

***Actualización de la disponibilidad media anual
de agua en el acuífero Saldaña (3234), 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.**

CDXXII 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							
3234	SALDAÑA	1.1	0.0	0.118726	0.1	0.981274	0.000000

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



Comisión Nacional del Agua
Subdirección General Técnica
Gerencia de Aguas Subterráneas
Subgerencia de Evaluación y
Ordenamiento de Acuíferos

**DETERMINACIÓN DE LA DISPONIBILIDAD DE
AGUA EN EL ACUÍFERO SALDAÑA (3234),
ESTADO DE ZACATECAS**

México, D.F., marzo de 2010

CONTENIDO

1. GENERALIDADES	3
Antecedentes	3
1.1. Localización	3
1.2. Situación administrativa del acuífero	5
2. ESTUDIOS TÉCNICOS REALIZADOS CON ANTERIORIDAD	5
3. FISIOGRAFÍA	6
3.1. Provincia fisiográfica	6
3.2. Clima	6
3.3. Hidrografía	7
3.4. Geomorfología	7
4. GEOLOGÍA	8
4.1. Estratigrafía	9
4.2. Geología estructural	11
4.3. Geología del subsuelo	12
5. HIDROGEOLOGÍA	13
5.1. Tipo de acuífero	13
5.2. Parámetros hidráulicos	13
5.3. Piezometría	14
5.4. Comportamiento hidráulico	14
5.4.1. Profundidad al nivel estático	14
5.4.2. Elevación del nivel estático	15
5.4.3. Evolución del nivel estático	15
5.5. Hidrogeoquímica y calidad del agua subterránea	16
6. CENSO DE APROVECHAMIENTOS E HIDROMETRÍA	17
7. BALANCE DE AGUAS SUBTERRÁNEAS	17
7.1. Entradas	18
7.1.1. Recarga vertical (Rv)	18
7.1.2. Entradas por flujo subterráneo horizontal (Eh)	19
7.2. Salidas	20
7.2.1. Evapotranspiración (ETR)	20
7.2.2. Bombeo (B)	21
7.2.3. Salidas por flujo subterráneo horizontal (Sh)	21
7.3. Cambio de almacenamiento $\Delta V(S)$	22
8. DISPONIBILIDAD	23
8.1. Recarga total media anual (Rt)	23
8.2. Descarga natural comprometida (DNCOM)	23
8.3. Volumen de agua subterránea concesionado e inscrito en el REPDA (VCAS)	23
8.4. Disponibilidad media anual de agua subterránea (DAS)	24
9. BIBLIOGRAFÍA	25

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-2000 “Norma Oficial Mexicana que establece el método para determinar la disponibilidad media anual de las aguas nacionales”. Esta norma ha sido preparada por un grupo de especialistas 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 concesionado vigente en el Registro Público de Derechos del Agua (REPDA).

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

El acuífero Saldaña, definido con la clave 3234 del Sistema de Información Geográfica para el Manejo del Agua Subterránea (SIGMAS) de la CONAGUA, se ubica en la porción sureste del estado de Zacatecas. Geográficamente el área se localiza entre las coordenadas 22° 21' y 22° 32' de latitud norte y de 101° 17' a los 101° 27' de longitud oeste, abarcando una superficie de 132 km² de la región semiárida de la entidad.

Colinda 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 se localiza en el municipio Pinos.

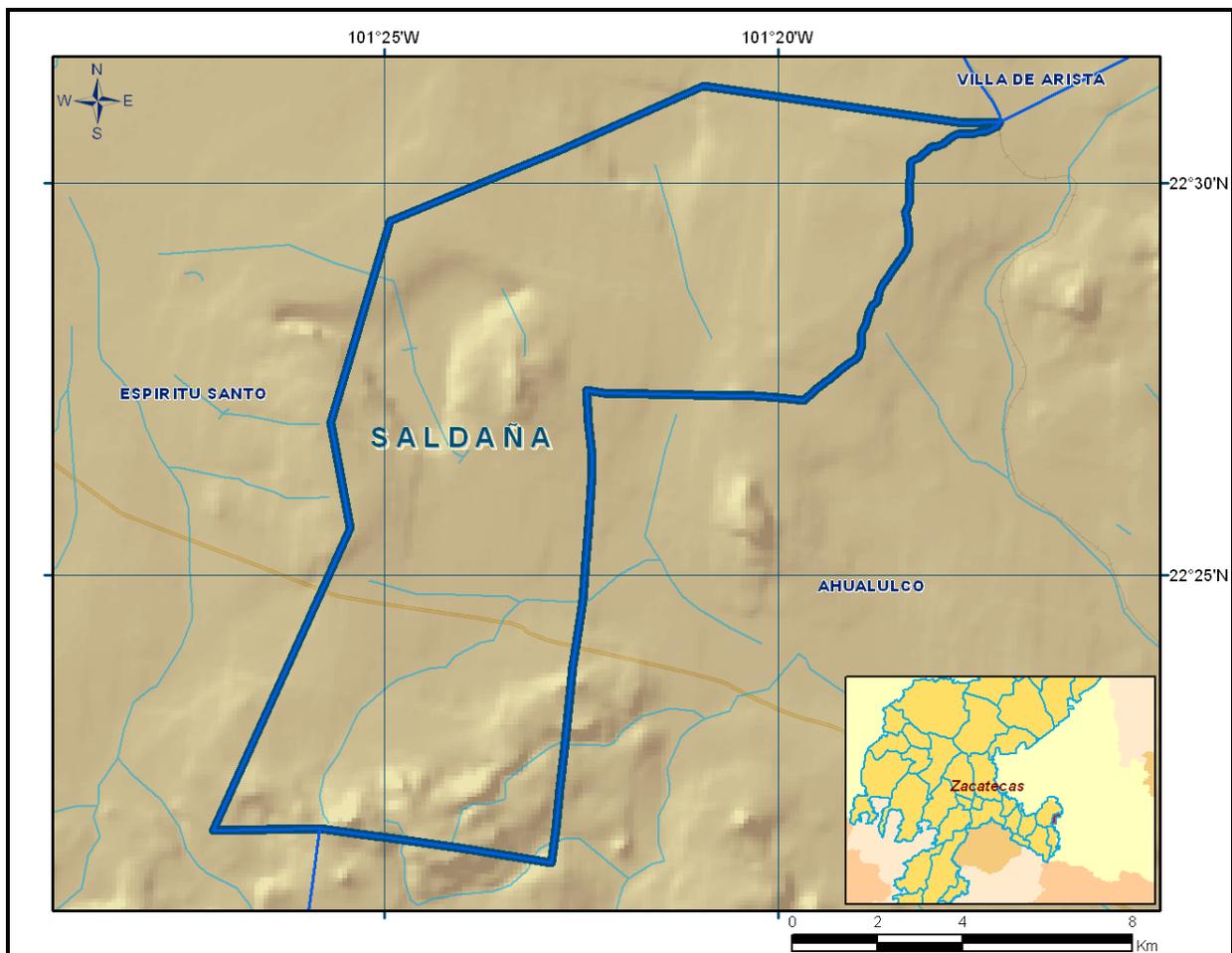


Figura 1. Localización del acuífero

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 delimita 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 al Organismo de Cuenca “Cuencas Centrales del Norte” y es jurisdicción territorial de la Dirección Local Zacatecas. Su territorio se encuentra 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 tipo II en las que la capacidad de los mantos acuíferos sólo permite extracciones para uso doméstico.

De acuerdo con la Ley Federal de Derechos en Materia de Agua 2010, el municipio Pinos se clasifica como zona de disponibilidad 7.

El uso principal del agua subterránea es el doméstico. En el acuífero no se localiza Distrito de Riego alguno, ni tampoco se ha constituido hasta la fecha el Comité Técnico de Aguas Subterráneas (COTAS).

2. ESTUDIOS TÉCNICOS REALIZADOS CON ANTERIORIDAD

En la superficie que cubre el acuífero se han llevado a cabo algunos estudios geohidrológicos de evaluación, entre los más importantes podemos mencionar los siguientes:

SERVICIOS DE PROSPECCIÓN Y LEVANTAMIENTOS GEOLÓGICOS Y GEOFÍSICOS EN LA REGIÓN DE PINOS EN EL ESTADO DE ZACATECAS, elaborado por la empresa Técnicos Asesores y Constructores, S.A., en 1981, para la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos. En este estudio se llevó a cabo el censo de aprovechamientos, levantamiento geológico y muestreo de agua para realizar análisis físico- químicos; se definieron las características de las estructuras geológicas y unidades geohidrológicas, el comportamiento del acuífero, la dirección del flujo subterráneo y las condiciones de salinidad del agua subterránea.

Adicionalmente se recabaron muestras de roca para análisis petrográficos y se realizaron sondeos eléctricos verticales. Recomienda la perforación de 8 pozos y efectuar análisis bacteriológicos al agua subterránea que se destina al uso doméstico y público-urbano.

RESUMEN DE CONDICIONES GEOHIDROLÓGICAS EN LOS ACUÍFEROS DEL ESTADO DE ZACATECAS UBICADOS DENTRO DE LA REGIÓN HIDROLÓGICA ADMINISTRATIVA CUENCAS CENTRALES DEL NORTE, elaborado por la Comisión Nacional del Agua en 1999.

Las actividades de campo llevadas a cabo incluyeron el censo de aprovechamientos e hidrometría para el planteamiento del balance de aguas subterráneas, mediante el cual se calculó que la recarga media anual que recibe el acuífero ascendía a 2.0 hm³/año; Proporciona información general de las características geohidrológicas del acuífero, datos de precipitación, geología, características físico-químicas del agua y definición del modelo conceptual de funcionamiento del acuífero.

Comisión Nacional del Agua, 2007. REACTIVACIÓN DE REDES DE MONITOREO PIEZOMÉTRICO Y DE CALIDAD DEL AGUA EN LOS ACUÍFEROS VILLA GARCÍA, EL SALVADOR, GUADALUPE GARZARÓN, CAMACHO Y EL CARDITO, ESTADO DE ZACATECAS Y EVALUACIÓN GEOHIDROLÓGICA DE LOS ACUÍFEROS GARCÍA DE LA CADENA, PINO SUÁREZ Y CORRALES, ZAC. Realizado por la empresa INGENIERÍA Y GESTIÓN HÍDRICA, S. C.

El objetivo general del estudio fue actualizar el conocimiento de las condiciones geohidrológicas para establecer un diagnóstico de la evolución de los niveles del agua y contar con la información geohidrológica necesaria para determinar la recarga media anual del agua subterránea.

Este estudio fue la base para la elaboración de este documento, por lo que sus resultados y conclusiones se analizan en los apartados correspondientes.

3. FISIOGRAFÍA

3.1. Provincia fisiográfica

De acuerdo con la clasificación de E. Raisz (1964), la zona se ubica en la provincia fisiográfica "Mesa del Centro"; que se caracteriza por presentar amplias llanuras interrumpidas por sierras dispersas, la mayoría de ellas de naturaleza volcánica, formando parte de la Subprovincia Llanos y Sierras Potosino – Zacatecanos.

3.2. Clima

De acuerdo con la clasificación de Köppen, modificada por E. García, para las condiciones de la República Mexicana, el tipo de clima que predomina en el área del acuífero es el semiseco templado con lluvias en verano (BS₁kw) y con porcentaje de precipitación invernal entre 5 y 10.2. La mayor incidencia de lluvias se presenta en el mes de agosto con un rango de 70 a 80 mm.

Para la determinación de las variables que rigen el clima de la región se obtuvieron los datos de los promedios mensuales de temperatura y precipitación para el periodo 1987-2006,

provenientes de 5 estaciones climatológicas ubicadas en la zona: El Peaje, Espíritu Santo, Mexquitic, Pino Suárez y Pinos.

Con base en estos registros se estimó una temperatura media anual de 16.3° C para la superficie que cubre el acuífero.

El valor de la precipitación media anual obtenido para este periodo es de 391.2 mm/año. Los meses más lluviosos son aquellos que comprenden el periodo de julio a septiembre.

La información de los registros de evaporación potencial de las estaciones climatológicas arroja un valor de evaporación media anual de 1916.8 mm.

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 una cuenca superficialmente cerrada denominada “Presa San José-Los Pilares y Otras”, que comprende una pequeña fracción del estado de Zacatecas, ubicándose la mayor extensión en el estado de San Luis Potosí. El acuífero contiene una pequeña porción de la subcuenca intermedia denominada Presa San José.

En el área no existen corrientes superficiales importantes, el drenaje se compone de pequeños arroyos de régimen intermitente y de carácter torrencial, que drenan hacia el estado de San Luis Potosí. Destaca el Arroyo La Soleada, que atraviesa el área de poniente a oriente, por su parte central.

Dentro de la zona se localizan algunos almacenamientos superficiales en forma de tanques y pequeños bordos de poca capacidad, pero dada la escasez son de gran importancia para el abastecimiento de las necesidades del uso doméstico-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.

3.4. Geomorfología

El paisaje del relieve dentro del área se caracteriza por la presencia de un sistema de topofomas dominante que corresponde a bajadas aluviales; otros rasgos que se observan son pequeñas mesetas y cerros relictos de origen volcánico, constituidos por riolitas, tobas arenosas e ignimbritas, que se presentan de manera aislada dentro de las bajadas aluviales; destaca el

Cerro El Almagre, ubicado en la porción suroeste del área, que alcanza una elevación del orden de 2620 msnm. De acuerdo a lo anterior, se considera que el área corresponde a un ciclo geomorfológico de madurez.

4. GEOLOGÍA

El registro estratigráfico comprende del Cretácico al Reciente y está conformado por rocas sedimentarias e ígneas extrusivas. A continuación se describe la columna estratigráfica, tomada del estudio del año 1981, de la unidad más antigua a la más reciente. La distribución geográfica de las unidades litoestratigráficas se muestra en la figura 2.

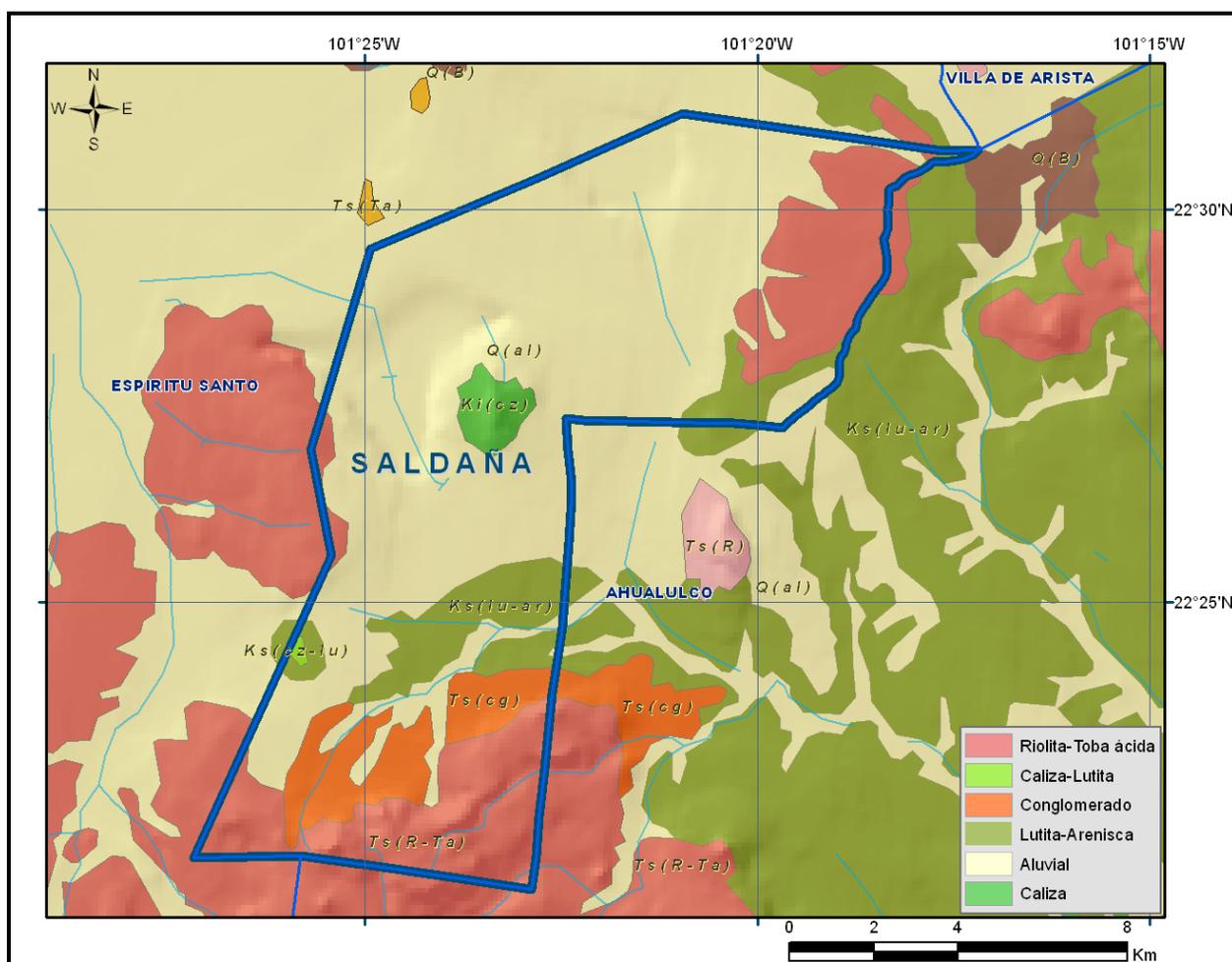


Figura 2. Geología general del acuífero

4.1. Estratigrafía

Sistema Cretácico

Formación Cuesta del Cura

Esta formación constituye la base de la columna estratigráfica que se encuentra en la zona, aflorando principalmente en la porción norte y occidental; se presenta por lo general en el núcleo de los plegamientos observados, por ejemplo en el Cerro El Pelón.

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

No se pudo medir su sección estratigráfica, pero se estima que puede alcanzar en la zona más de 200 m de espesor. Se encuentra subyaciendo de manera concordante a la Formación Indidura y su edad fue establecida por correlación y por su relación con las rocas que le sobreyacen 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

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.

Está constituida por calizas de color gris claro, que por intemperismo adquieren un color gris claro parduzco. Presentan estructura criptocristalina, de naturaleza arcillosa, posee estratificación delgada con interestratificaciones de lutitas y lentes de pedernal negro.

El espesor de esta formación no se pudo determinar pero se estima que puede superar los 100 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.

Contiene escasos fósiles debido probablemente a que las condiciones del fondo marino, bajo las cuales se depositó, fueron desfavorables para la vida bentónica; además su carácter indica una disminución de la profundidad. Se encuentra subyaciendo a la Formación Caracol, en forma concordante, y de igual forma sobreyace a la Caliza Cuesta del Cura.

Formación Caracol

De las rocas sedimentarias que afloran en la superficie que comprende al acuífero, las de esta formación son las más abundantes. Se encuentran aflorando en la parte centro y oeste de la cuenca; en el valle se encuentra parcialmente cubiertas y en las sierras se presentan en las partes bajas, su topografía redondeada y de poca altitud.

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

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

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 Conaciano-Santoniano, perteneciente al Cretácico Superior.

Paleógeno-Neógeno

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

Tobas

Estas rocas afloran en casi todo el perímetro de la cuenca, principalmente en la porción sur, se encuentran generalmente en las laderas de las montañas, descendiendo a la llanura con pendientes suaves. Presentan color rosado y pardo amarillento, de textura piroclástica, constituida por fragmentos de cuarzo, riolita y en menor proporción piedra pómez, embebidos en una matriz de cenizas y lapilli, la cual, por intemperismo se ha alterado a arcillas. Se encuentra subyaciendo a los derrames riolíticos, pero se pueden presentar alternancias entre ellos. El espesor máximo observado de tobas fue de 60 m.

Riolitas

Al igual que las anteriores, afloran en todo el perímetro de la zona, ocupando por lo general las partes altas de las sierras, formando también mesetas con bordes escarpados. Son de color

rojizo o rojo violáceo que intemperiza a pardo rojizo, presenta textura porfirítica, con fenocristales de cuarzo, plagioclasas cálcicas y escasa biotita, su estructura varía de microcristalina a vítrea.

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

Sistema Cuaternario

Conglomerados

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

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

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

Aluvión

Proporcionalmente, es la unidad que mayor superficie ocupa en el área, sin embargo su espesor es reducido, formando en ocasiones solamente la tierra vegetal. Descansa sobre todas las unidades descritas, cubriendo preferentemente a los conglomerados que rellenan la llanura. Está constituido por arcillas y arenas, en general de color gris oscuro, con escasas grava, su espesor es menor de 20 m.

4.2. Geología estructural

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

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

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

4.3. Geología del subsuelo

Con el objeto de determinar la estructura del subsuelo y su profundidad, en el año 1981, durante la elaboración del estudio denominado “Servicios de Prospección Geofísica y Levantamientos Geológicos y Geofísicos en la región Pinos, Zacatecas”, se realizó un programa de exploración indirecta mediante 84 sondeos eléctricos verticales (SEV), con los cuales se construyeron 6 secciones, una de las cuales se ubica muy próxima a la zona de interés, aproximadamente a 5 km. De esta manera, se consideró factible inferir los resultados de esta exploración geoeléctrica al área que ocupa el acuífero Saldaña. La sección está conformada por 17 sondeos eléctricos verticales, con una orientación general este – oeste, su longitud es de 23 km, inicia en el poblado La Pendencia hasta la localidad Tolosa.

La exploración geoeléctrica en la región, que comprendió profundidades de 700 m (con interpretación a 1000 m), arroja la existencia de seis unidades geoeléctricas:

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

Unidad 2. Comprende el rango de resistividades entre 11 y 33 ohms-m. Su espesor es de 30 a 160 m y se correlaciona con aluviones arcillo – arenosos de permeabilidad media.

Unidad 3. Registra resistividades que varían entre 36 y 77 ohms-m, su espesor promedio se considera de 250 m, y se asocia con gravas y arenas poco compactas de permeabilidad variable.

Unidad 4. Comprende valores de resistividad entre 168 y 195 ohms-m, se presenta en forma de lentes, siendo su espesor de 170 m en promedio. Se correlaciona con tobas de composición variable de baja permeabilidad.

Unidad 5. Registra valores de resistividad que varían entre 130 y 276 ohms-m, su espesor fue calculado en 250 m. Se asocia con un paquete de arenas y arcillas, semicompactas, de permeabilidad variable.

Unidad 6. Presenta valores de resistividad que oscilan entre 331 y 483 ohms-m, se correlaciona con una roca compacta, posiblemente calcárea de permeabilidad variable, dependiendo de su grado de fracturamiento.

5. HIDROGEOLOGÍA

5.1. Tipo de acuífero

La zona de explotación cubre superficialmente una extensión de 95 km², que representa el 72% respecto del área total del acuífero. De acuerdo con la información hidrogeológica y geofísica existente, es posible identificar la existencia de un acuífero somero, de **tipo libre**, alojado en los materiales clásticos del Cuaternario, constituidos por conglomerados y rellenos aluviales. El espesor de estos materiales es variable, siendo mayor en la parte central del valle y menor hacia los flancos de las montañas. Se considera que su espesor no sobrepasa los 100 m.

Otro acuífero de menor importancia lo conforman rocas sedimentarias de la Formación Caracol, compuesta básicamente por una alternancia de lutitas y areniscas, las cuales por fracturamiento alojan un acuífero de bajo rendimiento, que es explotado básicamente mediante norias utilizadas para satisfacer las necesidades de uso doméstico y abrevadero. El basamento y barreras laterales están constituidos por las rocas de edad Cretácica que conforman las formaciones Indidura y Cuesta del Cura.

5.2. Parámetros hidráulicos

A la fecha no se han realizado pruebas de bombeo que permitan evaluar las principales características hidráulicas del acuífero como son la transmisividad y el coeficiente de almacenamiento; únicamente se cuenta con datos en un pozo, relativos a la profundidad al nivel estático, nivel de bombeo y caudal. Con esta información se puede obtener el valor de caudal específico y de esta manera tener una idea del valor de la transmisividad en esta porción del acuífero. El caudal específico obtenido en el pozo de agua potable ubicado en la Comunidad Saldaña es de 0.10 lps/m.

Para el caso del coeficiente de almacenamiento, no existe información para determinarlo. Atendiendo al tipo y características de los materiales que constituyen el subsuelo de la región, y por correlación hidrogeológica con las áreas vecinas, se estima un valor promedio de 0.03, valor asociado a un acuífero libre, alojado en rocas fracturadas de permeabilidad media a baja.

5.3. Piezometría

Con respecto a la información piezométrica, se dispone de lecturas para los años 2007, 2008 y 2009 en 11 aprovechamientos, 9 de estos son norias y 2 son pozos.

5.4. Comportamiento hidráulico

5.4.1. Profundidad al nivel estático

Con la información disponible fue posible elaborar las configuraciones de profundidad al nivel estático para febrero de 2009. El acuífero somero actualmente en explotación registra valores de profundidad al nivel del agua subterránea que varían de 2 a 25 m; los niveles más someros, del orden de 2 a 5 m, se observan en las cercanías del cauce del Arroyo La Soleada, los cuales se incrementan conforme los aprovechamientos se ubican a mayor distancia del cauce. El valor medio de profundidad al nivel estático es de 6 m (Figura 3).

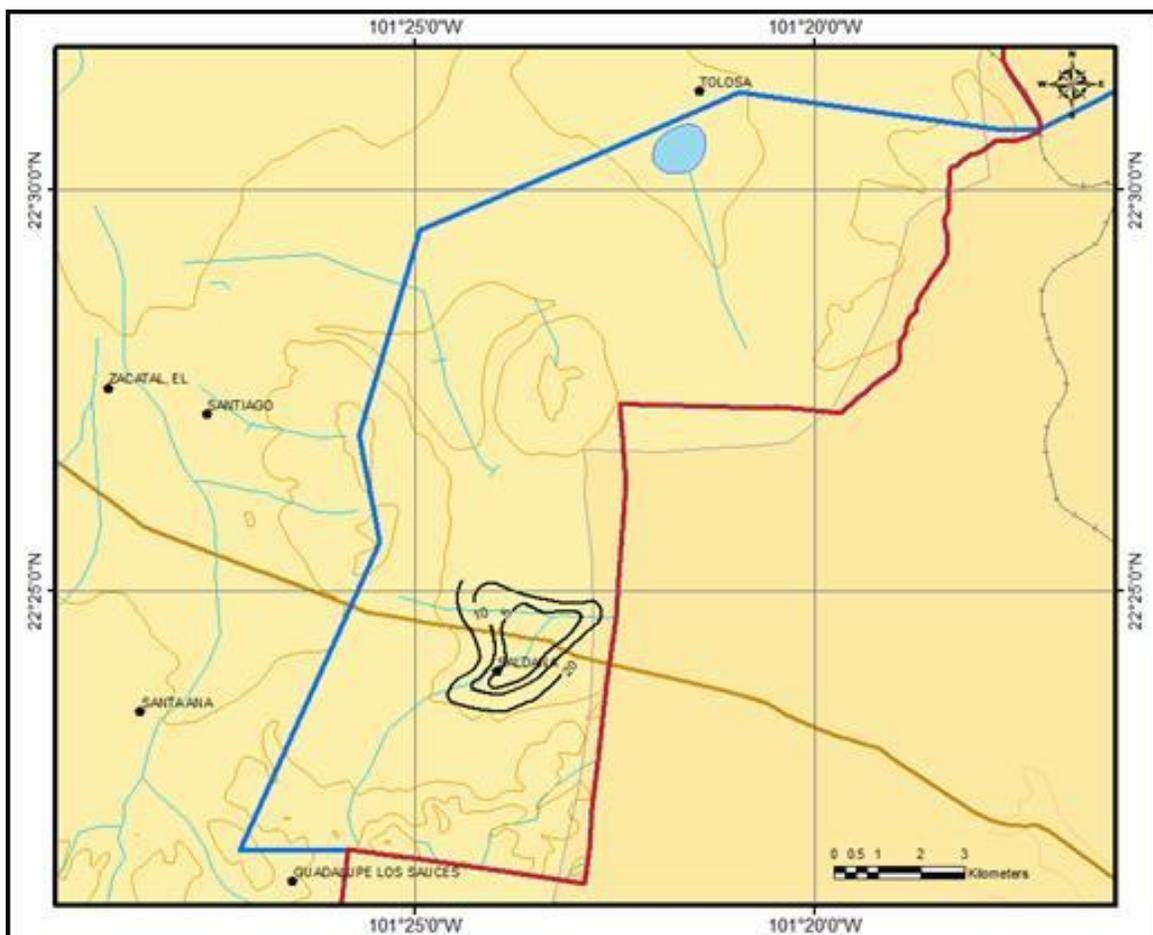


Figura 3. Profundidad al nivel estático (m), 2009

5.4.2. Elevación del nivel estático

La configuración de la elevación del nivel estático que corresponde al mes de febrero, del año 2009, muestra valores de 2180 a 2110 msnm, identificando una dirección preferencial del flujo subterráneo de oeste a este, hacia el límite con el estado de San Luís Potosí (Figura 4).

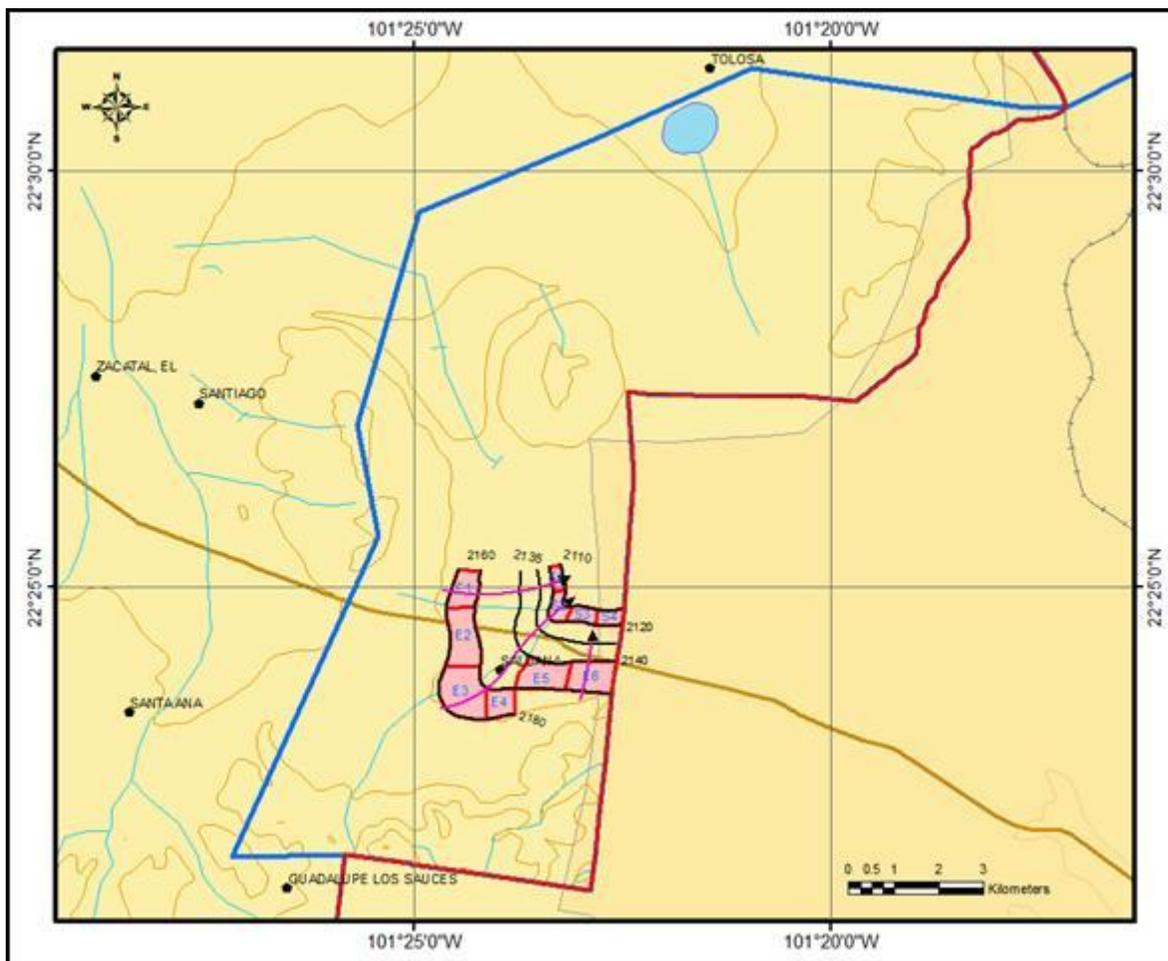


Figura 4. Elevación del nivel estático (msnm), 2009

5.4.3. Evolución del nivel estático

Con respecto a la evolución del nivel estático, no se dispone de información piezométrica suficiente para elaborar la configuración de la evolución del nivel estático que cubra la superficie del acuífero. Los registros existentes sólo cubren una pequeña llanura aluvial cercana al cauce del Arroyo La Soleada.

En el periodo 2007-2009, el análisis de la evolución del nivel estático arroja un valor de recuperación promedio de 0.35 m anuales. El ascenso máximo en el nivel, en el periodo analizado, fue de 1.1 m y mínimo de 0.1 m; de igual manera, también se presentan algunos valores negativos. Estos cambios representan variaciones puntuales, tanto positivas como negativas, que se encuentran concentradas en una pequeña zona. Aunado a esto, la configuración de la elevación del nivel estático no demuestra alteraciones del flujo natural del agua subterránea que indiquen la presencia de conos de abatimiento causados por la concentración de pozos y/o del bombeo.

Bajo estas consideraciones, se puede afirmar que la posición del nivel del agua subterránea no ha sufrido alteraciones importantes en el transcurso del tiempo, por lo que el cambio de almacenamiento tiende a ser nulo.

5.5. Hidrogeoquímica y calidad del agua subterránea

No se cuenta con información hidrogeoquímica reciente, la única que existe fue la obtenida durante los trabajos de campo realizados para el estudio de prospección del año 1981, fueron recolectadas y analizadas un total de 70 muestras. La interpretación hidrogeoquímica se realizó con base en 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 similares. De ellas, 2 corresponden a pozos, 22 a norias y 2 más fueron tomadas en galerías filtrantes.

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

De acuerdo al diagrama triangular de Piper, 7 de las muestras corresponden a aguas cálcicas, 5 a aguas sódicas y 14 caen en la zona de aguas mixtas; en cuanto a los aniones, 25 de las muestras se clasificaron como aguas bicarbonatadas y 1 corresponde a aguas mixtas.

En lo que respecta a la clasificación del agua para uso agrícola, 2 muestras pertenecen a la clase C2-S1 y las 24 restantes son clase C3-S1, la cual corresponde a agua de calidad apropiada para su utilización en la agricultura, en prácticamente cualquier tipo de terreno sin peligro de sodificación o salinización de los suelos.

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

6. CENSO DE APROVECHAMIENTOS E HIDROMETRÍA

El censo más reciente fue realizado por la Dirección Local Zacatecas de la CONAGUA, en el mes de noviembre de 2007. La actualización del inventario de aprovechamientos hidráulicos subterráneos reveló la existencia de un total de 14 obras, de las cuales 5 se encuentran inactivas. De las nueve obras activas, atendiendo su uso, 5 son destinadas al uso doméstico, 2 a la agricultura, 1 más para abastecimiento de agua potable y 1 es utilizada con fines pecuarios.

En conjunto, estas obras extraen un volumen anual de **138,836 m³ al año**, de los cuales 98,285 m³/año (70.8%) son utilizados para uso agrícola, 32,576 m³/año (23.4%) para abastecimiento de agua potable, 5,931 m³/año (4.3%) para fines doméstico y los 2,044 m³/año restantes (1.5%) para uso pecuario.

La extracción para uso doméstico-abrevadero se cuantificó con los datos obtenidos en el censo (tiempos de operación y gastos instantáneos) y para uso pecuario se utilizaron los consumos medios para cada especie animal.

En la tabla siguiente se muestra la clasificación por usos del agua subterránea. (Tabla 2).

Tabla 2. Número de aprovechamientos y volumen de extracción por uso

Uso	Número de obras	Volumen (m ³ /año)	Porcentaje (%)
Agrícola	2	98,285	70.79
Público-Urbano	1	32,576	23.46
Doméstico	5	5,931	4.27
Pecuario	1	2,044	1.47
Total	9	138,836	100.0

7. BALANCE DE AGUAS SUBTERRÁNEAS

El balance de aguas subterráneas se planteó para una superficie de 30 km² que corresponde al área acuífera que se explota actualmente, formada por bajadas aluviales, y algunos lomeríos, donde afloran depósitos aluviales, conglomerados, pie de monte y alternancia de lutitas y areniscas. El balance fue realizado para el periodo 2007-2009.

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 la masa es la siguiente:

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

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

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

7.1. Entradas

De acuerdo con el modelo conceptual definido para el acuífero, las entradas están integradas por la recarga natural que se produce por efecto de la infiltración de la lluvia, que se precipita en las bajadas aluviales y a lo largo de los escurrimientos (R_v), y la que proviene de zonas montañosas contiguas a través de una recarga por flujo horizontal subterráneo (E_h).

De manera inducida, la infiltración de los excedentes del riego agrícola y del agua residual de las descargas urbanas, así como las fugas en el sistema de abastecimiento de agua potable, constituyen otra fuentes de recarga al acuífero. Estos volúmenes se integran en la componente de recarga inducida (R_i). Para el acuífero Saldaña, dado que no existen poblaciones urbanas importantes, y el riego agrícola es incipiente, se considera que no existe recarga inducida.

7.1.1. Recarga vertical (R_v)

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

$$R_v + E_h - B - S_h - ETR = \pm \Delta V(S)$$

Dónde:

R_v : Recarga vertical

E_h : Entradas por flujo subterráneo horizontal

B : Bombeo

S_h : Salidas por flujo subterráneo horizontal

ETR : Evapotranspiración

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

De esta manera, despejando la recarga vertical:

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

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 área, se infiltra por las fracturas de las rocas que forman parte de ellas y a través del pie de monte, para posteriormente recargar al acuífero en forma de flujos subterráneos que alimentan la zona de explotación. Las entradas al acuífero, tienen su origen en las zonas de recarga localizadas en las sierras que rodean la llanura aluvial.

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 2009 (Figura 4), mediante la siguiente expresión:

$$Q = T * B * i$$

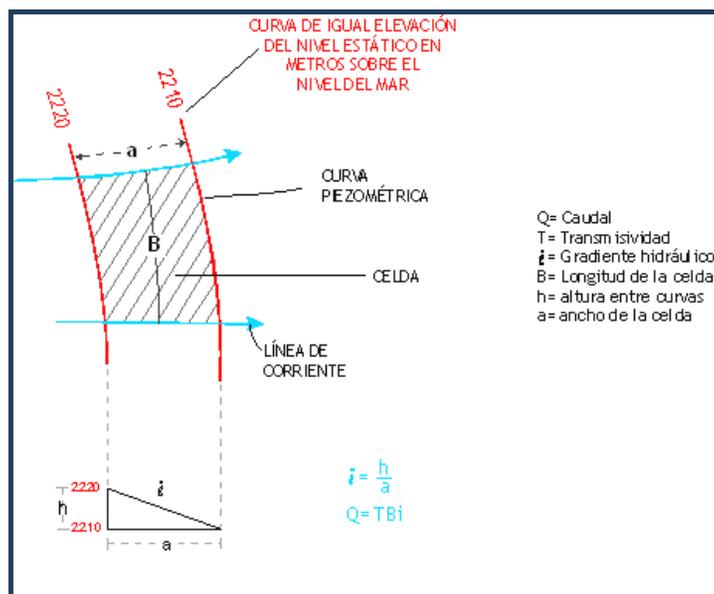
Dónde:

Q = gasto que pasa por un determinado canal de flujo;

T = transmisividad;

B = ancho de la celda;

i = gradiente hidráulico ($i = h_1 - h_2 / L$); Dh y L son la diferencia y distancia respectivamente entre las equipotenciales (h) que conforman el canal de flujo.



En esta configuración se seleccionaron canales o celdas de flujo y se aplicó 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 cada uno de los canales establecidos.

El gasto Q obtenido en un total de 6 celdas de entrada fue de **0.8 hm³/año**. El detalle de cálculo se muestra en la tabla 3.

Tabla 3. Entradas subterráneas por flujo horizontal

CELDA	LONGITUD L (m)	ANCHO B (m)	h ₂ -h ₁ (m)	Gradiente i (m)	T (m ² /s)	CAUDAL Q (m ³ /s)	VOLUMEN (hm ³ /año)
1	1100	1320	20	0.0152	0.0001	0.0017	0.1
2	2630	1300	20	0.0154	0.0001	0.0040	0.1
3	1300	1300	20	0.0154	0.0001	0.0020	0.1
4	3200	1000	20	0.0200	0.0001	0.0064	0.2
5	4900	2200	20	0.0091	0.0001	0.0045	0.1
6	2300	800	20	0.0250	0.0001	0.0058	0.2
Total entradas						0.8	

7.2. Salidas

7.2.1. Evapotranspiración (ETR)

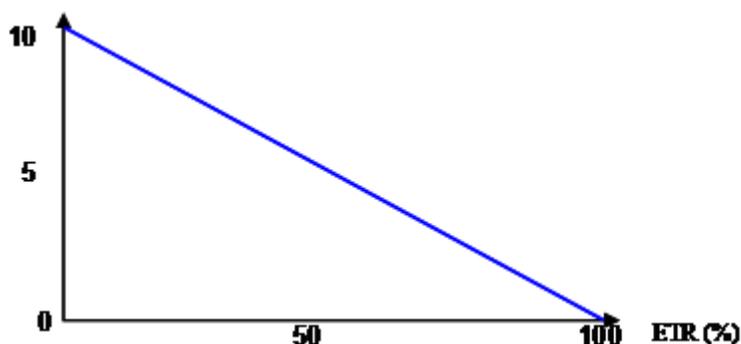
Este parámetro es la cantidad de agua transferida del suelo a la atmósfera por evaporación y transpiración de las plantas, por lo tanto es considerada una forma de pérdida de humedad del sistema. Existen dos formas de Evapotranspiración: la que considera el contenido de humedad en el suelo y la que considera la etapa de desarrollo de las plantas (Evapotranspiración Potencial y la Evapotranspiración Real), el escurrimiento y el volumen de evapotranspiración real (ETR).

Existe una zona del área de balance donde los niveles estáticos se encuentran a profundidades menores a 10 m, que se considera el límite de extinción para que se produzca el fenómeno de evapotranspiración, hasta donde penetran las raíces de las plantas.

Para la obtención de este parámetro se puede utilizar la ecuación empírica de Turc, que se muestra a continuación. Mediante ella se obtiene un valor de 376.6 mm.

$ETR(mm) = \frac{P(mm)}{\sqrt{0.90 + \left(\frac{P^2(mm)}{L^2}\right)}} \quad L = 300 + 25T + 0.05T^3$			
T (°C) =	16.3		
P(mm) =	391.2	P ² =	153037.44
L =	924.03735	L ² =	853845.024
ETR (mm)	376.6		

El cálculo de la evapotranspiración corresponde con aquella pérdida de agua freática somera y que se aplica al balance de aguas subterráneas, considerando que el concepto tiene influencia hasta una profundidad máxima de 10 m, bajo el siguiente proceso: En zonas donde el nivel estático se encuentra a una profundidad menor a 10 m, se calcula el valor de ETR exclusivamente para estas zonas de niveles someros y se pondera el valor del volumen obtenido, partiendo de una relación lineal inversa entre la profundidad al nivel estático (PNE) y el porcentaje de ETR. Suponiendo una profundidad límite de extinción de 10 m para el fenómeno de ETR, a menor profundidad mayor será el porcentaje de ETR, de tal manera que a 10 m el valor de ETR es nulo y a 0 m el valor es del 100 %, a 5 m el 50%, a 2 m el 80% etc.



Si consideramos que sólo en una superficie de 3.5 km² se registran niveles freáticos someros, que corresponde a las áreas cercana al cauce del Arroyo La Soleada, con cobertura vegetal cuyas raíces son suficientemente largas y susceptibles de evapotranspirar, en la que la profundidad promedio al nivel estático es de 6.0 m, y la lámina de evapotranspiración real obtenida es de 376.6 mm anuales, de acuerdo con la gráfica anterior se tiene:

$$\text{ETR} = 3.5 \text{ km}^2 (0.3766 \text{ m}) (0.4) = 0.5$$

$$\text{ETR} = 0.5 \text{ hm}^3/\text{año}$$

7.2.2. Bombeo (B)

Como se menciona en el apartado de Censo de Aprovechamientos e Hidrometría, el valor de la extracción por bombeo redondeado a un decimal asciende a **0.1 hm³ anuales**.

7.2.3. Salidas por flujo subterráneo horizontal (Sh)

Las salidas subterráneas que ocurren hacia la porción oriental del acuífero fueron calculadas de la misma manera como se evaluaron las entradas subterráneas, a partir de la configuración de elevación del nivel estático presentada en la figura 4. El valor de Q obtenido en 4 celdas de

salida es de $\approx 0.5 \text{ hm}^3/\text{año}$, tal como se muestra en la Tabla 4. Para este caso se considera un valor de T de $0.3 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$ debido al mayor espesor saturado en la zona donde se ubican las celdas de salidas.

Tabla 4. Salidas subterráneas por flujo horizontal

CELDA	LONGITUD L (m)	ANCHO B (m)	h_2-h_1 (m)	Gradiente i (m)	T (m^2/s)	CAUDAL Q (m^3/s)	VOLUMEN ($\text{hm}^3/\text{año}$)
1	750	500	10	0.0200	0.0003	0.0045	0.14
2	600	640	10	0.0156	0.0003	0.0028	0.09
3	670	590	10	0.0169	0.0003	0.0034	0.11
4	870	590	10	0.0169	0.0003	0.0044	0.14
						Total entradas	0.48

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

Como se menciona en el apartado de evolución del nivel estático, no se dispone de información piezométrica histórica suficiente para elaborar la configuración de la evolución del nivel estático para un periodo de tiempo. La escasa información disponible se restringe a un área pequeña y sólo muestra variaciones puntuales tanto positivas como negativas. Por otra parte, debido a que el volumen de extracción es menor a la recarga que recibe el acuífero, todavía no se registran alteraciones en la dirección natural del flujo subterráneo ni conos de abatimiento.

Bajo estas consideraciones, se define que la posición del nivel del agua subterránea no ha sufrido alteraciones importantes y el cambio de almacenamiento tiende a ser nulo. $\Delta V(S) = 0$.

Solución de la ecuación de balance

Una vez calculados los valores de las componentes de la ecuación de balance, el único parámetro de los que intervienen y que falta por determinar es la recarga vertical (Rv). De la ecuación correspondiente, se tiene que:

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

Sustituyendo valores:

$$Rv = 0.1 + 0.5 + 0.5 - 0.0 - 0.8$$

$$Rv = 0.3 \text{ hm}^3 \text{ anuales}$$

Por lo tanto el valor de la recarga total (Rt) es igual a la suma de las entradas.

$$Rt = Rv + Eh = 1.1$$

$$Rt = 1.1 \text{ hm}^3 \text{ anuales}$$

8. DISPONIBILIDAD

Para el cálculo de la disponibilidad de aguas subterráneas, se aplica el procedimiento de la Norma Oficial Mexicana NOM-011-CONAGUA-2000, que establece la metodología para calcular 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 siguiente expresión:

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

DAS = Disponibilidad media anual de agua subterránea en una unidad hidrogeológica

Rt = Recarga total media anual

DNCOM = Descarga natural comprometida

VCAS = Volumen de agua subterránea concesionado e inscrito en el REPDA

8.1. Recarga total media anual (Rt)

La recarga total media anual (Rt) corresponde a la suma de todos los volúmenes que ingresan al acuífero. Para este acuífero su valor es de **1.1 hm³ anuales**.

8.2. Descarga natural comprometida (DNCOM)

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, no existen manantiales ni flujo base; de esta manera la única descarga natural que se presenta es por flujo subterráneo hacia Ahualulco el acuífero vecino en el estado de San Luis Potosí, en este acuífero no existe infraestructura hidráulica por lo no se consideran comprometidas las salidas subterráneas. Por lo tanto la **DNCOM = 0**.

8.3. Volumen de agua subterránea concesionado e inscrito en el REPDA (VCAS)

El volumen concesionado de agua subterránea, se determina sumando los volúmenes anuales de agua, asignados y concesionados por la Comisión Nacional del Agua mediante títulos inscritos en el Registro Público de Derechos de Agua (REPDA) para la explotación, uso o aprovechamiento de agua en una unidad hidrogeológica, adicionando, de ser el caso, los volúmenes correspondientes a reservas y reglamentos conforme a la Programación Hidráulica.

De acuerdo a la información existente en el Registro Público de Derechos de Agua (REPGA), el volumen concesionado de aguas subterráneas para este acuífero al **31 de marzo de 2010** es de **90,957 m³/año**.

8.4. Disponibilidad media anual de agua subterránea (DAS)

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, de acuerdo con la expresión 3, se obtiene de restar al volumen de recarga total media anual, el valor de la descarga natural comprometida y el volumen de aguas subterráneas concesionado e inscrito en el REPGA.

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

$$DAS= 1.1 - 0.0 - 0.090957$$

$$\mathbf{DAS = 1.009043}$$

La cifra indica que existe un volumen disponible de **1 009,043 m³ anuales** para otorgar nuevas concesiones.

Cabe hacer la aclaración de que el cálculo de la recarga media anual que recibe el acuífero, y por lo tanto de su disponibilidad, se refiere a la porción del acuífero en la que actualmente existe información hidrogeológica para su evaluación. No se descarta la posibilidad de que su valor sea mayor; sin embargo, no es posible en este momento incluir en el balance una superficie mayor ni los volúmenes de agua que circulan a mayores profundidades que las que actualmente se encuentran en explotación. Conforme se genere mayor y mejor información, especialmente la que se refiere a la piezometría y pruebas de bombeo, se podrá hacer una evaluación posterior.

9. BIBLIOGRAFÍA

Comisión Nacional del Agua, 1999. Resumen de Condiciones Geohidrológicas en los Acuíferos del Estado de Zacatecas Ubicados Dentro de la Región Hidrológica Administrativa Cuencas Centrales del Norte. Gerencia Estatal Zacatecas.

Comisión Nacional del Agua, 2007. Reactivación de Redes de Monitoreo Piezométrico y de calidad del Agua en los Acuíferos Villa García, El Salvador, Guadalupe Garzarón, Camacho y El Cardito, estado de Zacatecas y Evaluación Geohidrológica de los Acuíferos García de la Cadena, Pino Suárez y Corrales, Zac. Realizado por la empresa Ingeniería y Gestión Hídrica, S. C.

Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos (SARH), Subdirección de Geohidrología y Zonas Áridas, 1981. Servicios de Prospección y Levantamientos Geológicos y Geofísicos en la Región de Pinos en el Estado de Zacatecas. Realizado por la empresa Técnicos Asesores y Constructores, S.A.