTERRÁNEA S.A.

Se corroboró que las unidades permeables que constituyen el acuífero de Saín Alto son el aluvión y el conglomerado del Cuaternario y en menor proporción el conglomerado del Terciario. Así mismo, se definió que las rocas volcánicas fracturadas cuando se encuentran bajo el nivel de saturación también forman parte del acuífero y cuando están por encima del mismo actúan como medios de recarga. Mediante la realización de pruebas de bombeo se definió que los valores de transmisividades del acuífero varían entre 10 a 802 m²/día en el área de Saín Alto, y el de las permeabilidades entre 0.1 m/día y 5.0 m/día, y la profundidad de la superficie del nivel estático varía entre 0 y 105 m, en la misma área. El estudio indica que existen condiciones hidrogeológicas favorables para incrementar la extracción de agua subterránea a través de pozos

3 FISIOGRAFÍA

3.1 PROVINCIA FISIOGRÁFICA

El acuífero Saín Alto se localiza dentro de la Provincia Fisiográfica Mesa del Centro y ocupa la subprovincia Sierras y Llanuras del Norte⁽²⁾.

La subprovincia Sierras y Llanuras del Norte incluyen los municipios de Juan Aldama y Miguel Auza; y partes de los de General Francisco Murguía, Río Grande, Saín Alto y Sombrerete. Las calizas de origen marino constituyen el material dominante en las sierras de la subprovincia.

3.2 CLIMA

De acuerdo a la información del Atlas Nacional del medio Físico⁽³⁾, en el área que cubre el acuífero de Saín Alto el clima predominante según la clasificación de Köppen y modificado por Enriqueta García es del Grupo de climas secos, subtipos BS₁kw semisecos templados. Este tipo de clima presenta lluvias de verano y un porcentaje de precipitación invernal entre 5 y 10.2 %, en la porción norte de la zona además de este clima presenta una condición de canícula.

² Carta fisiográfica esc. 1: 100 000 CGSNEGI, publicada en el anuario estadístico Zacatecas, edición 2001

³ Atlas Nacional del Medio Físico, 1981, SPP

3.2.1 Temperatura media anual

De acuerdo a la carta de temperaturas medias anuales⁽⁴⁾ en la zona de estudio la temperatura varía entre 16° C y 18° C.

3.2.2 Precipitación media anual

Las precipitaciones promedios anuales⁽⁵⁾ en la zona de estudio están comprendidas básicamente entre los 400 a 500 mm. Datos reportados en el estudio del 2000 ⁽⁶⁾ indican que para el periodo comprendido entre 1996 y 2000 la precipitación promedio anual registrada fue de 412 mm.

3.2.3 Evaporación potencial media anual

Los datos reportados en el estudio del año 2000⁽⁷⁾ indican que la evaporación potencial media anual, en la zona de estudio, asciende a 2000 mm.

3.3 HIDROGRAFÍA

El río Aguanaval tiene su origen a 70 km al este de Zacatecas, Zac., en un sitio conocido como Cerro Frailes, de 2600 msnm que puede considerarse como nacimiento del río Chico y por tanto del Aguanaval. La dirección general de esta corriente es sensiblemente de sur a norte y a 32 km aguas abajo de su origen recibe un afluente llamado arroyo El Arenal. Desde el principio, la corriente se encuentra aprovechada, ya que existe sobre ella una presa de almacenamiento llamada Santa Rosa. El río pasa por Agua Zarca y Guadalupe de Trujillo, etc. y llega hasta Agua Zarca de los Martínez, donde recibe una aportación por la izquierda de importancia constituida por el río de Los Lazos, el cual nace sobre la sierra Chalchihuites, en el cerro Corrales a 2600 msnm a unos 30 km al sur de Sombrerete su rumbo es de NW-SE, sobre él y antes de su confluencia con el río Chico, se construyó la presa de almacenamiento Leobardo Reynoso.

La unión del río Chico y del río Los Lazos da lugar a la formación del río Trujillo que corre originalmente en dirección NE y después con dirección norte hasta Saín Alto, donde cambia de rumbo hacia el NW hasta un sitio llamado Santa Mónica, donde recibe una aportación por la izquierda, constituida por el río Saín Alto.

La cuenca de Saín Alto se origina en un parteaguas de posición aproximada N-S, que queda a 10 km al este de Sombrerete, Zac. (Cerros Pico Chivo y Frío de 2700

⁴ Carta de temperaturas medias anuales esc. 1: 100 000 CGSNEGI, publicada en el anuario estadístico Zacatecas, edición 2001

⁵ Carta de Precipitación total anual esc. 1: 100 000 CGSNEGI, publicada en el anuario estadístico Zacatecas, edición 2001

⁶ Secretaría de Fomento Agropecuario 2000. Estudio de evaluación de la disponibilidad de agua subterránea en las zonas Sain Alto y Sain Alto en el Estado de Zacatecas. Contrato SEFOA 005/00. Realizado por Consultores en Agua Subterránea S.A.

⁷ Op. Cit Secretaría de Fomento Agropecuario 2000.....Consultores en Agua Subterránea S.A.

msnm). La dirección general del río es originalmente de NW a SE; pasa por la estación de ferrocarril El Arenal y ahí cambia de rumbo, hacia el este. El río Saín Alto tiene un afluente derecho y se unen 6 km aguas abajo del pueblo que lleva este nombre, ya juntos continúan con rumbo noreste y entran por la margen izquierda del río Trujillo, después de recorrer unidos 7 kilómetros.

Propiamente la unión de los ríos Saín Alto y del río Trujillo es la que determina la formación del río Aguanaval, ya que es partir de su confluencia es donde el colector general empieza a recibir este nombre. El río Aguanaval principia su recorrido con una presa de almacenamiento que queda por decirlo así en su propio origen, que se llama El Cazadero, situada en los límites de los municipios de Saín Alto y Río Grande, Zac.

Entre los tributarios importantes del río Aguanaval se encuentran los ríos Santa Clara, Zaragoza, Saín Alto, San Francisco, Tetillas y Mazapil.

3.3.1 Región hidrológica

El estado de Zacatecas queda comprendido en las Regiones Hidrológicas que se indican a continuación: RH 11 Ríos Presidio-San Pedro, ocupa una porción mínima del orden del 4 % de la superficie del estado en la parte oeste; RH 12 Lerma-Santiago con aproximadamente el 33 % de la superficie en la porción sur y suroeste del estado; RH 36 Ríos Nazas-Aguanaval con una extensión del orden del 23 % en la parte norte y noreste del estado; RH 37 El Salado en la porción noreste, centro este y sureste de Zacatecas ocupa aproximadamente 40 % de la superficie del estado de Zacatecas.

El acuífero Saín Alto se ubica dentro de la Región Hidrológica denominada RH36 Nazas–Aguanaval.

La Región Hidrológica Nazas–Aguanaval constituye una amplia zona cerrada, localizada en la mesa del norte de la República Mexicana, abarca como se señaló anteriormente una parte del estado de Zacatecas. Se le conoce a toda la región con el nombre de "Región Lagunera". Esta región corresponde a las cuencas cerradas de los grandes Ríos Nazas y Aguanaval.

3.3.2 Subregión

No se tiene una subdivisión por subregión.

3.3.3 Cuenca

El acuífero de Saín Alto se encuentra emplazado en el área que comprende a la cuenca del río Aguanaval.

3.3.4 Subcuencas

En la zona de estudio es posible distinguir una subcuenca dentro de la cuenca del Río Aguanaval, que es un área drenada por el río de Saín Alto hasta las proximidades de la población de Saín Bajo, donde es posible la ocurrencia de escurrimientos torrencial de poca importancia.

3.3.5 Infraestructura hidráulica

Dentro del área donde se localiza el acuífero de Saín Alto existe una pequeña presa denominada Lic. Adolfo López Mateos, y algunos canales para riego, otra infraestructura de importancia que se localiza en las cercanías de esta zona y fuera de ella es la presa de almacenamiento El Cazadero, asimismo, aguas abajo de ella y fuera de la zona de estudio se encuentra la presa de almacenamiento Santa Rosa y la Presa Leobardo Reynoso.

En cuanto a pozos que se localizan en el área de estudio en el inciso correspondiente a censo de aprovechamientos subterráneos se indican algunos aspectos de los mismos, los cuales seguramente se complementan con canales de riego y obras afines.

3.4 GEOMORFOLOGÍA

Entre las geoformas características de la región donde se ubica el área de estudio destacan las sierras formadas por rocas sedimentarias que en este caso son calizas, lutitas y areniscas de origen marino, las que presentan formas plegadas.

Regionalmente algunas sierras además de plegamiento de origen tectónico, fueron afectadas por intrusivos, para tomar formas cóncavas. La actividad volcánica propició la formación de conos volcánicos y coladas basálticas onduladas con un visible e intenso grado de fracturamiento.

En el área de estudio, las lutitas y areniscas desarrollan un drenaje de tipo dentrítico, con enrejado denso, controlado por la disposición que guardan los estratos y fractura.

Erupciones volcánicas explosivas y derrames lávicos de tipo ácido depositaron las rocas ígneas tóbaceas y riolíticas dando origen a elevaciones de mesetas, que presentan basculamiento hacia el suroeste, y se encuentran disectadas por la acción erosiva de arroyos, las cuales escurren por las principales fracturas o fallas generando arroyos profundos con bordes escarpados como en las inmediaciones del poblado de Saín Alto. Debido a la gran cantidad de fracturas por el rápido enfriamiento en estas rocas, se tiende a desarrollar un drenaje de tipo dentrítico muy espaciado. El fracturamiento en estas rocas es más intenso en la parte superficial, donde el enfriamiento fue más rápido, disminuyendo gradualmente a profundidad.

Dentro del área de estudio se observan valles y lomeríos bajos que se formaron al rellenar las cuencas que se formaron por esfuerzos tectónicos.

De acuerdo al grado de integración de drenaje y la extensión de los valles, geomorfológicamente se puede decir que la zona de estudio se encuentra en una etapa de madurez temprana.

4. GEOLOGÍA

4.1 ESTRATIGRAFÍA

La columna litológica del área de estudio está formada por sedimentarias marinas y continentales, ígneas extrusivas e intrusivas. Las rocas más antiguas que afloran son las rocas sedimentarias marinas del Cretácico y las más recientes los aluviones del Cuaternario.

A continuación se describe la columna litológica de la zona de estudio, desde la más antigua hasta la más reciente⁽⁸⁾:

Cretácico:

En este periodo, el área de estudio está caracterizada por la presencia de rocas de origen sedimentario:

- a) Unidad de Calizas del Cretácico Inferior: Esta unidad está constituida de rocas sedimentarias marinas depositadas en facies de plataforma que se relaciona con las formaciones Taraises, Cupido, Peña y Cuesta del Cura; esta última aflora fuera y en las cercanías del área de la zona de estudio, hacia el noreste del poblado El Fuerte y al oeste del poblado de Alfonso Medina. Está constituida por calizas de color gris oscuro con bandas de pedernal con estratificaciones de lutitas y calizas arcillosas.
- b) Unidad de Calizas y Lutitas del Cretácico Superior: Esta unidad está constituida por una secuencia sedimentaria marina de calizas y lutitas de facies de plataforma que se correlaciona con la Formación Indidura. Las rocas más comunes de esta unidad son calizas arcillosas intercaladas con lutitas calcáreas y limonitas, su afloramiento también está fuera del área de estudio y cercana al poblado de Sombrerete.
- c) Unidad de Lutitas y Areniscas del Cretácico Superior: Esta unidad está constituida por una secuencia rítmica de lutitas negras y areniscas depositadas en facies de aguas poco profundas que se correlaciona con la Formación Caracol, la cual aflora ampliamente en el área de estudio.

⁸ Op. Cit. Secretaría de Fomento Agropecuario 2000. Realizado por Consultores en Agua Subterránea S.A.

Debido a que estas rocas tienen una permeabilidad muy baja y se encuentran subyaciendo a los sedimentos permeables de relleno y a las rocas volcánicas fracturadas a esta unidad se le considera el basamento hidrogeológico en el área de estudio.

Terciario

El periodo Terciario, en el área de estudio, se manifiesta por la presencia de rocas de origen sedimentario y rocas ígneas extrusivas e intrusivas

Las rocas sedimentarias en la región están constituidas principalmente por conglomerados de diferente grado de compacidad, que le confieren características hidrogeológicas variables

Rocas sedimentarias:

- a) Conglomerado del Terciario Inferior: Esta unidad está constituida por clastos angulosos y subredondeados de caliza, caliza silicificada, pedernal, cuarzo, arenisca, riolita y toba vítrea en una matriz arcillosa cementados con material calcáreo y silíceo, lo que determina que su alto grado de compacidad, lo que hace que sea una unidad poco permeable. Esta unidad se correlaciona con la Formación Ahuichila del Eoceno-Oligoceno. Esta unidad no aflora dentro del área que limita al acuífero, sin embargo se presenta en la región circunvecina a la zona de estudio.
- b) Areniscas y Conglomerado del Terciario Superior: Esta unidad está constituida por una alternancia de areniscas y conglomerados. El conglomerado está formado por clastos de cuarzo y fragmentos de rocas volcánicas y calizas en una matriz arcillo-arenosa con cementante calcáreo. El grado de compactación es alto por lo que la unidad es poco permeable. Esta unidad no aflora dentro del área que limita al acuífero, sin embargo se presenta en la región circunvecina a la zona de estudio.
- c) Conglomerado del Terciario Superior: Esta unidad está constituida de conglomerados olimícticos y polimícticos que se componen de fragmentos de calizas, pedernal, areniscas, riolitas y tobas en una matriz areno-arcillosa y cementada con material calcáreo. Esta unidad se correlaciona con la formación Opal del Terciario Superior. Esta formación aunque no aflora en el área del acuífero de Saín Alto, cubre a rocas sedimentarias cretácicas localizadas dentro de los límites del acuífero en estudio.

Rocas ígneas:

En el periodo Terciario, la actividad volcánica propició la distribución de rocas ígneas de composición ácida (tobas, brechas volcánicas, riolitas, etc.). Asimismo, en este mismo periodo se da lugar la intrusión de rocas ígneas intrusivas ácidas como granito y granodiorita

- a) Toba ácida y Brecha Volcánica ácida: Este tipo de rocas son, en general, muy compactas y se caracterizan por presentar diverso grado de fracturamiento. En los sitios donde el fracturamiento es mayor (cerca del poblado de Sain Alto) pueden funcionar como zonas de recarga cuando sobreyacen la zona saturada
- b) Riolita y toba ácida: Unidad constituida por una alternancia de tobas ácidas e ignimbritas, también incluye afloramientos de riolitas. Esta unidad aflora en el área de estudio y presentan estructura fluidal y compacta, es ligeramente vesicular y presenta pseudoestratos. Este tipo de rocas se caracteriza por tener un fracturamiento relativamente abundante en la parte superior de los pseudo estratos, debido al rápido enfriamiento de esa zona; en algunas partes, existen zonas en las cuales este tipo de roca presentan un denso sistema de fracturamiento, sin embargo, también existen lugares donde se aprecia lo compacto de estas rocas y la escasez de fracturas, como es a 3 km del poblado de Sain Alto. Cuando el fracturamiento es abundante existe la posibilidad de funcionar como buenas zonas de recarga cuando se encuentran por arriba de la zona saturada, o incluso pueden ser almacenadoras de agua.
- c) Granito: Unidad ígnea que intrusión a las rocas calizas del Cretácico Inferior. Se correlaciona con las rocas batolíticas de edad terciaria emplazadas a causa de una migración de un arco magmático de principio del Terciario. Esta roca con porosidad primaria y escasa porosidad secundaria es considerada sin posibilidad de almacenar o transmitir volúmenes apreciables de agua, es decir, puede servir como barreras hidrogeológicas. Esta roca aflora fuera de la zona en la sierra de Sombrerete.
- d) Granodiorita: Unidad de origen plutónico, intrusión a calizas del Cretácico Inferior, también a las areniscas y lutitas del Cretácico Superior. Estas rocas se consideran impermeables y funcionan como barreras ante el flujo subterráneo. Esta unidad se presenta fuera del área de estudio.

Cuaternario

Además de la depositación de rocas sedimentarias, a inicios del Cuaternario continuo la actividad volcánica, que dieron origen a los derrames lávicos basálticos que han sido fuertemente erosionadas por acción hídrica.

Rocas sedimentarias:

- a) Conglomerado del Cuaternario: Esta unidad está constituida de conglomerados de ambiente continental, formados por clastos subangulosos a subredondeados de caliza y pedernal, así como de basalto y riolita en una matriz areno-arcillosa y cementada con material calcáreo. La unidad es de estructura masiva su grado de compactación es de semicompacto a semisuelto. Presenta buenas propiedades geohidrológicas para constituirse como acuíferos. Los espesores de esta unidad llegan a ser del orden de 200 m.

- b) Aluvión del Cuaternario: Esta unidad está constituida por arcillas, limos, arenas y gravas, producto de la erosión de las rocas del entorno. Esta unidad junto al conglomerado del Cuaternario son las más importantes en ocurrencia y explotación de aguas subterráneas en la región.

Rocas ígneas:

- a) Basalto y brecha volcánica básica: Escasos afloramientos de basaltos y de fragmentos de bloques de basalto. La textura de la brecha es piroclástica y la de los basaltos es vesicular y a veces columnar. Algunos afloramientos se localizan en la parte sureste de la zona de estudio. Estratigráficamente cubre a rocas sedimentarias del Cretácico superior, así como a rocas volcánicas ácidas de edad Oligo-Mioceno.

4.2 GEOLOGÍA ESTRUCTURAL

A fines del Cretácico y principios del Terciario⁽⁹⁾, los intensos movimientos tectónicos de la Revolución Laramide hicieron emerger el área en gran parte de lo que ahora es el territorio Mexicano y que se encontraba cubierto por mares.

Las estructuras asociadas a las rocas cretácicas, producto de esfuerzos asociados a la Orogenia Laramide presentan en una serie de pliegues que forman anticlinales y sinclinales en las sierras compuestas preferentemente de rocas calizas.

Existen dos orientaciones preferenciales de los ejes estructurales, una con dirección noroeste – sureste, que según algunos autores es el resultado de “plis de fond” de las unidades de basamento. La otra orientación es este-oeste que es el resultado de “plis de cobertura”según otros autores.

Se observan fallas de tipo normal y fracturas con orientación predominante noroeste-sureste.

En las rocas post-cretácicas es característica la formación de fallas y fracturas.

4.3 GEOLOGÍA DEL SUBSUELO:

Mediante la integración de los resultados de los trabajos⁽¹⁰⁾ previos de prospección geológica y geofísica se cuentan con 2 perfiles, que permitieron identificar las siguientes unidades geoelectricas del área de estudio:

⁹ Op. Cit Secretaría de Fomento Agropecuario 2000. Realizado por Consultores en Agua Subterránea S.A.

¹⁰ Op. Cit Secretaría de Fomento Agropecuario 2000. Realizado por Consultores en Agua Subterránea S.A.

- a) La zona superficial con resistividades entre 0.1 y 153 ohm/m y asociada a material aluvial de variada granulometría. Esta zona se subdivide en 2 subzonas:
 - a.1) La que presentan saturación parcial (resistividad entre 0.1 y 72 ohm /m) y
 - a.2) La que presenta saturación nula o baja (resistividades entre 50 y 153 ohm /m). Estas zonas presentan espesores relativamente bajos en comparación con la zona que le subyace y que a continuación se indica.

- b) La zona permeable que constituye propiamente el acuífero con resistividades entre 0.7 - 78 ohm/m y asociada con sedimentos granulares no consolidados de materiales aluviales y conglomerados del Terciario y Cuaternario y con rocas volcánicas fracturadas. Esta zona se subdivide en dos subzonas: b.1) La que presenta una permeabilidad baja, granulometría fina con resistividades entre 0.7 y 14 ohm/m, se identifica con el aluvión y conglomerados del Terciario; b.2) Es la zona más permeable, con resistividades comprendidas entre 1- 78 ohm/m, se identifica con los materiales poco consolidados de aluvión del Cuaternario, conglomerado del Terciario, e incorpora intercalaciones y estratos de rocas volcánicas fracturadas. Es la unidad de mayor interés desde el punto de vista geohidrológico. En términos generales esta unidad subyace a la zona superficial y cuenta con espesores que en algunos sitios llegan a ser de más de 200 m.

- c) La base impermeable del acuífero con resistividades entre 41 y 1648 ohm/m y asociada con rocas sedimentarias impermeables del Cretácico y Terciario; y con las rocas ígneas muy compactas e impermeables. En general esta unidad forma el basamento del acuífero en explotación.

De acuerdo a la información existente del área de estudio, se dispone de información de dos secciones geológicas, las cuales se describen a continuación:

Sección A-A': Parte de esta sección queda fuera del área de estudio, ya que se construyó con orientación norte-sur a lo largo de 100 km desde las cercanías del poblado de San Antonio de La Laguna que se encuentra al norte del área de estudio, y finaliza en el Bajío de las Pelusas, dentro del área que limita el acuífero de Sain Alto; al respecto y dentro del área de estudio se observan espesores de material de relleno entre 100 a 200 m, siendo los mayores entre el km 80 y el km 90.

Sección D-D': Se construyó con orientación suroeste – noreste a lo largo de unos 38 km. Esta sección que atraviesa por las inmediaciones del poblado de Sain Alto, inicia en un afloramiento de lutitas y areniscas ubicado en el flanco noreste del cerro Las víboras, para de ahí cubrir una distancia de 38 km en dirección noreste, terminando fuera del límite del acuífero en estudio, aproximadamente a un kilómetro al sureste del rancho Pastelero al norte de Ignacio Zaragoza, en afloramientos de lutitas y areniscas. Esta sección muestra los límites de la cuenca hidrogeológica en la región, que es la que presenta mayor cantidad de pozos, quedando dentro de ella los depósitos Cuaternarios y Terciarios que conforman el acuífero. En esta sección se identifican dos cuencas, siendo la cuenca de la parte suroeste la que pertenece a la zona de estudio, estas cuencas están formadas por conglomerados poco

consolidados del Cuaternario de unos 200 m de espesor y delimitadas por las unidades de tobas y riolitas y conglomerados del Terciario.

5 HIDROGEOLOGÍA

5.1 TIPO DE ACUÍFERO

El acuífero Saín Alto se desarrolla preferentemente en un paquete de depósitos sedimentarios no consolidado de buena permeabilidad (medio granular) y espesor que en ocasiones se encuentra interdigitado por rocas volcánicas fracturadas (medio fracturado). Este acuífero es del tipo libre en su mayor parte aunque en algunas partes se comporta como confinado por derrames lávicos impermeables intercalados con el material acuífero.

El medio granular está constituido por arenas, gravas y boleos del Cuaternario y Terciario que varían de no consolidados a poco consolidados que conforman el acuífero en explotación y que se asocian a las siguientes unidades descritas en la estratigrafía:

- Aluvión del Cuaternario
- Conglomerado del Cuaternario
- Conglomerado del Terciario

El medio fracturado está formado por rocas volcánicas consolidadas del Terciario y Cuaternario cuyas permeabilidades son muy heterogéneas al estar asociada al grado de fracturamiento. Este medio se asocia a las siguientes unidades descritas en la estratigrafía:

- Riolita y toba ácida espesores mayores de 100 m en algunas zonas
- Toba ácida – brecha volcánica con espesores no definidos
- Basalto con espesores no mayores a 50 m

Las elevaciones que limitan al valle son de material cuya porosidad es debida al fracturamiento; estas unidades aunque permeables no lo son tanto como las que constituyen el relleno del valle, en sí las elevaciones no se consideran fronteras impermeables, manifestándose una recarga al medio granular a través de éstas.

5.2 PARÁMETROS HIDRÁULICOS

La permeabilidad en el medio granular es función de la distribución granulométrica de las unidades y del grado de compactación de las mismas. En términos generales los depósitos cuaternarios de aluvión y conglomerado presentan valores de permeabilidad altos, con menores valores de permeabilidad en el conglomerado del Terciario.

En el medio fracturado la permeabilidad esta en función de su fracturamiento y la distribución espacial de las mismas lo cual da una heterogeneidad en la distribución de las propiedades hidráulicas en las unidades geológicas de origen volcánico.

A través de 6 pruebas de bombeo, realizadas en pozos con profundidades del orden de 150 a 200 m, se definieron que la transmisividad en el área de estudio varía⁽¹¹⁾ entre 10 y 802 m²/día.

Los valores de permeabilidad en la mayoría de los casos varían entre 0.2 y 0.8 m/día que definen las zonas de permeabilidad media, aunque se tienen un sitio con permeabilidad alta del orden de 4.9 m/día localizado en las cercanías del poblado de Sain Alto.

No se dispone de valores de coeficientes de almacenamiento obtenidos con pruebas de bombeo, pero se estima que es del orden de 0.10

5.3 PIEZOMETRÍA

La zona del acuífero de Saín Alto cuenta con datos de niveles estáticos del año 2000, y para obtener sus configuraciones se realizó una nivelación de los brocales de los pozos para referenciar sus altitudes utilizando un nivel diferencial con apoyo de bancos de INEGI localizados en el área de estudio. En ciertas zonas la nivelación se realizó utilizando GPS, en ambos casos la nivelación fue de precisión.

5.4 COMPORTAMIENTO HIDRÁULICO

5.4.1 Profundidad al nivel estático

Las profundidades de los niveles estáticos para el año 2000, varían entre 0 y 105 m, correspondiendo las menores profundidades a las zonas de los manantiales de Sain Alto y Atotonilco, y valores de hasta 30 m localizados hacia el límite este del área de estudio como se muestra en la Figura 3; profundidades del orden de 50 a 95 m se encuentran en la parte central del área del acuífero, incrementando sus profundidades hacia el norponiente con profundidades máximas de 105 m cerca de la población de Santa Elena.

5.4.2 Elevación del nivel estático

La configuración de las curvas del nivel estático para el año 2000 que se representa en la Figura 4, muestra que el flujo subterráneo principal, en términos generales, presenta una dirección preferencial en sentido sensiblemente oeste-este, básicamente siguiendo un curso semejante al río Saín y de sus afluentes en el área

¹¹ Op. Cit Secretaría de Fomento Agropecuario 2000. Realizado por Consultores en Agua Subterránea S.A.

de influencia de él; asimismo, existe un flujo subterráneo que converge al flujo principal en las inmediaciones el poblado de Saín Alto, procedente de una área comprendida entre los poblados de La Ciénega-San Antonio Álamo y Saín Alto, dicho flujo sigue una dirección preferencial de suroeste a noreste, semejante a un afluente del río Saín. Las mayores altitudes de los niveles estáticos del acuífero se observan en la parte oeste del área de explotación donde hay registros del orden de 2150 msnm; y las menores elevaciones en la zona de los manantiales en la parte este de la misma con valores del orden de 2040 msnm.

El análisis de las configuraciones indica que la zona de recarga ocurre en la parte noroeste y sur del valle y la zona de descarga en el área de manantiales situados en la parte noreste del mismo valle.

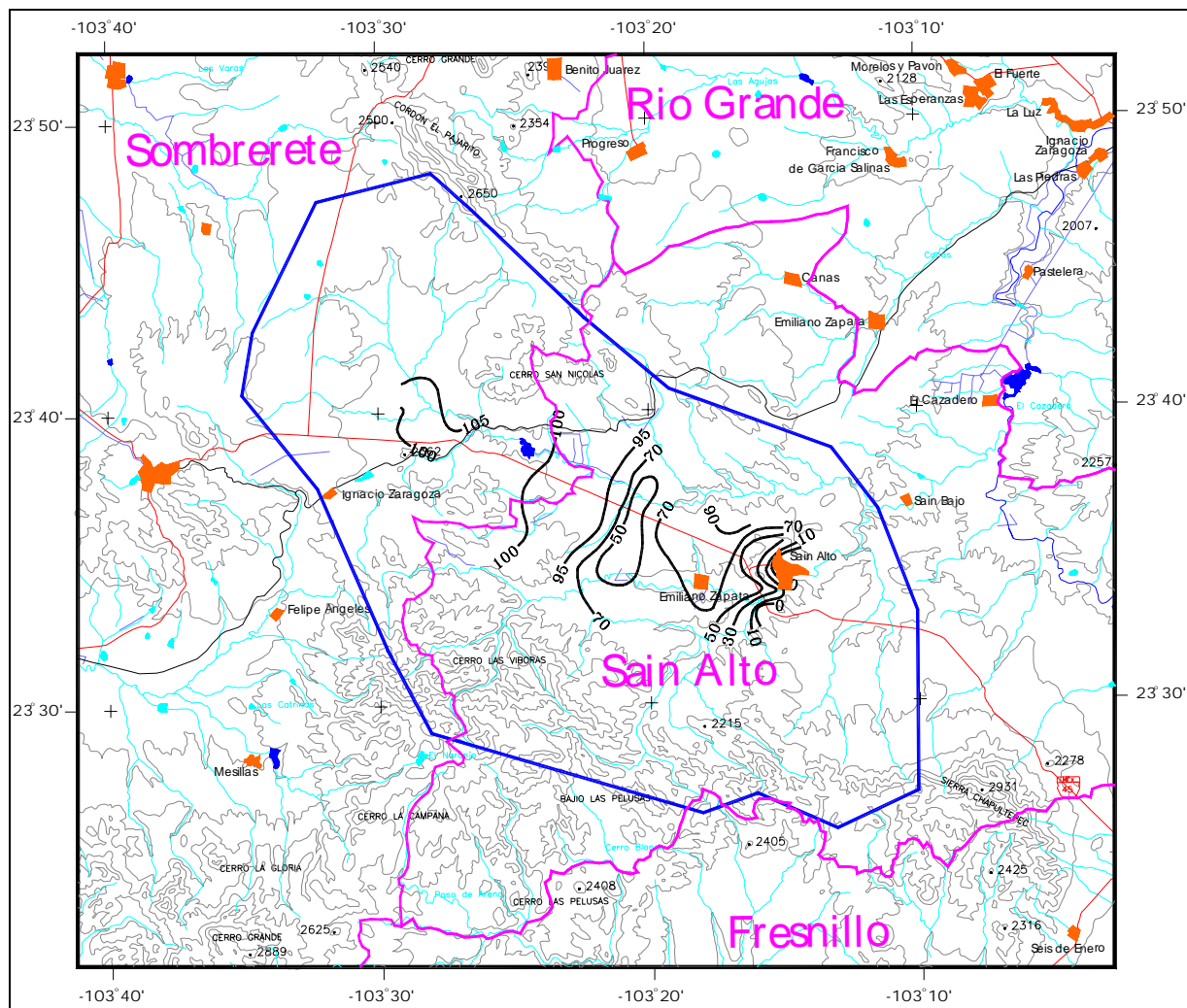


Figura No. 3 Profundidad al nivel estático en el año 2000

5.4.3 Evolución del nivel estático

De acuerdo al estudio del año 2000 ⁽¹²⁾, se reporta que con información de algunos pozos se determinó que las evoluciones a través del tiempo han sido poco significativas, de tal manera que se puede considerar que el acuífero presenta abatimientos muy bajos.

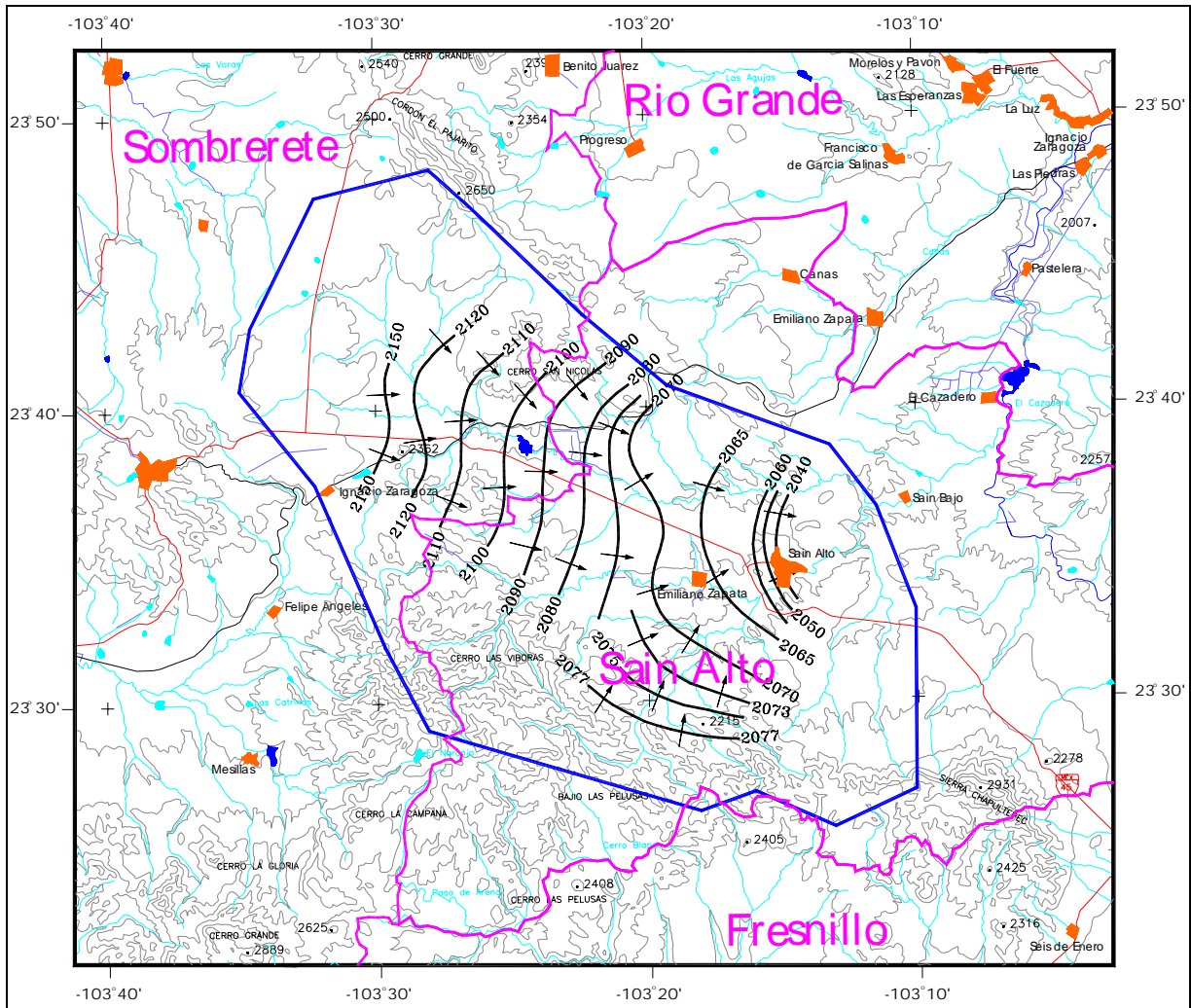


Figura No. 4 Elevación del nivel estático en el año 2000

5.5 HIDROGEOQUÍMICA Y CALIDAD DEL AGUA SUBTERRÁNEA

Con base en análisis químicos y físicos de 10 muestras de agua subterránea y la utilización de diagramas de hidrogeoquímica (Stiff, Piper, Schoeller, Collins y Wilcox) se tiene una clasificación de las aguas subterráneas de la zona de estudio.

¹² Op. Cit. Secretaría de Fomento Agropecuario 2000. Estudio de evaluación...

En cuanto a la interpretación efectuada con los diagramas de Stiff, en las cuales se presentan datos de Ca, Mg, Na+K, Fe, HCO_3+CO_3 , SO_4 , Cl y NO_3 , en general el agua subterránea se caracteriza por tener concentraciones bajas, con algunas pequeñas diferencias, particularmente en un contenido ligeramente mayor en calcio en algunas muestras.

Con el diagrama de Piper se observa que en términos generales las muestras de agua se agrupan en las aguas cálcico bicarbonatadas excepto la muestra obtenida en el manantial de Atotonilco que se clasifica como sódico bicarbonatada, observándose también la existencia de una muestra con un contenido de sulfatos ligeramente superior a los demás y perteneciente a un pozo de uso doméstico y abrevadero localizado en la zona de Calahorra.

De acuerdo con el diagrama de Schoeller se aprecian similitudes entre sus gráficas, predominan los iones de calcio, sodio y bicarbonato, siendo aguas cálcico o mixtas bicarbonatada, con alguna muestra con contenido relativamente alto de Sulfato, que correspondiente a un pozo ubicado en la zona mencionada de Calahorra

Del diagrama de Collins que consisten de dos columnas donde en un lado se apilan los cationes y en otro los aniones, se observa que en general son de pequeño tamaño, destacando en predominancia de iones el calcio en los cationes y el bicarbonato en los aniones, a excepción de una muestra en la que destaca el sodio en los cationes, dicha muestra corresponde a un aprovechamiento localizado en Atotonilco.

Con el diagrama de Wilcox se concluye que en términos generales las muestras de agua analizadas y que se consideran representativas del agua del acuífero de estudio, se encuentran en la zona de unión de las clases C1 S1 y C2 S1 que corresponden a riesgo de salinidad baja a media y bajo riesgo de sodio.

En general, los resultados de los análisis de laboratorio indican que el agua subterránea del área de estudio es apta para consumo humano con excepción de algunas muestras que presentan concentraciones de fluoruros (3 muestras) y nitratos (5 muestras) superiores a las señaladas en la Norma para agua potable.

De acuerdo a las concentraciones de calcio en las muestras de agua de la zona de estudio se puede considerar que las aguas subterráneas de la misma son de origen meteórico de reciente infiltración, y que en forma particular las concentraciones mayores de sulfatos se pueden asociar con la circulación de aguas en rocas sedimentarias marinas de edad cretácica y terciaria. De acuerdo al bajo contenido de bicarbonatos observado en las muestras de agua se concluye que es debido a que el agua circula preferentemente en materiales de origen volcánico. Respecto al contenido de sólidos totales disueltos se aprecia que los valores oscilan entre 150 y 256 ppm.

De los resultados de los análisis químicos se determinó que las zonas de recarga preferente se identifican con las elevaciones de rocas volcánicas situadas al norte y sureste del valle, y que la descarga se identifica con el área de manantiales situados en la porción oriental, estableciendo un flujo preferencial subterráneo de poniente a oriente.

6 CENSO DE APROVECHAMIENTOS E HIDROMETRÍA

De acuerdo al inventario de aprovechamientos subterráneos realizado durante el estudio del año 2000 en la zona de Saín Alto existen 58 de los cuales 50 son pozos, 2 norias y 6 manantiales. Dichos aprovechamientos se encuentran distribuidos en todo el valle con algunas zonas de concentración de pozos. De los 50 pozos 2 se encuentran inactivos y 17 en proceso de construcción.

Del total de aprovechamientos censados, 33 se destinan para uso en riego, 10 para uso doméstico, 8 para uso público urbano, 3 para uso pecuario y 4 para servicios. Los cuales se pueden agrupar como se indica en la Tabla 2.

Tabla No. 2 Aprovechamientos subterráneos por uso

Tipo de Obra	Agrícola	Doméstico	Público Urbano	Pecuario	Servicios	Total
Pozo	31	9	8	2		50
Noria		1		1		2
Manantial	2				4	6
Total	33	10	8	3	4	58

De la información de hidrometría realizada durante el censo mencionado, consideraciones de láminas de riego, dotaciones de agua potable, entre otros se determino un volumen de bombeo de agua subterránea del orden de 5.0 hm³/año y una descarga de manantiales del orden de 0.8 hm³/año, haciendo un total de 5.8 hm³/año, de este volumen aproximadamente el 32 % (1.9 hm³/año) corresponde al uso en riego y del 47 % (2.7 hm³/año) al uso público urbano.

Por otro lado de acuerdo a información reciente⁽¹³⁾ se ha calculado que la extracción actual total del acuífero es del orden de 10.8 hm³/año

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 anualmente por el almacenamiento no renovable del subsuelo.

¹³ Gerencia de Aguas Subterráneas , CNA, 2003

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

$$\text{Entradas (E)} - \text{Salidas (S)} = \text{Cambio de almacenamiento} \dots (1)$$

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, queda representada como sigue:

$$\text{Recarga total} - \text{Descarga total} = \text{Cambio de almacenamiento en la unidad hidrogeológica} \dots(2)$$

7.1 ENTRADAS

Las entradas al acuífero de Saín Alto están integradas básicamente por las recargas naturales y las recargas inducidas.

7.1.1 Recarga natural

Está conformada por la infiltración de una parte del agua precipitada en el área del valle y de la recarga por flujo horizontal subterráneo que se presenta por las zonas de pie de monte desde las partes altas del valle donde una parte de la lluvia se llega a infiltrar.

En el acuífero estudiado la recarga natural por lluvia en el área de valle con una extensión de aproximadamente 350 km², un volumen medio anual de lluvia de 412 mm precipitada en esa área, y considerando un coeficiente del orden de 0.08, la recarga por este concepto resultó del orden de 11.5 hm³/año.

7.1.2 Recarga Inducida

La recarga inducida esta constituida principalmente por la infiltración vertical de una parte de los excesos de agua aplicado en el riego y por fugas en los sistemas del servicio público urbano Para el acuífero que nos ocupa, considerando la recirculación del bombeo se estimo en 2.6 hm³/año.

7.1.3 Flujo Subterráneo horizontal

Parte de las precipitaciones pluviales que se presentan en las zonas altas del área de estudio se infiltran por las fracturas de las rocas que forman parte de ellas, y llegan a recargar al acuífero a través de flujos subterráneos que se manifiestan en las partes bajas de las estructuras geológicas que delimitan dicho valle.

La recarga del acuífero por flujo horizontal de aguas subterráneas ocurre básicamente en la parte noroeste y en la parte sur del área de estudio, como se aprecia en la Figura 4, de curvas de igual elevación del nivel estático del año 2000. Con base a esta configuración se seleccionaron 10 canales de flujo: 7 en la zona

noroeste (de la celda 1 al 7) y 3 en el sur (de la celda 8 a la 10). En cada uno de estos canales se aplica la ley de Darcy para calcular el caudal “Q” que recarga al acuífero. La recarga total por flujo horizontal es la suma de los caudales de los 10 canales. En la Tabla 3 se pueden observar los valores obtenidos en cada celda y el total de 3.1 hm³/año.

Donde

$$Q = T * A * i$$

T: Transmisividad (m²/s) en el canal de flujo

A: Ancho (m) del canal de flujo

i: Gradiente hidráulico ($i = h / L$); h y L son la diferencia y distancia respectivamente entre las equipotenciales (h) que conforman el canal de flujo.

Tabla No. 3 Entradas de agua subterránea por flujo horizontal al acuífero de Saín Alto

CELDA	ANCHO (B) (m)	LARGO (L) (m)	h1-h2 (m)	GRADIENTE HIDRÁULICO (i)	TRANSMISIVIDAD (T) (m ² /s)	CAUDAL (Q) (m ³ /s)	VOLUMEN (hm ³ /año)
1	1812.5	2833.0	30	0.011	0.001	0.010	0.3
2	2239.8	2174.0	30	0.014	0.001	0.016	0.5
3	3149.1	1979.0	30	0.015	0.001	0.025	0.8
4	1692.4	3370.0	10	0.003	0.001	0.003	0.1
5	1555.6	3239.0	10	0.003	0.001	0.003	0.1
6	2107.3	1978.0	10	0.005	0.001	0.006	0.2
7	3081.9	2052.0	10	0.005	0.001	0.008	0.2
8	2202.9	3855.0	4	0.001	0.003	0.006	0.2
9	2778.2	3344.0	4	0.001	0.003	0.008	0.3
10	3510.7	2709.0	4	0.001	0.003	0.013	0.4
Total							3.1

7.2 SALIDAS

La descarga del acuífero ocurre principalmente por evapotranspiración, flujo horizontal subterráneo manantiales y bombes.

7.2.1 Evapotranspiración

Ocurre en una superficie expuesta a la evapotranspiración de agua subterránea de unos 7 km², localizada en la parte este de la zona de estudio, básicamente en las inmediaciones del poblado de Saín Alto, donde la profundidad del nivel de las aguas subterráneas alcanza valores menores a 10 m (Figura 3).

El volumen de agua que se descarga del acuífero por Evapotranspiración se puede obtener aplicando el criterio señalado en el Manual para evaluar recursos hidráulicos

subterráneos⁽¹⁴⁾, al respecto se utiliza una gráfica que muestra la relación que existe entre la profundidad de la superficie freática y la magnitud de la evaporación del agua subterránea, medida como un porcentaje de la que se genera en un evaporímetro. Para el caso que nos ocupa se obtuvo un valor de 0.6 hm³/año, al considerar una evaporación potencial media de 2000 mm/año, en la superficie antes indicada.

7.2.2 Descarga natural

En el caso del acuífero en estudio, las descargas naturales están representadas por un lado por el flujo subterráneo horizontal que sale hacia la parte este de la región, y por otro lado por las descargas de los manantiales localizados en las cercanías del poblado de Saín Alto, donde sus aguas son empleadas en diversos usos incluyendo el de servicios.

La hidrometría indica que la descarga a través de los 6 manantiales identificados en la zona de estudio asciende a un valor del orden de 1 hm³/año.

7.2.3 Bombeo

La extracción de agua subterránea en el área de estudio ha variado con el tiempo y de acuerdo con la estimación más reciente, dicha extracción efectuada por bombeo es del orden de 10.8 hm³/año. Este volumen se emplea en diversos usos, entre los más importantes se encuentran el agrícola y el público urbano.

7.2.4 Flujo subterráneo horizontal

La descarga por flujo horizontal de aguas subterráneas: ocurre en la parte este en el área de los manantiales localizados en las inmediaciones del poblado de Saín Alto (Figura 4); aplicando la fórmula expuesta anteriormente ($Q = T * A * i$), en 3 canales de flujo de salida en esa área se calcula una descarga de 5.8 hm³/año, cuyo detalle se muestra en la Tabla 4

Tabla No. 4 Cálculo de descarga por flujo horizontal de aguas subterráneas del acuífero de Saín Alto

CELDA	ANCHO (B) (m)	LARGO (L) (m)	h1- h2 (m)	GRADIENTE HIDRÁULICO (i)	TRANSMISIVIDAD (T) (m ² /s)	CAUDAL (Q) (m ³ /s)	VOLUMEN (hm ³ /año)
11	2237.6	681.0	10	0.015	0.002	0.057	1.8
12	2321.9	633.0	10	0.016	0.002	0.064	2.0
13	2608.1	733.0	10	0.014	0.002	0.062	1.9
Total							5.8

¹⁴ Manual para Evaluar Recursos Hidráulicos Subterráneos, editado por la Comisión Nacional del Agua a través de la Subdirección General de Administración del Agua, México 1994

7.3 CAMBIO DE ALMACENAMIENTO

El balance de aguas subterráneas señala que el acuífero tiene una recarga total de 17.2 hm³/anuales, y una descarga total de 17.2 hm³/año por lo que el cambio de almacenamiento en el acuífero de Saín Alto se encuentra en equilibrio.

En la Tabla 5 se resume el balance de aguas subterráneas en el acuífero Saín Alto

Tabla No. 5 Balance de aguas subterráneas en el acuífero Saín Alto

BALANCE DE AGUAS SUBTERRÁNEAS ACUÍFERO SAÍN ALTO, ZAC.			
Área total del acuífero		km ²	1,053
RECARGA			
Área de valle		km ²	350
Coefficiente	I_1		0.08
Precipitación		mm/año	412
Recarga natural por lluvia		hm ³ /año	11.5
Entradas horizontales	E_h	hm ³ /año	3.1
Total de recarga natural		hm ³ /año	14.6
Público Urbano	I_2		0.20
Retorno del uso Público Urbano		hm ³ /año	1.0
Agrícola más otros agua subterránea	I_3		0.27
Retorno de riego, agua subterránea		hm ³ /año	1.6
Retorno total			2.6
RECARGA TOTAL	R_t	hm ³ /año	17.2
DESCARGA			
Salidas horizontales	S_h	hm ³ /año	5.8
Caudal base	Q_{base}	hm ³ /año	0.0
Evapotranspiración		hm ³ /año	0.6
Extracción total bruta		hm ³ /año	10.8
Agrícola		hm ³ /año	5.0
Público urbano		hm ³ /año	5.0
Industrial		hm ³ /año	0.0
Otros		hm ³ /año	0.8
DESCARGA TOTAL		hm ³ /año	17.2
Minado	DA	hm ³ /año	0.0

8 DISPONIBILIDAD DE AGUA SUBTERRÁNEA

Para el cálculo de la disponibilidad de aguas subterráneas se aplica el procedimiento estipulado en la Norma, que establece la metodología para calcular la disponibilidad de aguas nacionales. La disponibilidad se determina por medio de la expresión siguiente:

$$\begin{array}{r} \text{Disponibilidad media} \\ \text{anual de agua} \\ \text{subterránea en una} \\ \text{unidad hidrogeológica} \end{array} = \begin{array}{r} \text{Recarga} \\ \text{total} \\ \text{Media} \\ \text{anual} \end{array} - \begin{array}{r} \text{Descarga} \\ \text{natural} \\ \text{comprometida} \end{array} - \begin{array}{r} \text{Volumen anual de} \\ \text{agua subterránea} \\ \text{concesionado e} \\ \text{inscrito en el} \\ \text{REPDA} \end{array} \quad \dots(6)$$

8.1 RECARGA TOTAL MEDIA ANUAL

La recarga total media anual, calculada asciende a 17.2 hm³/año.

8.2 DESCARGA NATURAL COMPROMETIDA

Es la suma de los volúmenes concesionados de los manantiales que están comprometidos como agua superficial para diversos usos más una parte del agua que sale por flujo horizontal subterráneo para satisfacer necesidades comprometidas, de tal manera que para este acuífero se estima en 3.9 hm³/año

8.3 RENDIMIENTO PERMANENTE

El rendimiento permanente es la recarga total media anual menos la descarga natural comprometida.

Para el acuífero Saín Alto la descarga natural comprometida es del orden de 3.9 hm³/año, luego entonces el rendimiento permanente es igual a 13.3 hm³/año.

8.4 VOLUMEN CONCESIONADO E INSCRITO EN EL REPDA

El volumen de agua subterránea concesionado e inscrito en el Registro Público de Derechos del Agua (REPDA), al 31 de mayo de 2003 es de 9.937979 hm³/año

8.5 DISPONIBILIDAD DE AGUAS SUBTERRÁNEAS

La disponibilidad de aguas subterráneas, conforme a la metodología indicada en la Norma que establece la metodología para calcular la disponibilidad de aguas nacionales (NOM-011-CNA-2000) 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 esta forma la disponibilidad es de 3.36 hm³/año.

$$3.362021 = 17.2 - 3.9 - 9.937979$$

9 BIBLIOGRAFÍA Y REFERENCIAS

Atlas Nacional del Medio Físico, 1981, SPP

Carta fisiográfica esc. 1: 100 000 CGSNEGI, publicada en el anuario estadístico Zacatecas, edición 2001

Carta de Precipitación total anual esc. 1: 100 000 CGSNEGI, publicada en el anuario estadístico Zacatecas, edición 2001

Carta de temperaturas medias anuales esc. 1: 100 000 CGSNEGI, publicada en el anuario estadístico Zacatecas, edición 2001

Castany G. 1975. Prospección y explotación de las aguas subterráneas. Ediciones Omega, S.A. Barcelona, España.

Custodio F, Llamas M. 1983. Hidrología Subterránea Tomo I y II. Ediciones Omega, S.A. Barcelona - España.

Consejo de Recursos Minerales 1991. Monografía Geológica – Minera del Estado de Zacatecas. CRM Pachuca-Hidalgo, México.

DOF. 5 de diciembre de 2001. ACUERDO por el que se establece y da a conocer al público en general la denominación única de los acuíferos reconocidos en el territorio de los Estados Unidos Mexicanos, por la Comisión Nacional del Agua, y la homologación de los nombres de los acuíferos que fueron utilizados para la emisión de los títulos de concesión, asignación o permisos otorgados por este órgano desconcentrado.

Manual para Evaluar Recursos Hidráulicos Subterráneos, editado por la Comisión Nacional del Agua, a través de la Subdirección General de Administración del Agua, México 1994.

NOM-011-CNA-2000. Norma Oficial Mexicana. Conservación del recurso agua que establece las especificaciones y el método para determinar la disponibilidad media anual de las aguas nacionales. Diario Oficial 17 de abril de 2002. México.

Secretaría de Fomento Agropecuario 2000. Estudio de evaluación de la disponibilidad de agua subterránea en las zonas El Palmar y Saín Alto en el Estado de Zacatecas. Contrato SEFOA 005/00. Realizado por Consultores en agua subterránea S.A.