

SUBDIRECCIÓN GENERAL TÉCNICA
GERENCIA DE AGUAS SUBTERRÁNEAS

**ACTUALIZACIÓN DE LA DISPONIBILIDAD MEDIA ANUAL DE
AGUA EN EL ACUÍFERO SALDAÑA (3234), ESTADO DE
ZACATECAS**

CIUDAD DE MÉXICO, 2024

Contenido

1. GENERALIDADES.....	2
Antecedentes	2
1.1 Localización del acuífero.....	2
1.2 Situación administrativa del acuífero.....	3
2. ESTUDIOS TÉCNICOS REALIZADOS CON ANTERIORIDAD.....	4
3. FISIOGRAFÍA.....	5
3.1 Provincia fisiográfica.....	5
3.2 Clima	6
3.3 Hidrografía	7
3.4 Geomorfología	8
4. GEOLOGÍA.....	8
4.1 Estratigrafía.....	10
4.2 Geología estructural	13
4.3 Geología del subsuelo	14
5. HIDROGEOLOGÍA.....	15
5.1 Tipo de acuífero	15
5.2 Parámetros hidráulicos.....	16
5.3 Piezometría	16
5.4 Comportamiento hidráulico	16
5.4.1 Profundidad al nivel estático	16
5.4.2. Elevación del nivel estático.....	17
5.4.3 Evolución del nivel estático	18
5.5 Hidrogeoquímica y calidad del agua subterránea.....	19
6. CENSO DE APROVECHAMIENTOS E HIDROMETRÍA	20
7. BALANCE DE AGUAS SUBTERRÁNEAS	20
7.1 Entradas	21
7.1.1 Recarga vertical (Rv).....	21
7.1.2 Entradas por flujo subterráneo horizontal (Eh).....	22
7.2 Salidas.....	23
7.2.1 Bombeo (B)	23
7.2.2 Salidas por flujo subterráneo horizontal (Sh)	23
7.3 Cambio de almacenamiento (ΔV_S).....	24
8. DISPONIBILIDAD	25
8.1 Recarga total media anual (R)	25
8.2 Descarga natural comprometida (DNC)	25
8.3 Volumen de extracción de aguas subterráneas (VEAS).....	26
8.4 Disponibilidad media anual de agua subterránea (DMA)	26
9. BIBLIOGRAFÍA	27

1. GENERALIDADES

Antecedentes

La Ley de Aguas Nacionales (LAN) y su Reglamento contemplan que la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) debe publicar en el Diario Oficial de la Federación (DOF), la disponibilidad de las aguas nacionales, en el caso de las aguas subterráneas esto debe ser por acuífero, de acuerdo con los estudios técnicos correspondientes y conforme a los lineamientos que considera la “NORMA Oficial Mexicana NOM-011-CONAGUA-2015, Conservación del recurso agua- Que establece las especificaciones y el método para determinar la disponibilidad media anual de las aguas nacionales”. Esta norma ha sido preparada por un grupo de especialistas de la iniciativa privada, instituciones académicas, asociaciones de profesionales, gobiernos estatales y municipales y de la CONAGUA.

La NOM establece para el cálculo de la disponibilidad de aguas subterráneas la realización de un balance de las mismas donde se defina de manera precisa la recarga, de ésta deducir los volúmenes comprometidos con otros acuíferos, la demanda de los ecosistemas y el volumen de extracción de aguas subterráneas.

Los resultados técnicos que se publiquen deberán estar respaldados por un documento en el que se sintetice la información, se especifique claramente el balance de aguas subterráneas y la disponibilidad de agua subterránea susceptible de concesionar.

La publicación de la disponibilidad servirá de sustento legal para la autorización de nuevos aprovechamientos de agua subterránea, transparentar la administración del recurso, planes de desarrollo de nuevas fuentes de abastecimiento, resolver los casos de sobreexplotación de acuíferos y la resolución de conflictos entre usuarios.

1.1 Localización del acuífero

El acuífero Saldaña, definido con la clave 3234 por la Comisión Nacional del Agua, se localiza en la porción suroriental del estado de Zacatecas, en el límite con el estado de San Luis Potosí entre los paralelos 22°21'20" y 22°31'15" de latitud norte y entre los meridianos 101°17'11" y 101°27'11" de longitud oeste, cubriendo una superficie aproximada de 132 km².

Limita al norte y oeste con el acuífero Espíritu Santo, perteneciente al estado de Zacatecas, y al este y sur con el acuífero Ahualulco, del estado de San Luis Potosí (figura 1). Geopolíticamente, su territorio se ubica totalmente dentro del municipio de Pinos.

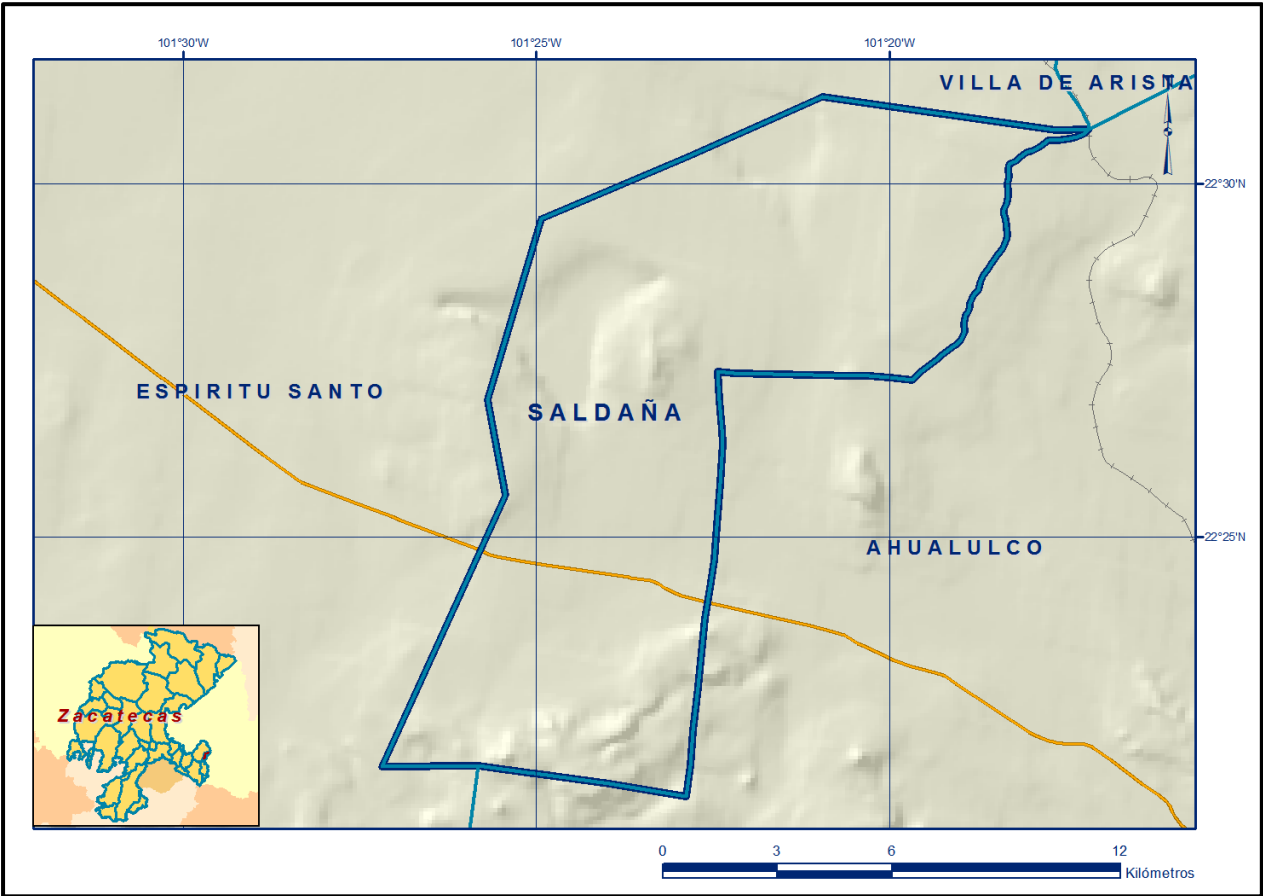


Figura 1. Localización del acuífero

La poligonal simplificada que delimita el acuífero se encuentra definida por los vértices cuyas coordenadas se muestran en la tabla 1.

Tabla 1. Coordenadas de la poligonal simplificada que delimitan al acuífero

ACUIFERO 3234 SALDAÑA							
VERTICE	LONGITUD OESTE			LATITUD NORTE			OBSERVACIONES
	GRADOS	MINUTOS	SEGUNDOS	GRADOS	MINUTOS	SEGUNDOS	
1	101	25	49.6	22	21	46.7	
2	101	27	11.2	22	21	45.5	
3	101	25	26.1	22	25	36.2	
4	101	25	41.2	22	26	57.1	
5	101	24	56.1	22	29	30.5	
6	101	22	49.2	22	30	23.8	
7	101	20	57.1	22	31	13.9	
8	101	17	38.9	22	30	45.3	
9	101	17	11.1	22	30	46.1	DEL 9 AL 1 POR EL LIMITE ESTATAL
1	101	25	49.6	22	21	46.7	

1.2 Situación administrativa del acuífero

El acuífero Saldaña pertenece a la Región Hidrológico-Administrativa Organismo de Cuenca VII “Cuencas Centrales del Norte”, al Consejo de Cuenca “Altiplano”, instalado el 23 de noviembre del 1999, y es jurisdicción territorial de la Dirección Local Zacatecas.

Su territorio se encuentra totalmente vedado y sujeto a las disposiciones del “Decreto por el que se declara de interés público la conservación de los mantos acuíferos en los Municipios de Noria de Ángeles, Pinos, etc., ubicados en el Estado de Zacatecas”, publicado en el Diario Oficial de la Federación (DOF) el 9 de febrero de 1978. Esta veda es de tipo II en la que la capacidad de los mantos acuíferos sólo permite extracciones para usos doméstico y abrevadero que se realicen por medios manuales.

De acuerdo con la Ley Federal de Derechos en Materia de Agua 2024, el acuífero se clasifica como zona de disponibilidad 3. El uso principal del agua subterránea es el agrícola. En la superficie del acuífero no se localiza ningún distrito o unidad de riego, ni se ha constituido a la fecha el Comité Técnico de Aguas Subterráneas (COTAS).

2. ESTUDIOS TÉCNICOS REALIZADOS CON ANTERIORIDAD

En el área que comprende el acuífero se han realizado varios estudios hidrogeológicos de exploración y evaluación; a continuación, se citan los más importantes:

ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO PRELIMINAR DE LA CUENCA DE PINOS, MUNICIPIO DE PINOS, ZAC. Realizado por Acuífero S. A., para la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos, en el año 1978. El estudio comprendió una superficie total de 1,297 km², fue elaborado con el fin de identificar zonas de interés geohidrológico para la explotación de los recursos hidráulicos del subsuelo, y determinar los parámetros hidráulicos que rigen el funcionamiento del acuífero. Las actividades consistieron en la verificación geológica de campo (geología, contactos litológicos 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. Realizado por Técnicos Asesores y Constructores S. A., para la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos, en el año 1981. Este comprendió una superficie aproximada de 5,000 km², incluyendo a los acuíferos Pinos, Espíritu Santo, Pino Suárez y Saldaña, todos ellos en el estado de Zacatecas. Los objetivos fueron identificar las estructuras y unidades

geohidrológicas del subsuelo con posibilidades de almacenar agua subterránea y localizar las áreas favorables para la perforación de pozos exploratorios. Entre sus actividades de campo más importantes destacan el inventario de aprovechamientos de aguas subterráneas, muestreo de agua, interpretación fotogeológica e hidrogeológica, con verificación de campo, así como exploraciones geofísicas. Concluye la existencia de un acuífero principal, ubicado en los materiales clásticos del cuaternario, conformado por conglomerados poco cementados y rellenos aluviales. Recomienda áreas favorables para la perforación de pozos.

REACTIVACIÓN DE REDES DE MONITOREO PIEZOMÉTRICO Y DE CALIDAD DE AGUA, EN LOS ACUÍFEROS DE: GUADALUPE DE LAS CORRIENTES, PUERTO MADERO, VILLA HIDALGO, PINOS Y ESPIRITU SANTO, EN EL ESTADO DE ZACATECAS. Realizado por Ingeniería y Gestión Hídrica S.C., para la Comisión Nacional del Agua, en el año 2010. El objetivo del estudio fue actualizar el conocimiento del flujo subterráneo, profundidad, elevación y evolución de los niveles del agua subterránea, mediante la obtención de información procedente de las redes de monitoreo piezométrico y de calidad del agua de 5 acuíferos del estado de Zacatecas, cubrió también el área del acuífero Saldaña. Los trabajos contemplaron mediciones piezométricas en pozos de la red de monitoreo, además la nivelación de brocales y toma de muestra de agua para análisis fisicoquímico.

INFORMACIÓN PIEZOMÉTRICA E HIDROMÉTRICA DEL ACUÍFERO SALDAÑA, ZACATECAS. Comisión Nacional del Agua, Dirección Local Zacatecas, 2019. Se utilizó la información piezométrica para la elaboración de las configuraciones del nivel estático y la hidrometría para cuantificar el volumen de extracción.

El último estudio y la piezometría obtenida por la Dirección Local Zacatecas, son la base para la elaboración del presente documento, por lo que sus conclusiones y resultados se analizan en los apartados correspondientes.

3. FISIOGRAFÍA

3.1 Provincia fisiográfica

De acuerdo con la clasificación de E. Raisz (1964), el área que cubre el acuífero se ubica totalmente dentro de la provincia fisiográfica Mesa Central. Por otro lado, de acuerdo con la regionalización fisiográfica del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI, 1981), el acuífero se ubica en la provincia fisiográfica Mesa del Centro, en la subprovincia Llanuras y Sierras Potosino-Zacatecanas.

La Mesa Central es una gran cuenca rodeada por montañas más elevadas, más alta y más plana que la provincia Cuencas y Sierras, tiene áreas poco elevadas, disectadas por las rocas volcánicas. Se trata de una planicie elevada que se localiza en la parte central de México, más de la mitad de su superficie se encuentra por encima de la cota 2000 msnm y las elevaciones en su interior son moderadas, con desniveles inferiores a los 600 m. En la subprovincia Llanuras y Sierras Potosino-Zacatecanas dominan extensos terrenos áridos con lomeríos en la porción noreste y sierras bajas en la región sureste. En la región suroccidental existen dos llanuras aluviales de extensión considerable, pero lo que caracteriza a esta subprovincia, especialmente a su porción occidental, es la gran llanura desértica que se extiende en territorio del límite entre los estados de Zacatecas y San Luis Potosí, con piso de caliche, que se localiza a una altitud promedio de 2,000 msnm.

En el área, los rasgos fisiográficos que predominan son bajadas aluviales, donde se acumularon depósitos aluviales, lacustres y tobas de granulometría variable; se observan también pequeñas mesetas y cerros relictos, que se presentan de manera aislada dentro de las bajadas aluviales. Estas unidades se encuentran delimitadas, en su porción sur, por lomeríos con bajadas y sierras altas con mesetas.

3.2 Clima

De acuerdo con la clasificación de Köppen, modificada por Enriqueta García en 1964 para las condiciones de la República Mexicana, en la totalidad de la superficie del acuífero prevalece el clima semiseco templado BS₁kw. El clima seco estepario (BS), corresponde con el más seco de este tipo de climas, subtipo semiseco (1), con grado de humedad mayor que 22.9 (coeficiente que resulta de la relación precipitación/temperatura). Su condición de temperatura (k), es una característica establecida considerando las temperaturas medias anuales del mes más frío y del más cálido, templado con verano cálido. El régimen de lluvia (w), define el comportamiento de la lluvia durante el año, indica la temporada en la que se concentra la mayor cantidad, en este caso es en verano, cuando el mes de máxima precipitación cae dentro del período mayo-octubre, donde se recibe por lo menos diez veces mayor cantidad de precipitación que el mes más seco del año. El último término (w) indica que su porcentaje de lluvia invernal (cantidad de lluvia que precipita en este periodo con respecto a la total anual), varía entre 5 y 10.2. Se caracteriza por presentar una temperatura media anual que varía entre 18 y 22 °C, la temperatura media del mes más frío es menor de 18 °C, con invierno fresco y régimen de lluvias en verano.

Para la determinación de las variables climatológicas se utilizó la información de 6 estaciones climatológicas que tienen influencia en el área del acuífero: Pino Suárez, Pinos, Espíritu Santo, El Grito, Los Pilares y Mexquitic. Con los registros obtenidos para diferentes periodos de años, el más grande 1947-2018 y el más corto 1980-2018, se determinaron valores de precipitación, temperatura y evaporación potencial media anual de **404.9 mm, 16.6 °C y 1,926.8 mm**, respectivamente.

El régimen pluvial presenta, en términos generales, dos períodos de ocurrencia: uno en verano de junio a septiembre, cuando se registran los valores más altos, y otro de lluvias invernales que se registran de noviembre a febrero, con precipitaciones menos significativas provocadas principalmente por los frentes fríos que afectan a la región. La temporada de total estiaje ocurre de marzo a mayo, la región presenta heladas en un rango de 20 a 40 días por año y granizadas de 0 a 2 días anuales, con presencia de condiciones de canícula.

3.3 Hidrografía

El acuífero se ubica dentro de la Región Hidrológica número 37 El Salado, que se caracteriza por estar constituida por una serie de cuencas cerradas de muy diferentes dimensiones y en su mayor extensión carece de corrientes superficiales permanentes. El área pertenece a la porción occidental de la cuenca cerrada denominada Presa San José – Los Pilares y Otras, cuya mayor extensión se localiza en el estado de San Luis Potosí, y solo una pequeña fracción en el estado de Zacatecas. Comprende también ocupa también una porción de la cuenca Presa San Pablo y Otras.

En el área no existen corrientes superficiales importantes, el drenaje está integrado por pequeños arroyos de régimen intermitente y de carácter torrencial, que drenan hacia el estado de San Luis Potosí; destacan los arroyos La Soledad, que atraviesa el área en su porción central de poniente a oriente, El Gato, El Rincón Grande, La Azucena y Jabalí. Dentro de la zona se localizan algunos almacenamientos superficiales en forma de tanques y pequeños bordos de poca capacidad de almacenamiento, pero dada la escasez son de gran importancia para el abastecimiento de las necesidades del uso doméstico y abrevadero de la región; destacan entre ellos los denominados Tanque San José y el Bordo Noria El Coyote, localizados al noreste de la Comunidad Saldaña, y las lagunas Honda y Salada, esta última ubicada en la porción norte del acuífero.

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 su 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 Cenozoico al Reciente. Estas cuencas fueron delimitadas por bloques positivos de elevación media a baja constituidos por derrames de lava y tobas de composición riolítica. Los lomeríos que se observan, están constituidos por areniscas y lutitas plegadas. Las mesetas de cimas planas y alargadas están constituidas por riolitas, tobas arenosas e ignimbritas.

El rasgo geomorfológico más sobresaliente es el cerro El Pelón, con una altitud de 2,380 msnm, ubicado en la porción central de la zona, que está constituido principalmente por calizas. El llano presenta elevaciones medias del orden de 2,100 msnm. De acuerdo a lo anterior, se considera que zona corresponde a un llano circundado por lomeríos y mesetas de poca elevación, característico de un ciclo geomorfológico de madurez.

4. GEOLOGÍA

A nivel regional, el marco geológico de la zona en la que se ubica el acuífero está representado por los eventos relacionados con el establecimiento de la Sierra Madre Occidental y la evolución del Terreno Guerrero, definido por Campa et al. (1983), que presentan características litoestratigráficas diferentes. De esta manera, del Terreno Guerrero se presentan unidades metamorfizadas de edad Cretácico y unidades de origen volcánico del Cenozoico pertenecientes a la Sierra Madre Occidental. Completan la columna unidades de edad cuaternaria que consisten en basaltos y materiales aluviales. La estratigrafía de la Cuenca Mesozoica del Centro de México es la siguiente: la base de la columna presenta una secuencia de esquistos y filitas conocida como Formación Zacatecas; de edad Cárnico inferior de acuerdo a la fauna reportada. Del Jurásico aflora una secuencia calcárea marina depositada en un ambiente nerítico de aguas tranquilas, perteneciente a la Formación Zuloaga, sobreyacida concordantemente por una secuencia calcárea depositada en un ambiente de escasa energía correspondiente a la Formación La Caja. Del Cretácico existen pequeños afloramientos de la Formación Taraises, constituida por una alternancia de caliza y lutita que descansan, de manera concordante y transicional,

sobre La Formación Cupido constituida por una alternancia de calizas y lutitas. Descansando transicionalmente la Formación La Peña, de edad aptiana, consiste de calizas arcillosas y lutitas. Distribuida en la porción central de la región se observa la Formación Cuesta del Cura constituida por una secuencia de calizas y lutitas de edad Albiano-Cenomaniano, que subyace por relación concordante y transicional a la Formación Indidura la cual está constituida por una alternancia de caliza y lutita de edad Turoniano depositada en agua tranquila poco profunda; encima transicionalmente se tiene a lutitas y areniscas de la formación Caracol de edad del Coniaciano al Maestrichtiano (Carta Geológico-Minera San Luis Potosí F14-4. Escala 1:250,000. SGM, 1998).

Durante el Cenozoico en el occidente de México se presentó la influencia de un arco magmático generado por la tectónica convergente, dando lugar a la emisión de rocas volcánicas que conforman la Sierra Madre Occidental. Mc Dowell et al. (1979) establece que la sierra está constituida por dos secuencias ígneas: Una inferior que consta principalmente de rocas ígneas intermedias con edades que varían de 45 a 95 Ma (Paleoceno) y que corresponden con derrames, flujos piroclásticos y algunas intercalaciones de flujos ignimbríticos. La secuencia superior y más reciente está integrada por una potente cubierta de ignimbritas que de acuerdo con Demant et al. (1975) puede alcanzar 1,000 m de espesor, cuya edad se considera entre 27 y 34 Ma (Oligoceno). En el Cenozoico también se deposita discordantemente un conglomerado polimíctico constituido por fragmentos de calizas y rocas volcánicas, con espesor de 130 m.

Sobreyaciendo a los conglomerados, se depositaron derrames de composición andesítica del Eoceno, sobreyacidos por una secuencia de rocas volcánicas del Oligoceno, constituida por brecha volcánica andesítica, derrames riolíticos, riódacíticos, andesíticos, dacíticos, latíticos, tobas riolítica, e ignimbritas que han sido fechadas por el método radiométrico K/Ar entre 30.6 ± 5 y 29.0 ± 1.5 Ma. Del Neógeno se tiene un conglomerado polimíctico constituido por fragmentos subredondeados de areniscas y rocas volcánicas de composición riolítica, areniscas y limos semiconsolidados. Al Cuaternario corresponden gravas y boleos no consolidados, basaltos con xenolitos de granulita y tobas basálticas. Cubriendo a todas las formaciones, en zonas muy extensas se depositaron aluviones con diversas granulometrías, producto erosivo de las rocas preexistentes (figura 2).

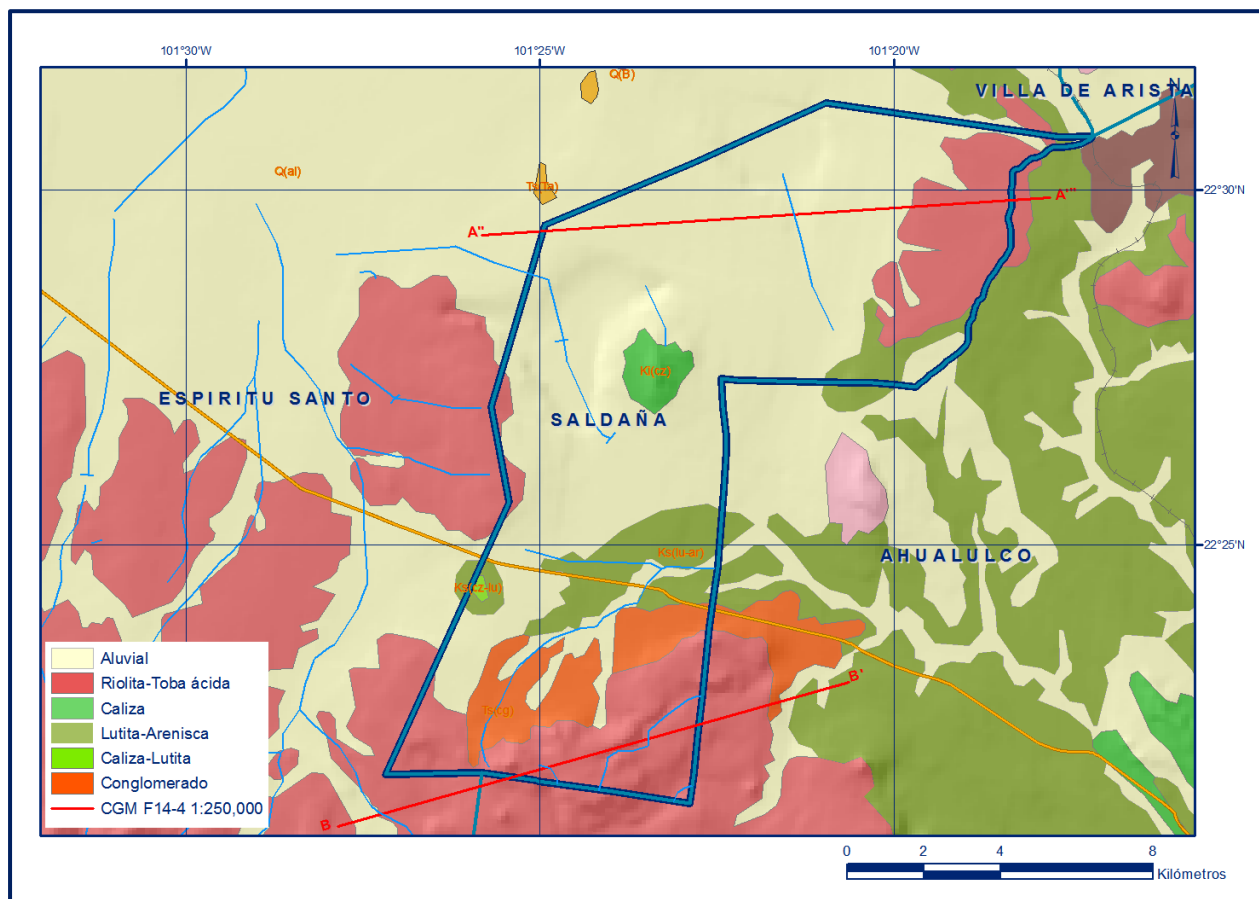


Figura 2. Geología general del acuífero

4.1 Estratigrafía

En la superficie cubierta por el acuífero afloran rocas sedimentarias marinas y continentales, rocas volcánicas, así como depósitos aluviales, cuyo registro estratigráfico comprende del Cretácico Inferior al Reciente. A continuación, se presenta la descripción de cada una de ellas.

CUENCA MESOZOICA DEL CENTRO DE MÉXICO

CRETÁCICO

Formación Cuesta del Cura

Secuencia de calizas compactas, de estratificación delgada y ondulada, con nódulos y bandas de pedernal e intercalaciones delgadas de arcilla. La unidad consiste de calizas tipo “mudstone”, dispuestas en capas que varían de 10 a 25 cm de potencia. La relación con la Formación La Peña es por medio de contacto nítido, mientras que el contacto superior con los sedimentos calcáreos-arcillosos de la Formación Indidura es concordante. El depósito de esta unidad se llevó a cabo en una zona de mar abierto, en un ambiente de cuenca poco profunda. Sus afloramientos no están bien expuestos,

se considera que esta formación constituye las barreras laterales y basamento del acuífero. No se pudo medir su sección estratigráfica, pero se estima que puede alcanzar en la zona más de 200 m de espesor. Su edad fue establecida por correlación y por su relación con las rocas sobreyacientes ya que no se encontraron horizontes fosilíferos para su datación. Se le asigna una edad que abarca desde el Albiano Medio hasta el Cenomaniano Temprano. Se determinó que el depósito de estos sedimentos se llevó a cabo en aguas de profundidad media en la zona infranerítica.

Formación Indidura

Se encuentra constituida en general por una secuencia calcárea arcillosa, conformada por calizas arcillosas, en capas que van de 5 a 40 cm de potencia, con intercalaciones de calizas y lutitas calcáreas laminares. La parte superior está formada de una lutita gris muy homogénea, fácilmente erosionable, que, en la parte más alta, casi en contacto con la Formación Caracol, presenta un cambio de facies a una lutita arenosa. No se pudo determinar su espesor, pero se estima que puede superar los 200 m. 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. Sus afloramientos se encuentran al occidente de la Comunidad Saldaña, los cuales constituyen cerros de poca altitud y de pendiente suave que se caracterizan por su falta de vegetación, por lo que son fáciles de reconocer. Sobreyace de manera concordante a la Formación Cuesta del Cura y subyace de igual manera la Formación Caracol. El depósito de esta unidad ocurrió en un medio ambiente de mar abierto, con una aportación intermitente de clásticos pelíticos, bajo condiciones tectónicas inestables de relleno de cuenca.

Formación Caracol

Esta unidad está compuesta de areniscas de grano medio, con cementante calcáreo y matriz arcillosa, en capas de 20 cm de espesor, que muestran estratificación cruzada y turboglifos; intercaladas con limolitas y lutitas y ocasionalmente con margas. Las lutitas son moderadamente calcáreas y suaves, de color oscuro, localmente con ligero contenido de arena, mientras que la arenisca está bien consolidada y es resistente; está dispuesta en capas delgadas y gruesas que tienen colores gris pardo y verdoso. Se estima que su espesor puede alcanzar los 1,000 m de potencia; en el área, el contacto inferior con la Formación Indidura es transicional y concordante; mientras que el superior está cubierto de manera discordante por materiales más recientes. De las rocas sedimentarias que afloran en la superficie que comprende al acuífero, las de esta formación son las más abundantes. Se encuentran aflorando en la zona centro y oeste de la cuenca, en las cercanías de la localidad Saldaña; en el llano se encuentra

parcialmente cubierta y en las sierras se presenta en las partes bajas, su topografía es redondeada y de poca altitud. La edad de esta unidad se ha establecido por su relación con las rocas adyacentes, ya que no contiene fósiles para su datación. Así se le asigna un alcance Coniaciano-Santoniano, perteneciente al Cretácico Superior.

TERRENO SIERRA MADRE

CENOZOICO

Volcánico Riolítico

El paquete de rocas volcánicas que fueron eyectadas durante el Cenozoico está conformado por una gran diversidad de composiciones, predominando la riolítica asociada al Grupo Volcánico Superior de la Sierra Madre Occidental, y únicamente hacia la base de la secuencia se presentan delgados horizontes andesíticos. A continuación, se presenta la descripción de las diferentes rocas volcánicas cenozoicas.

Ignimbritas

Esta unidad está ampliamente distribuida en la región ocupando diferentes niveles estratigráficos dentro de la secuencia volcánica cenozoica. Aflora en forma de cuerpos tabulares, conformando la morfología característica de mesetas o rellenando fosas y depresiones, son de color rosa grisáceo y rosa pardo que intemperizan a color pardo rojizo y pardo grisáceo. Generalmente presentan estructura de aspecto masivo con abundantes vesículas originadas por el escape de gases y fragmentos de pómez, así como bandeamiento que indica el flujo de las lavas. Afloran ampliamente en la porción sur del área, en las sierras y mesetas que delimitan el llano.

Riolitas

Agrupan flujos y estructuras dómicas formados por lavas de composición riolítica, conformando los elementos topográficos de mayor elevación. Se presenta en forma de derrames de lava, de color rosa claro, en ocasiones con tonos pardos y rojizos, que al intemperismo muestran color pardo rosado o rosa grisáceo; con estructuras masivas y fluidal. Generalmente constituye domos y en donde presenta escarpes se desarrolla fracturamiento vertical que ocasiona la formación de columnas. Afloran al sur de la localidad Saldaña.

CUATERNARIO

Conglomerado Polimítico

Conglomerado formado por fragmentos angulosos a subredondeados de calizas y areniscas, comúnmente sin estratificación, ocasionalmente deleznable y mal clasificado, empacados en matriz areno-arcillosa y en algunas veces tobácea,

dispuestos en capas y de coloración café claro. Ocasionalmente presenta intercalaciones de estratos de arena y arcilla, cuyo espesor no sobrepasa los 20 m. Aflora en la porción central del acuífero, en las partes bajas del cerro El Pelón. Descansa discordantemente sobre rocas sedimentarias marinas y rocas volcánicas. De acuerdo a su posición estratigráfica se le asigna la edad del Pleistoceno.

Aluvión

Unidad detrítica no consolida de origen aluvial y fluvial, constituida por depósitos recientes formados por sedimentos de formas subredondeadas a redondeadas que son producto de erosión de las rocas existentes y que rellenan el llano y márgenes de ríos y arroyos; así como como por los depósitos residuales y de piedemonte. Litológicamente, los depósitos incluyen arenas de granulometría fina a gruesa, limos, arcillas, gravas y conglomerados mal cementados, bien a mal clasificados. Afloran ampliamente en toda la porción central del llano. Su espesor varía de 5 a 10 m y su edad corresponde al Holoceno.

4.2 Geología estructural

Estructuralmente la región se caracteriza por presentar tres estilos de deformación bien definidos, el primero asociado a una zona de cizalla dúctil que se encuentra en el contacto entre el Terreno Guerrero y la Cuenca Mesozoica del Centro de México (Terreno Sierra Madre), el segundo presente en la parte central de la carta corresponde a plegamientos y cabalgaduras de escala decamétrica con convergencia al oriente, cuyos ejes presentan una orientación general noroeste-sureste y noreste-suroeste, el tercero se asocia a la Plataforma Valles-San Luis Potosí el cual es un sistema de pliegues y cabalgaduras con mecanismos de plegamiento tipo “bending”, producto de la Orogenia Laramide. Durante el Cenozoico principalmente en el Oligoceno-Eoceno se llevó a cabo el emplazamiento de cuerpos ígneos (stocks), originados por una fase distensiva con componente lateral izquierda que ocasionó fallas y grabens con orientación NW-SE. Al occidental del área, grandes yacimientos como son el de Real de Ángeles y El Salvador se asocian a la superposición de las estructuras de la zona de cizalla del límite del Terreno de Guerrero y las estructuras de la fase transtensiva de posible edad oligocena. Por último se superpone una fase distensiva de posible edad pliocuaternaria a la que se asocian derrames de basaltos alcalinos (Carta Geológico-Minera San Luis Potosí F14-4, escala 1:250,000. SGM 1998).

En la región de Espíritu Santo y Saldaña se identificaron estructuras que corresponden a proceso de deformación dúctil-frágil y frágil; del primer proceso se tienen anticlinales y sinclinales simétricos y asimétricos, así como cabalgaduras con orientación NW-SE y

klippes; de los últimos, es posible que su origen se deba al mecanismo de retro cabalgadura, dada la cercanía a la zona de imbricación de los Terrenos Guerrero y Sierra Madre. En general las estructuras relacionadas a la deformación dúctil-frágil, son originadas por mecanismos compresivos regionales ligados a la Orogenia Laramide. La deformación frágil está representada por fallas y se asocia con los procesos distensivos post-laramídicos. La mayoría de los plegamientos tienen una orientación NW-SE y en menor proporción N-S. Las cabalgaduras presentan un patrón paralelo a la zona de imbricación de los Terrenos Guerrero y Sierra Madre. El fallamiento es de tipo normal con dos patrones: el principal NE-SW y otro NW-SE. Regionalmente la principal estructura interpretada presenta una orientación NE-SW, que podría corresponder al “hombro” de una depresión o graben de mayores dimensiones. La deformación y características estructurales, así como la diferencia de composición litológica de los terrenos Guerrero y Sierra Madre, que reflejan diferentes ambientes de depósito, indican un transponte tectónico importante del primer terreno, a partir del Cretácico Tardío, asociado al inicio de la Orogenia Laramide. Con este tipo de procesos, en los cuales se involucra la aloctonía de algunos de los terrenos tectonoestratigráficos identificados en México, generada por tectónica compresiva, produce la acreción o ensamble entre los diferentes terrenos (Carta Geológico-Minera Espíritu Santo F14-A62, escala 1:50,000. SGM, 2007).

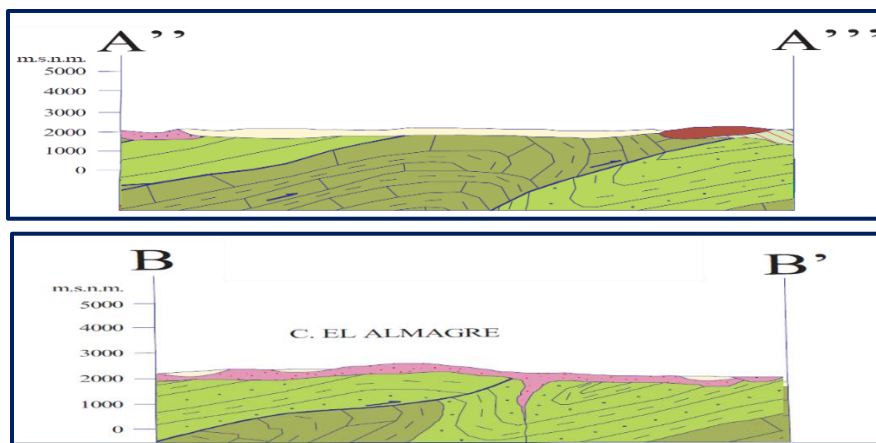
El estilo de deformación de las unidades mesozoicas, observado al suroeste de la zona, en la región de Pinos, está controlado por una zona de cizalla frágil-dúctil, caracterizada por un intenso plegamiento isoclinal con desarrollo de una superficie de anisotropía, localmente plegada y crenulada; comportamiento asociado a las superficies de cabalgamiento. En la región noroccidental el estilo es más frágil y se manifiesta como apilamiento de cabalgaduras. Estos rasgos estructurales se asocian a la traza del límite entre los terrenos Sierra Madre y Guerrero, que se infiere está orientado NW-SE, coincidiendo en forma aproximada con el Campo Volcánico de Pinos. Este límite tectónico se extrapola al noreste hacia Villa de Ramos, y al sureste a Mineral de Pozos y el Cerro La Márgara, Guanajuato, que en el Cenozoico se manifiesta como una zona de debilidad cortical, que es afectado por estructuras de extensión, que se asocian a domos, “plugs” y vetas (Carta Geológico-Minera Pinos F14-A72, escala 1:50,000. SGM, 1999).

4.3 Geología del subsuelo

De acuerdo con la información geofísica obtenida en estudios previos, los cortes litológicos de pozos, las evidencias de campo y la correlación con acuíferos vecinos, es posible definir que el acuífero se encuentra constituido, en su porción superior, por los

depósitos granulares de origen aluvial y fluvial de granulometría variada y los conglomerados polimícticos que rellenan los valles. La porción inferior se aloja en una secuencia de rocas volcánicas de composición riolítica, entre las que predominan las tobas ácidas, riolitas e ignimbritas, y rocas sedimentarias (calizas, lutitas y areniscas) que presentan permeabilidad secundaria por fracturamiento. A mayor profundidad las calizas y areniscas representan un acuífero potencial que puede presentar condiciones de semiconfinamiento, debido a que están sobreyacidas y alternadas por lutitas y limolitas.

Las fronteras y barreras al flujo subterráneo están representadas por las mismas rocas sedimentarias y volcánicas cuando a mayor profundidad desaparece el fracturamiento, y posiblemente por rocas metamórficas y metasedimentarias (figura 3).



Fuente: Carta Geológico-Minera F14-4, "San Luis Potosí" Esc. 1:250,000 (SGM, 1998)

Figura 3. Secciones geológicas esquemáticas

5. HIDROGEOLOGÍA

5.1 Tipo de acuífero

De acuerdo con la información geológica, geofísica, hidrogeológica y piezométrica, es posible definir la presencia de un acuífero de **tipo libre**, heterogéneo y anisótropo, constituido en su porción superior por sedimentos aluviales y fluviales, de granulometría variada y conglomerados, cuyo espesor puede alcanzar algunas decenas de metros en el centro del llano de piso rocoso; su espesor medio es del orden de 100 m. La porción inferior se aloja en una secuencia de rocas volcánicas y sedimentarias que presentan permeabilidad secundaria por fracturamiento. A mayor profundidad las calizas y areniscas representan un acuífero potencial que puede presentar condiciones de semiconfinamiento, debido a que están sobreyacidas y alternadas con lutitas y limolitas.

En el llano se pueden distinguir tres medios diferentes en los que circula el agua subterránea: El medio poroso con permeabilidad primaria y secundaria e intergranular y de fracturas, el medio fracturado con permeabilidad secundaria y el medio de doble porosidad con permeabilidad combinada, intergranular y de fracturas.

5.2 Parámetros hidráulicos

Debido a la falta de información de parámetros hidráulicos procedentes de pruebas de bombeo realizadas en aprovechamientos localizados en este acuífero, se adoptaron los valores de 34 pruebas de corta duración en etapas de abatimiento y recuperación, realizadas en estudios previos en el acuífero cercano Villa Hidalgo, que tiene el mismo origen, evolución y constitución geológica. De los resultados de su interpretación por métodos analíticos convencionales, se establece que los valores de transmisividad varían de **3.5×10^{-5} a $45.6 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$** ; si consideramos un espesor saturado promedio de 80 m, los valores de conductividad hidráulica varían de **4.4×10^{-7} a $5.7 \times 10^{-4} \text{ m/s}$ (0.04 a 49.2 m/d).**

Adicionalmente, se cuenta con información de 15 aforos realizados en el acuífero vecino Espíritu Santo, mediante los cuales se obtuvo el caudal específico (Q_e), como una estimación aproximada de la transmisividad (T), según la relación siguiente: $Q_e \text{ (lps/m)} \approx T \text{ (} \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s})$. Los valores obtenidos varían de **0.01 a 1.11 lps/m**. El caudal específico obtenido en el pozo de agua potable de la Comunidad Saldaña es de 0.10 lps/m.

Para el caso del rendimiento específico, de acuerdo al tipo y características de los materiales que constituyen el subsuelo de la región, se adoptó un valor de **0.05**.

5.3 Piezometría

Para el análisis del comportamiento de los niveles del agua subterránea, se cuenta con la información recabada por la Dirección Local Zacatecas de la Comisión Nacional del Agua para varios años. Para el balance de aguas subterráneas se eligió el periodo 2008-2018, que es el que tiene mayor y mejor cobertura espacial.

5.4 Comportamiento hidráulico

5.4.1 Profundidad al nivel estático

La configuración de profundidad al nivel estático para el año 2018, que se restringen únicamente a los aprovechamientos localizados en el valle de Saldaña; muestra que los valores varían, de manera general, de 1 a 25 m, los cuales se incrementan por efecto de la topografía desde la zona entorno de dicha localidad hacia las estribaciones de los

lomeríos que lo delimitan y conforme se asciende a lo largo del arroyo La Soleada. Los niveles más someros, de menores de 5 m, se registran en el subálveo de dicho arroyo (figura 4).

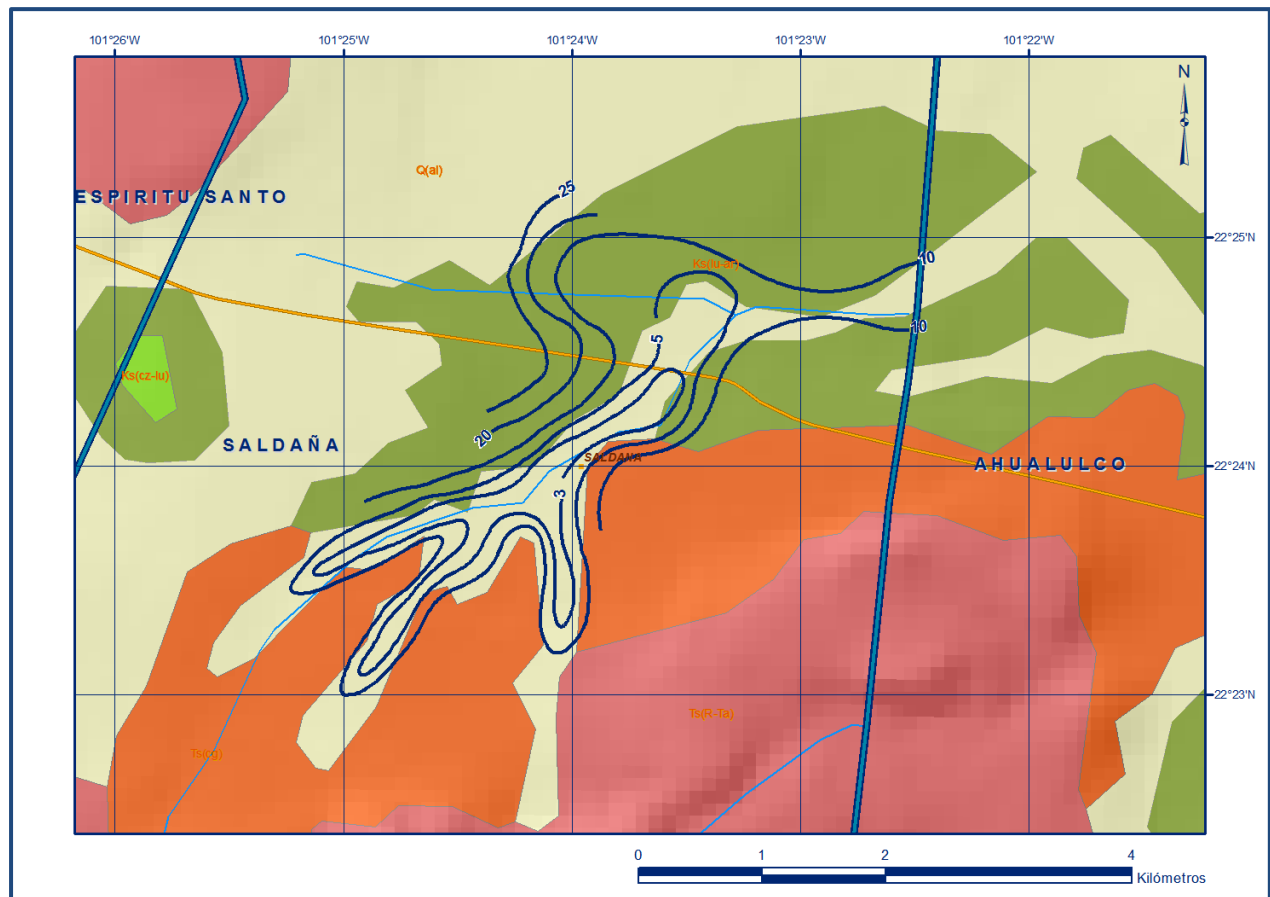


Figura 4. Profundidad al nivel estático en m (2018)

5.4.2. Elevación del nivel estático

La elevación del nivel estático en el año 2018 registró valores que varían de 2,160 a 2,115 msnm. Las menores elevaciones, de 2,115 a 2,120 msnm, se registran en la porción suroriental del acuífero, en el límite con el acuífero Ahualulco del estado de San Luis Potosí, desde donde se incrementan gradualmente a lo largo del cauce del arroyo La Soleada, mostrando de esta manera la dirección preferencial del flujo subterráneo W-E, hacia el acuífero Ahualulco, en el estado de San Luis Potosí (figura 5).

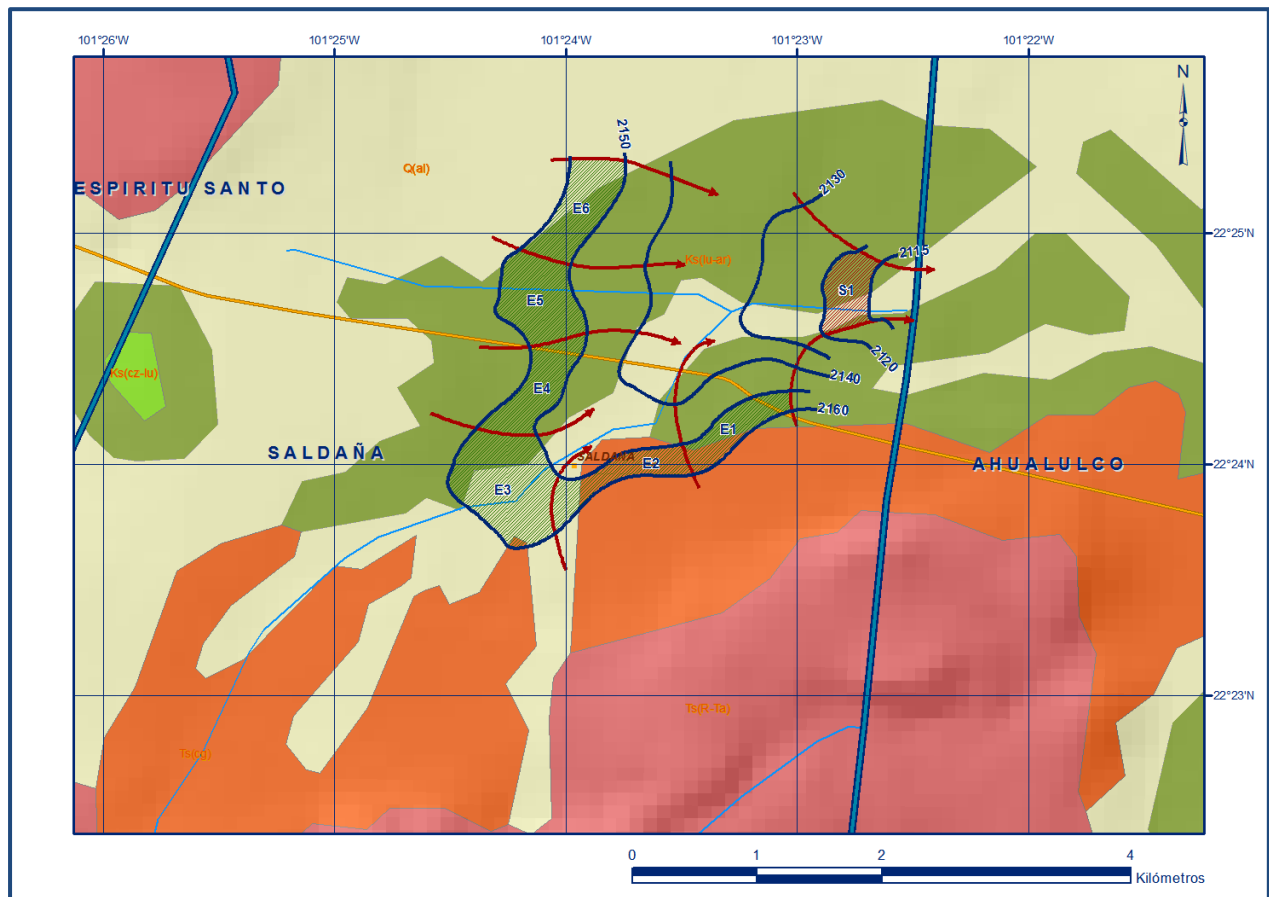


Figura 5. Elevación del nivel estático en msnm (2018)

5.4.3 Evolución del nivel estático

La configuración de evolución del nivel estático para el periodo 2008-2018 registró valores poco significativos en la posición de los niveles el agua subterránea; únicamente se presentan valores de recuperación de 1 m, con máximo puntual de 2 m, que representan 0.1 a 0.2 m anuales para el periodo analizado (figura 6).

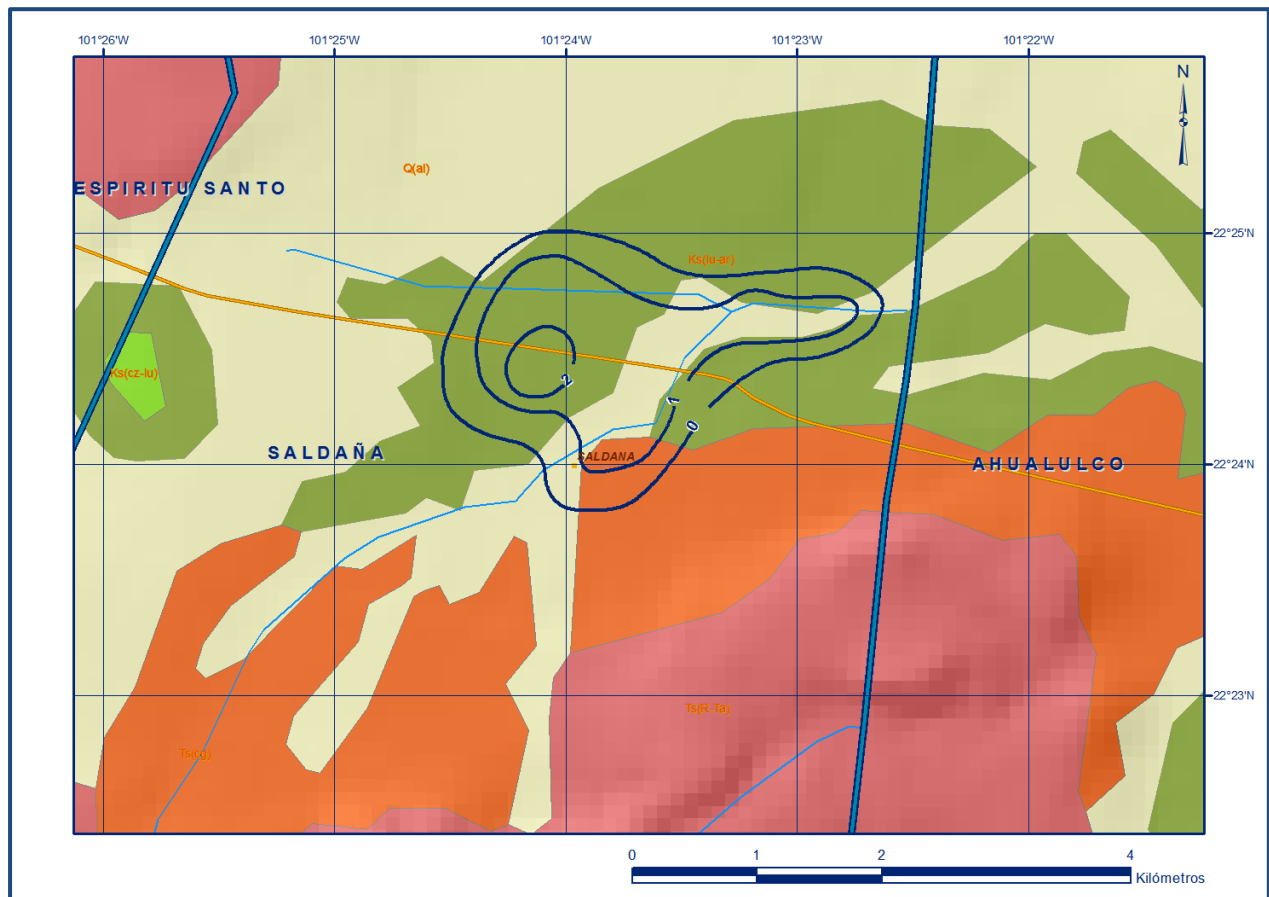


Figura 6. Evolución del nivel estático en m (2008-2018)

5.5 Hidrogeoquímica y calidad del agua subterránea

La información hidrogeoquímica más reciente es la obtenida durante los trabajos de campo realizados para el estudio de prospección del año 1981, en el que se recolectaron y analizaron un total de 70 muestras. La interpretación hidrogeoquímica se llevó a cabo con base en 26 de estas muestras, que son las que se encuentran ubicadas dentro del límite del acuífero y en el acuífero vecino Espíritu Santo, que presenta características litológicas y condiciones hidrogeológicas similares. Las determinaciones incluyeron parámetros fisicoquímicos como temperatura, conductividad eléctrica, sólidos totales disueltos (STD), potencial de hidrógeno (pH), dureza total, alcalinidad, así como iones principales.

De los resultados obtenidos de los análisis fisicoquímicos, se determinó que los valores de concentración de sólidos totales disueltos (STD) varían de 512 a 844 mg/l, que no superaron el límite máximo permisible de 1000 mg/l establecido por la Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-2021 "Agua para uso y consumo humano. Límites permisibles de la calidad del agua", publicada en el Diario Oficial de la Federación el 2 de mayo del 2022. De acuerdo con la clasificación establecida por la American Public Health

Association (APHA, 1995), el agua del acuífero se clasificó como agua dulce, ya que los valores de conductividad eléctrica fueron inferiores a 2000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y presentó valores extremos de 730 a 1320 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

Las temperaturas registradas variaron de 18 a 31 °C en tanto que el pH medido mostró fluctuaciones entre 6.5 y 7.0. De acuerdo a las concentraciones de elementos mayores por ion dominante, se clasificaron las muestras en el diagrama de Piper y se identificó que el tipo o familia de agua que predomina es la bicarbonatada mixta, que representa agua de reciente infiltración, asociada a rocas volcánicas y calizas, que constituyen las zonas de recarga, formadas por mesetas y lomeríos, que delimitan el acuífero.

Por otra parte, de acuerdo con el criterio de Wilcox, que relaciona la conductividad eléctrica con la Relación de Adsorción de Sodio (RAS), la mayoría de las muestras de agua se clasificó como C_3S_1 , que representa agua de salinidad alta con bajo contenido de sodio intercambiable, que se considera apta para el uso agrícola, en cultivos más tolerantes a la salinidad y en suelos que requieren lavados periódicos.

6. CENSO DE APROVECHAMIENTOS E HIDROMETRÍA

De acuerdo con la información del censo de aprovechamientos, llevado a cabo como parte del estudio realizado en el año 2007 y complementada con datos actuales del Registro Público de Derechos del Agua (REPDA, 2018), se tienen registradas un total de 14 obras que aprovechan el agua subterránea, 5 son pozos y 9 norias; de las cuales 12 están activas y 2 se consideran inactivas. De las obras activas, 2 se destinan al uso agrícola, 5 son para uso público-urbano, 3 tienen un uso múltiple, 1 es pecuario y 1 más para uso doméstico.

El volumen de extracción asciende a **0.2 hm^3 anuales**, de los cuales 0.1 hm^3 (50.0 %) se destinan al uso agrícola, 0.05 hm^3 (25.0 %) para abastecimiento de agua potable a las comunidades de la región, y el restante 0.05 hm^3 (25.0 %) se destina a los usos múltiple, pecuario y doméstico.

7. BALANCE DE AGUAS SUBTERRÁNEAS

El balance de agua subterránea se planteó para el periodo 2008-2018, en una superficie de **10.3 km^2** , que corresponde a la zona donde se cuenta con información piezométrica y en la que se localiza la mayoría de los aprovechamientos subterráneos. 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 establecido. La ecuación general de balance, de acuerdo a la ley de la conservación de masa es la siguiente:

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

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 en el acuífero:

$$\text{Recarga total} - \text{Descarga total} = \text{Cambio de almacenamiento}$$

7.1 Entradas

De acuerdo con el modelo conceptual de funcionamiento hidrodinámico del acuífero, la recarga total que recibe el acuífero (R) ocurre por tres procesos naturales principales: por infiltración de agua de lluvia en los valles y por infiltración de los escurrimientos de los arroyos principales, que en conjunto se consideran como recarga vertical (Rv), y por flujo subterráneo horizontal (Eh).

De manera incidental, la infiltración de los excedentes del agua destinada al uso agrícola, que representa la ineficiencia en la aplicación del riego en la parcela; del agua residual de las descargas urbanas y de las pérdidas en las redes de distribución de agua potable, constituyen otra fuente de recarga al acuífero (Ri). Para este caso, debido a que los volúmenes utilizados para uso público-urbano y agrícola son incipientes, para fines del balance de agua subterránea se considera que no existe recarga incidental.

7.1.1 Recarga vertical (Rv)

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

$$Rv + Eh - B - Sh - ETR = \pm \Delta V(S) \quad (1)$$

Donde:

Rv=	Recarga vertical
Eh=	Entradas por flujo subterráneo horizontal
B=	Bombeo
Sh=	Salidas por flujo subterráneo horizontal
ETR=	Evapotranspiración
$\Delta V(S)=$	Cambio de almacenamiento

De esta manera, despejando la recarga vertical, se obtiene la siguiente ecuación:

$$Rv = B + Sh + ETR \pm \Delta V(S) - Eh \quad (2)$$

7.1.2 Entradas por flujo subterráneo horizontal (Eh)

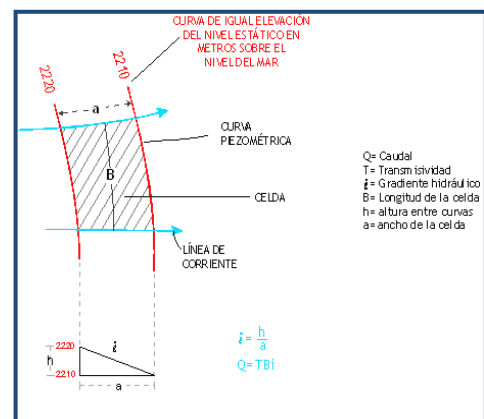
Una fracción del volumen de lluvias que se precipita en las zonas topográficamente más altas del acuífero se infiltra por las fracturas de las rocas que forman parte de ellas y a través del piedemonte, para posteriormente recargar al acuífero en forma de flujos subterráneos que alimentan la zona de explotación. La recarga al acuífero tiene su origen en la precipitación pluvial sobre la llanura y en la infiltración de los escurrimientos superficiales.

El cálculo de entradas por flujo horizontal se realizó con base en la Ley de Darcy, partiendo de la configuración de elevación del nivel estático para el año 2018 (figura 5), mediante la siguiente expresión:

$$Q = T * B * i$$

Donde:

Q=	Gasto;
T=	Transmisividad;
B=	Longitud de la celda;
i=	Gradiente hidráulico;



La recarga total por flujo horizontal es la suma de los caudales de cada una de las celdas establecidas, en la tabla 2 se observan los valores obtenidos en cada celda. El volumen total de entradas por flujo subterráneo horizontal asciende a **0.9 hm³ anuales**.

Tabla 2. Cálculo de las entradas por flujo subterráneo horizontal (2018)

CELDA	LONGITUD B (m)	ANCHO a (m)	h_2-h_1 (m)	Gradiente i	T (m^2/s)	CAUDAL Q (m^3/s)	VOLUMEN ($hm^3/año$)
E1	928	240	10	0.0417	0.0001	0.0039	0.1
E2	1099	188	10	0.0532	0.0001	0.0058	0.2
E3	865	690	10	0.0145	0.0010	0.0125	0.4
E4	847	350	10	0.0286	0.0001	0.0024	0.1
E5	696	569	10	0.0176	0.0001	0.0012	0.0
E6	907	333	10	0.0300	0.0001	0.0027	0.1
TOTAL							0.9

Los valores de transmisividad utilizados para el cálculo de las entradas y salidas subterráneas, fueron obtenidos de pruebas de bombeo realizadas en estudios previos, es este acuífero y otros colindantes, que tienen el mismo origen, evolución y constitución geológica, adaptados al espesor saturado de las distintas zonas.

7.2 Salidas

La descarga del acuífero ocurre de manera artificial por bombeo (B); en forma natural mediante salidas subterráneas horizontales (Sh) y por evapotranspiración (ETR) en la zona de niveles freáticos someros.

7.2.1 Bombeo (B)

Como se menciona en el apartado de censo e hidrometría, el valor calculado de la extracción por bombeo es de **0.2 hm^3 anuales**.

7.2.2 Salidas por flujo subterráneo horizontal (Sh)

Las salidas subterráneas fueron calculadas de la misma manera como se evaluaron las entradas subterráneas, a partir de la configuración de elevación del nivel estático del 2018, mostrada en la figura 5. En la tabla 3 se muestra el detalle del cálculo. El volumen total de salidas por flujo subterráneo horizontal asciende a **0.6 hm^3 anuales**.

Tabla 3. Cálculo de las salidas por flujo horizontal (2018)

CELDA	LONGITUD B (m)	ANCHO a (m)	h_2-h_1 (m)	Gradiente i	T (m^2/s)	CAUDAL Q (m^3/s)	VOLUMEN ($hm^3/año$)
S1	625	350	5	0.0143	0.0020	0.0179	0.6
TOTAL							0.6

7.3 Cambio de almacenamiento ($\Delta V(S)$)

Para la estimación del cambio de almacenamiento se tomó en cuenta la configuración de la evolución del nivel estático registrada durante el periodo 2008-2018 (figura 6). Con base en ella y tomando en cuenta un valor promedio de rendimiento específico S_y de 0.05, se determinó la variación del almacenamiento mediante la siguiente expresión:

$$\Delta V(S) = S * A * h$$

Donde:

- $\Delta V(S)$** = Cambio de almacenamiento en el período analizado
 S = Coeficiente de almacenamiento promedio de la zona de balance
 A = Área de influencia de curvas de igual evolución del nivel estático (km²)
 h = Valor de la variación piezométrica en el período (m)

El cambio en el volumen de agua almacenado para el intervalo 2008–2018 fue de 0.3 hm³, es decir **0.03 hm³ anuales**, que para fines del balance es despreciable (tabla 5).

Tabla 5. Cálculo del cambio de almacenamiento (2008-2018)

Evolución (m)	Evolución media (m)	Área (km ²)	S_y	$\Delta V(S)$ (hm ³ /año)
2	2	0.2	0.05	0.02
1 a 2	1.5	2.1	0.05	0.20
0 a 1	0.5	1.9	0.05	0.05
	TOTAL	2.3	TOTAL	0.3
	Promedio anual			0.0

Solución de la ecuación de balance

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:

$$\begin{aligned}
 R_v &= B + Sh + ETR \pm \Delta V(S) - Eh \\
 R_v &= 0.2 + 0.6 + 0.3 - 0.0 - 0.9 \\
 R_v &= 0.2
 \end{aligned}$$

De esta manera, la recarga total media anual estará definida por la suma de todas las entradas:

$$\begin{aligned} R &= R_v + E_h \\ R &= 0.2 + 0.9 \\ R &= 1.1 \text{ hm}^3 \text{ anuales} \end{aligned}$$

8. DISPONIBILIDAD

Para el cálculo de la disponibilidad de aguas subterráneas, se aplica el procedimiento de la Norma Oficial Mexicana NOM-011-CONAGUA-2015, Conservación del recurso agua-que establece las especificaciones y el método para determinar la disponibilidad media anual de las aguas nacionales; en su fracción relativa a las aguas subterráneas, menciona que la disponibilidad se determina por medio de la expresión siguiente:

$$\begin{array}{ccccccc} \text{DISPONIBILIDAD} & & \text{RECARGA} & & \text{DESCARGA} & & \text{EXTRACCIÓN DE} \\ \text{MEDIA ANUAL DE} & & \text{TOTAL} & & \text{NATURAL} & & \text{AGUAS} \\ \text{AGUA DEL SUBSUELO} & = & \text{MEDIA} & - & \text{COMPROMETIDA} & - & \text{SUBTERRÁNEAS} \\ \text{EN UN ACUÍFERO} & & \text{ANUAL} & & & & \end{array}$$

Donde:

- DMA** = Disponibilidad media anual de agua del subsuelo en un acuífero
R = Recarga total media anual
DNC = Descarga natural comprometida
VEAS = Volumen de extracción de aguas subterráneas

8.1 Recarga total media anual (R)

La recarga total media anual que recibe el acuífero (R), corresponde con la suma de todos los volúmenes que ingresan al acuífero, tanto en forma de recarga natural como retorno de riego. Para este caso su valor es **1.1 hm³ anuales**, de recarga natural.

8.2 Descarga natural comprometida (DNC)

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 este acuífero la descarga natural comprometida es 0.3 hm³ anuales, que corresponden al 50% de las salidas subterráneas hacia el acuífero Ahualulco del estado de San Luis Potosí. El 50% restante se podrá aprovechar en el acuífero Saldaña; de esta manera se podrán desarrollar ambas zonas limítrofes de esta región árida y

pobre, en la que la recarga se genera en el acuífero del estado de Zacatecas y se dirige hacia el estado de San Luis Potosí. Por lo tanto, **DNC= 0.3 hm³ anuales**.

8.3 Volumen de extracción de aguas subterráneas (VEAS)

La extracción de aguas subterráneas se determina sumando los volúmenes anuales de agua asignados o concesionados por la Comisión mediante títulos inscritos en el Registro Público de Derechos de Agua (REPDa), los volúmenes de agua que se encuentren en proceso de registro y titulación y, en su caso, los volúmenes de agua correspondientes a reservas, reglamentos y programación hídrica, todos ellos referidos a una fecha de corte específica. En el caso de los acuíferos en zonas de libre alumbramiento, la extracción de aguas subterráneas será equivalente a la suma de los volúmenes de agua estimados con base en los estudios técnicos, que sean efectivamente extraídos, aunque no hayan sido titulados ni registrados, y en su caso, los volúmenes de agua concesionados de la parte vedada del mismo acuífero.

Para este acuífero el volumen de extracción de aguas subterráneas es de **228,245 m³ anuales**, que reporta el Registro Público de Derechos del Agua (REPDa) de la Subdirección General de Administración del Agua, a la fecha de corte del **30 de diciembre de 2022**.

8.4 Disponibilidad media anual de agua subterránea (DMA)

La disponibilidad de aguas subterráneas, constituye el volumen medio anual de agua subterránea que 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.

Conforme a la metodología indicada en la norma referida anteriormente, se obtiene de restar al volumen de recarga total media anual, el valor de la descarga natural comprometida y el volumen de extracción de aguas subterráneas.

$$\begin{aligned} \text{DMA} &= R - \text{DNC} - \text{VEAS} \\ \text{DMA} &= 1.1 - 0.3 - 0.228245 \\ \text{DMA} &= 0.571755 \text{ hm}^3 \text{ anuales} \end{aligned}$$

El resultado indica que existe un volumen anual disponible de **571,755 m³** para otorgar nuevas concesiones.

9. BIBLIOGRAFÍA

Comisión Nacional del Agua, 2010. Reactivación de redes de monitoreo piezométrico y de calidad de agua, en los acuíferos de: Guadalupe de las Corrientes, Puerto Madero, Villa Hidalgo, Pinos y Espíritu Santo, en el estado de Zacatecas.

Comisión Nacional del Agua. 2010. Determinación de la disponibilidad de agua en el acuífero Saldaña (3234), estado de Zacatecas.

Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos, 1981. Servicios de prospección y levantamientos geológicos y geofísicos en la región de Pinos, en el estado de Zacatecas.

Comisión Nacional del Agua, Dirección Local Zacatecas, 2018. Piezometría e hidrometría del acuífero Saldaña, Zacatecas.

Servicio Geológico Mexicano, 1998. Carta Geológico-Minera F14-4 "San Luis Potosí". Escala 1:250,000.

Servicio Geológico Mexicano, 1999. Carta Geológico-Minera F14-A72 "Pinos". Escala 1:50,000.

Servicio Geológico Mexicano, 2007. Carta Geológico-Minera F14-A62 "Espíritu Santo". Escala 1:50,000