

***Actualización de la disponibilidad media anual
de agua en el acuífero El Salvador (3219),
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.**

CDVII 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

| | | | | | | | |
|------|-------------|-----|-----|----------|-----|----------|----------|
| 3219 | EL SALVADOR | 6.5 | 1.7 | 1.326593 | 1.5 | 3.473407 | 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 EL SALVADOR (3219),
ESTADO DE ZACATECAS**

México, D.F., octubre de 2008

CONTENIDO

| | | |
|--------|--|----|
| 1. | GENERALIDADES | 3 |
| 1.1. | Localización..... | 3 |
| 1.2. | Situación administrativa del acuífero | 5 |
| 2. | ESTUDIOS TÉCNICOS REALIZADOS CON ANTERIORIDAD | 5 |
| 3. | FISIOGRAFÍA..... | 7 |
| 3.1. | Provincia fisiográfica..... | 7 |
| 3.2. | Clima | 7 |
| 3.3. | Hidrografía..... | 7 |
| 3.4. | Geomorfología..... | 8 |
| 4. | GEOLOGÍA..... | 8 |
| 4.1. | Estratigrafía | 8 |
| 4.2. | Geología estructural | 12 |
| 4.3. | Geología del subsuelo | 13 |
| 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 | 18 |
| 5.4.3. | Evolución del nivel estático | 19 |
| 5.5. | Hidroggeoquímica y calidad del agua subterránea | 20 |
| 6. | CENSO DE APROVECHAMIENTOS E HIDROMETRIA..... | 20 |
| 7. | BALANCE DE AGUAS SUBTERRRANEAS | 21 |
| 7.1. | Entradas..... | 21 |
| 7.1.1. | Recarga vertical (Rv) | 21 |
| 7.1.2. | Recarga por flujo subterráneo horizontal (Eh) | 22 |
| 7.2. | Salidas..... | 24 |
| 7.2.1. | Evapotranspiración (ETR) | 24 |
| 7.2.2. | Bombeo (B)..... | 25 |
| 7.2.3. | Salidas por flujo subterráneo horizontal (Sh)..... | 25 |
| 7.3. | Cambio de almacenamiento $\Delta V(S)$ | 26 |
| 8. | DISPONIBILIDAD | 26 |
| 8.1. | Recarga total media anual (Rt) | 27 |
| 8.2. | Descarga natural comprometida (DNCOM) | 27 |
| 8.3. | Volumen de agua subterránea concesionado e inscrito en el REPDA (VCAS) | 27 |
| 8.4. | Disponibilidad media anual de agua subterránea (DAS) | 27 |
| 9. | BIBLIOGRAFIA..... | 28 |

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 El Salvador, definido con la clave 3219 en el Sistema de Información Geográfica para el Manejo de las Aguas Subterráneas (SIGMAS) de la CONAGUA, se localiza en la porción nororiental del Estado de Zacatecas, entre los paralelos 24° 6' y 24° 36' de latitud norte y entre los meridianos 100° 44' y 101° 11' de longitud oeste, cubriendo una superficie aproximada de 1254 km².

Colinda al oeste, dentro del estado de Zacatecas, con el acuífero Guadalupe Garzarón; al sur con los acuíferos Santo Domingo y Vanegas-Catorce pertenecientes al estado de San Luis Potosí; al este con El Peñuelo-San José del Palmar del estado de Nuevo León y al norte con el acuífero Saltillo Sur del estado de Coahuila (Figura 1).

Geopolíticamente abarca la totalidad del municipio El Salvador y parcialmente el municipio de Concepción del Oro.

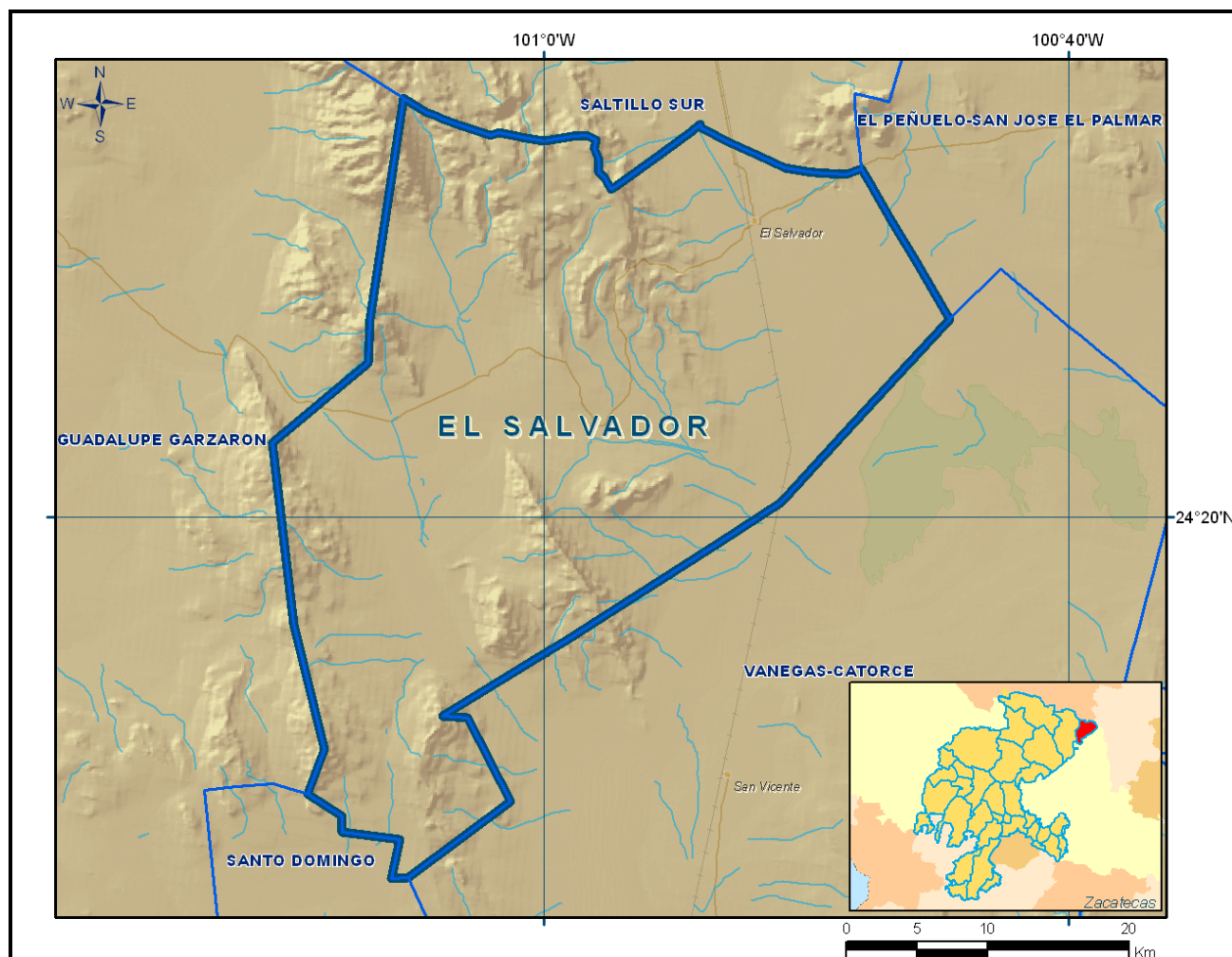


Figura 1. Localización del acuífero

La poligonal simplificada que delimita el acuífero El Salvador 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

| VÉRTICE | LONGITUD OESTE | | | LATITUD NORTE | | | OBERVACIONES |
|---------|----------------|---------|----------|---------------|---------|----------|-----------------------------------|
| | GRADOS | MINUTOS | SEGUNDOS | GRADOS | MINUTOS | SEGUNDOS | |
| 1 | 101 | 8 | 22.3 | 24 | 11 | 7.8 | |
| 2 | 101 | 9 | 32.3 | 24 | 15 | 55.5 | |
| 3 | 101 | 10 | 22.7 | 24 | 22 | 49.4 | |
| 4 | 101 | 6 | 42.1 | 24 | 25 | 53.2 | |
| 5 | 101 | 6 | 38.7 | 24 | 27 | 33.0 | |
| 6 | 101 | 5 | 21.3 | 24 | 35 | 58.6 | DEL 6 AL 7 POR EL LÍMITE ESTATAL |
| 7 | 101 | 47 | 55.0 | 24 | 33 | 17.5 | DEL 7 AL 8 POR EL LÍMITE ESTATAL |
| 8 | 101 | 44 | 32.5 | 24 | 27 | 33.2 | DEL 8 AL 9 POR EL LÍMITE ESTATAL |
| 9 | 101 | 5 | 10.8 | 24 | 6 | 13.0 | DEL 9 AL 10 POR EL LÍMITE ESTATAL |
| 10 | 101 | 9 | 2.1 | 24 | 9 | 25.9 | |
| 1 | 101 | 8 | 22.3 | 23 | 11 | 7.8 | |

1.2. Situación administrativa del acuífero

El acuífero El Salvador pertenece al Organismo de Cuenca VII “Cuencas Centrales del Norte” y es jurisdicción territorial de la Dirección Local Zacatecas. Su territorio se encuentra vedado por el “*Decreto por el que se declara de interés público la conservación de los mantos acuíferos en las zonas no vedadas, así como en el resto de los Municipios del Estado de Zacatecas y se establece veda por tiempo indefinido para el alumbramiento, extracción y aprovechamiento de las agua del subsuelo en los municipios señalados*”, publicado en el Diario Oficial de la Federación (DOF) el 8 de mayo de 1988. Esta veda se clasifica como tipo III que permite extracciones limitadas para usos domésticos, industriales, de riego y otros.

De acuerdo con la Ley Federal de Derechos en Materia de Agua 2008, los municipios El Salvador y Concepción del Oro se encuentran dentro de la zona de disponibilidad 7. Los principales usuarios del agua son el doméstico y el pecuario. En el acuífero no se localiza distrito o unidad de riego alguna, ni tampoco se ha constituido hasta la fecha un Comité Técnico de Aguas Subterráneas (COTAS). Al sur del acuífero se localiza una porción de la Zona de Protección Forestal y Refugio de la Fauna Silvestre “Sierra La Mojonera” con fecha de decreto del 13 de agosto de 1981.

2. ESTUDIOS TÉCNICOS REALIZADOS CON ANTERIORIDAD

Se han elaborado cuatro estudios geohidrológicos del acuífero El Salvador:

INFORME GENERAL DEL ESTADO DE ZACATECAS, realizado por el Ing. Mario Veytia Barba en 1974, para la Secretaría de Recursos Hidráulicos (SRH).

Como parte de sus actividades de campo, se tomaron muestras de agua para análisis fisicoquímicos en aprovechamiento distribuidos en el acuífero. Concluye que al norte del área el agua pertenece a la familia cálcica-sulfatada. Al centro del área domina el agua de tipo sódica – sulfatada; mientras que hacia el sur predominaba el agua sódica – bicarbonatada.

El agua se encuentra sobresaturada de calcita en casi toda el área debido a la gran cantidad de calcio y carbonatos que se encuentran formando las rocas de las sierras, los rellenos del valle o en depósitos evaporíticos o lacustres carbonatados que son típicos de esta región.

SERVICIOS DE PROSPECCIÓN Y LEVANTANMIENTOS GEOLOGICOS Y GEOFÍSICOS EN EL ESTADO DE ZACATECAS, elaborado para la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos (SARH) por la empresa Estudios Geológicos y Obras Civiles, S.A., en 1980.

Entre sus actividades principales destacan el censo de aprovechamientos, piezometría, hidrometría de las extracciones, análisis petrográficos y paleontológicos, así como el muestreo de agua subterránea para su análisis fisicoquímico correspondiente.

ESTUDIO DE PROSPECCIÓN GEOHIDROLOGICA Y EXPLORACIÓN GEOFÍSICA EN LA ZONAS MARGINADAS DEL ESTADO DE ZACATECAS, realizado por la empresa EXYCO S.A. en 1990, para la Comisión Nacional del Agua.

Se realizó el muestreo de agua subterránea para su análisis fisicoquímico respectivo. El promedio de salinidad fue de 2000 ppm de sólidos totales disueltos. De acuerdo a la interpretación hidrogeoquímica, determina que las muestras obtenidas en pozos son representativas de materiales del subsuelo lateralmente conectados que conforman áreas acuíferas y que las norias o pozos someros tienen estrecha relación con agua de reciente infiltración.

Se realizó el censo de aprovechamientos hidráulicos, obteniéndose un total de 107 obras, 40 activas y 67 inactivas. Se detectaron niveles piezométricos poco profundos y zonas de descarga tanto por flujo vertical como horizontal.

Se identificaron y cartografiaron 19 unidades litológicas; estos materiales se integraron en 7 unidades hidrogeológicas.

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 HIDROGEOLOGICA DE LOS ACUÍFEROS GARCÍA DE LA CADENA, PINO SUÁREZ Y CORRALES, ZACATECAS, realizado por la empresa Ingeniería y Gestión Hídrica, S. C. en 2007, para la Comisión Nacional del Agua.

El objetivo del estudio fue actualizar el conocimiento de las redes de flujo subterráneo, profundidad, elevación y evolución de los niveles del agua subterránea en las redes de medición y calidad del agua de acuíferos del estado de Zacatecas, entre los cuales se incluye a El Salvador, para establecer un diagnóstico de la evolución de los niveles del agua, determinar la recarga media anual del agua subterránea y las componentes de balance hidráulico subterráneo.

Los resultados y conclusiones de este estudio fueron 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

El acuífero se ubica en la provincia fisiográfica conocida con el nombre de “Sierra Madre Oriental”, representada en la zona por las subprovincias “Sierras Transversas y “Sierras y Llanuras Occidentales”, que se caracterizan por estar conformadas por un conjunto de sierras con orientación NW-SE y E-W que presentan una flexión al N-S.

3.2. Clima

Dentro del área del acuífero se presenta el grupo de climas secos (B). El clima semiseco templado (BS1kx') predomina en una franja central orientada en dirección noroeste sureste, abarca 35% de la zona del acuífero con temperatura medias de 17.4° C y precipitaciones de 240 a 290 mm/año. El clima seco semicálido (BS0hx') con lluvias en verano y % de precipitación invernal menor del 5% se presenta en la porción oriental del acuífero, hacia los pies de las sierras. El clima seco templado (BS0kw (x')) con lluvias en verano se presenta en las partes topográficamente más altas en una franja orientada NW-SE, localizada al sur de la zona, en donde la precipitación invernal se encuentra entre 5 y 10.2%.

El Clima semifrío subhúmedo C (E) x' se localiza en una pequeña porción al noroeste del acuífero.

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 1987-2007, provenientes de 7 estaciones climatológicas ubicadas en la zona.

Con base en estos registros se estimó una temperatura media anual de 16.5° C para la superficie que cubre el acuífero.

El valor de la precipitación media anual obtenido para este periodo es de 374.1 mm/año. La mayor precipitación se registra en la sierra del noreste con valores de 400 a 410 mm/año. Los meses más lluviosos son de julio a septiembre.

3.3. Hidrografía

El área se ubica dentro de la Región Hidrológica No. 37 “El Salado”. Pertenece a la cuenca “Sierra de Rodríguez” (37C), la cual tiene una superficie dentro del estado de 3935 km²; toma su nombre de la parte más elevada de la zona, de donde fluyen en época de lluvia algunos pequeños arroyos que drenan a esta cuenca. Las subcuencas intermedias que se forman en esta cuenca son: San Tiburcio (37CA) y Concepción del Oro (37CB).

3.4. Geomorfología

El área del acuífero se caracteriza por la presencia de los siguientes sistemas de topoformas:

Bajadas. Ocurren en las porciones suroeste y centro del límite del acuífero en las que se localizan las comunidades de Tanque del Alto y Tanque Nuevo. Sierras que se extienden en una franja que corre de noroeste-sureste así como hacia la parte sur del acuífero. Llanuras aluviales de piso rocoso o cementado la cual corre paralela a las bajadas típicas que se localizan en las porciones este (localidad El Salvador) y oeste del acuífero. Valles que se encuentran solo en una pequeña porción en la parte oeste del acuífero.

La morfología que se presenta en la cuenca es producto de patrones geológico estructurales resultantes de la tectónica compresiva y distensiva que han sufrido las rocas a lo largo de su historia geológica, de aquí que la mayoría de los cambios bruscos en la dirección de las principales corrientes de la cuenca se deben a grandes estructuras geológicas (fallas y fracturas) que siguen los escurrimientos a través de las zonas de debilidad

4. GEOLOGÍA

Dentro de la zona las rocas más antiguas se encuentran representadas por un conjunto de rocas bandeadas del Triásico, las cuales pertenecen a dos formaciones litoestratigráficas principales: La Formación Taray la cual está constituida por una alternancia de filitas y grauvacas de edad Triásico Medio Superior; que cubren a la Formación Rodeo. Por arriba de esta formación (Taray) se encuentra la Formación Nazas del Triásico Superior-Jurásico Inferior, constituida por lavas andesíticas, riolitas, areniscas y limonitas. En el Cretácico Superior aparece un macizo intrusivo de composición sienítica del Maestrichtiano. Para el Paleógeno-Neógeno se reporta la presencia de diques monzoníticos del Plioceno. Del Eoceno al Plioceno se tiene un conglomerado polimíctico constituido por fragmentos subredondeados de areniscas y rocas volcánicas de composición riolítica, areniscas y limos semiconsolidados. Al Cuaternario corresponden aluviones con diversas granulometrías, producto erosivo de las rocas preexistentes que cubren parcialmente a todas las formaciones ya descritas. Figura 2.

4.1. Estratigrafía

La columna geológica de la zona está constituida por rocas sedimentarias e ígneas intrusivas y volcánicas, cuyo registro estratigráfico comprende edades que varían del Triásico Medio Superior al Cuaternario.

Formación Taray (TRmsF-Lm). Aflora principalmente en la sierra del Teyra, formando un conjunto de rocas bandeadas, constituidas de grauvacas y filitas, que cubren a la Formación Rodeo.

La parte inferior de esta formación está constituida por filitas de color café claro; en tanto que su parte superior, se encuentra interestratificada con dolomita y grauvaca.

Formación Nazas (TRsJiALm). También conocida como Formación Huizachal, aflora en la Sierra de San Julián, del Teyra y en el Cerro Europa. Está cubierta generalmente por la caliza Zuloaga. La Formación Nazas está constituida de limolitas, areniscas y conglomerados de color rojo, parcialmente calcáreos; también incluyen ocasionalmente material volcánico alterado, limolitas y areniscas de grano fino o cuarcita.

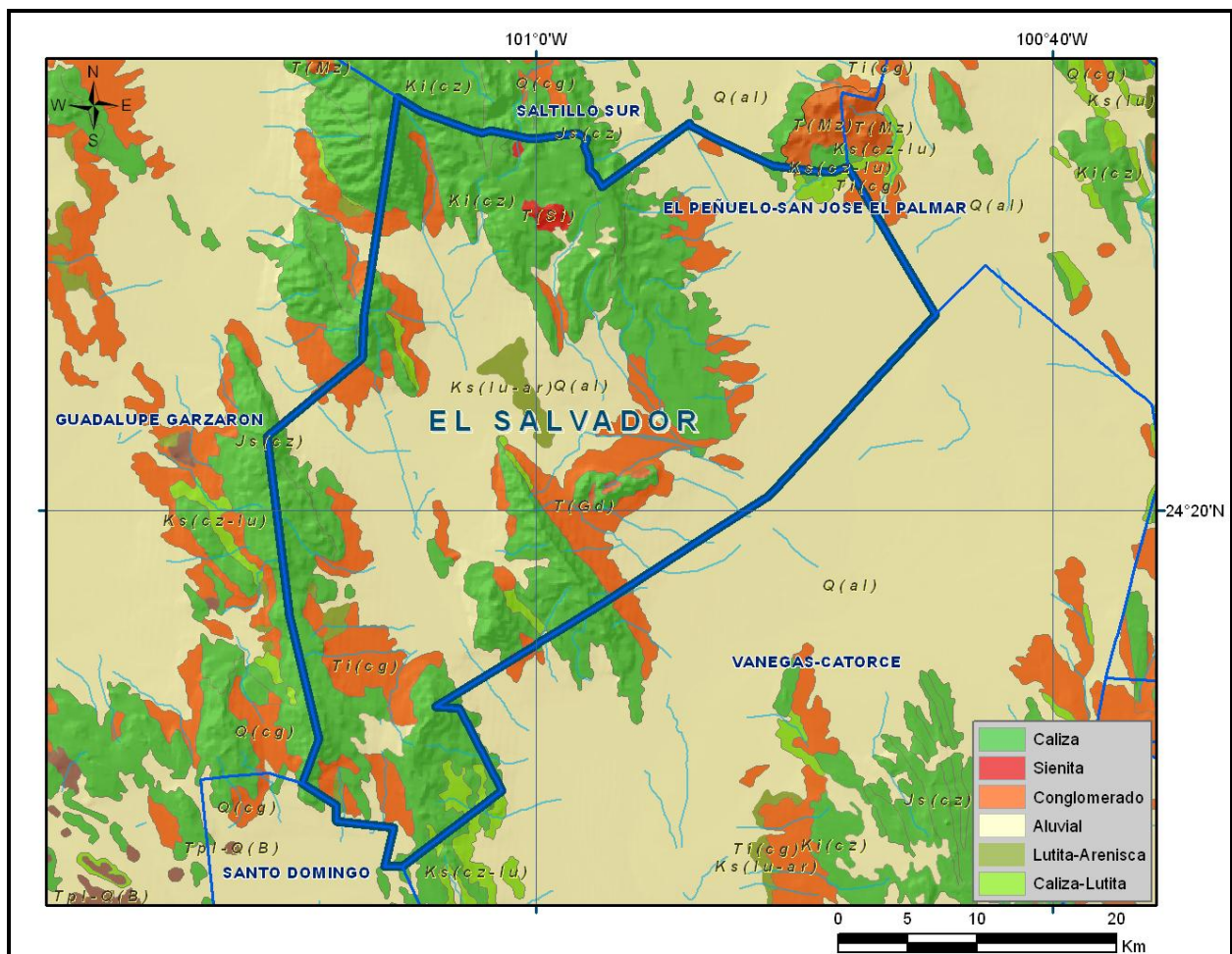


Figura 2. Mapa Geológico

Formación La Joya (JmCgp-Ar). Esta formación aflora en la Sierra Madre Oriental, en el subsuelo se le encuentra distribuida en la Planicie Costera del Golfo. En su localidad tipo tiene más de 1200 m de espesor que consisten de conglomerados, areniscas, areniscas conglomeráticas, lutitas y limolitas de color rojo, ocasionalmente de color verde, de origen continental.

Formación Zuloaga (JoKCz). La Formación Zuloaga descansa directamente sobre rocas del basamento. Se trata de una caliza resistente a la erosión que forma los núcleos de los anticlinales y en la que se distinguen dos unidades bien definidas: la parte inferior que contiene muchas capas de caliza, cuyo color varía de gris claro a ligeramente oscuro; presenta una coloración rojiza o amarillenta por intemperismo, contiene también algunas capas de limolita calcárea débilmente consolidada. La parte superior está constituida por caliza masiva color gris, se caracteriza por presentar estilolitas de gran amplitud y algunos horizontes donde se presentan nódulos de pedernal pequeños de color negro. La Formación Zuloaga está cubierta en forma concordante por la Formación La Caja. Tiene un espesor aproximado del orden de 500 m.

Formación La Caja (JtLm-Cz). La Formación La Caja aflora en la mayoría de las sierras plegadas, consiste de limolita calcárea y cantidades pequeñas de caliza pedernal, fosforita y lutita. Esta formación aflora generalmente en estrechas bandas paralelas, que flanquean a la caliza Zuloaga en los núcleos anticlinales. Por presentar poca resistencia, frecuentemente se caracteriza porque en ella se desarrollan puertos y valles, que se alargan paralelamente al rumbo de las capas. A menudo se encuentra enmascarada por una pequeña cobertura aluvial, su espesor es del orden de 100 m.

Formación Taraises (KbehCz-Lu). La formación está constituida de caliza con cantidades menores de limolita, que descansan sobre sedimentos arcillosos de la Formación La Caja. En las partes altas de las montañas plegadas que forma, las capas de caliza son de espesor mediano a grueso, densas y de color gris claro a oscuro. La limolita que contiene se presenta intercalada en proporciones variables. La Formación Taraises es un depósito que se llevó a cabo en aguas relativamente profundas, alcanza un espesor aproximado de 150 m.

Formación Cupido (KhapCz).- Aflora en casi todas las sierras que existen en la región Ixtlera, formando crestas y salientes. Estas rocas son muy resistentes y homogéneas, están constituidas de sedimentos de aguas profundas (calizas), de espesor medio a grueso, de colores claros. La formación se caracteriza por presentar estilolitas y en ocasiones algunos nódulos y lentes de pedernal color gris. En algunas localidades presenta intercalaciones de limolita calcárea y lutita en cantidades menores. El espesor medio es de 300 m.

Formación La Peña (KapCz)

En la zona, la Formación La Peña tiene un espesor reducido y está cubierta por la caliza Cuesta del Cura. Se presenta bajo dos características diferentes: la parte inferior y media, constituida por caliza compacta en capas medias y gruesas, alternada con limolita poco cementada. La caliza es de color gris claro y oscuro y en ocasiones presenta pedernal, mientras que la limolita es calcárea, suave, deleznable, de color amarillento y gris. La parte superior de la formación, consiste de capas delgadas y lamosas de caliza color gris claro y de algunas capas medianas a gruesas con lentes delgados, de pedernal negro. El espesor de la formación es de 60 m.

Formación Cuesta del Cura (KaceCz-Lu). Esta formación también se conoce como Caliza Cuesta del Cura, se encuentra aflorando en casi todas las sierras mencionadas, formando las laderas de los cerros. Está constituida una de caliza laminar de estratificación ondulada, tiene color gris oscuro y contiene numerosas lentes y nódulos de pedernal negro. En la Zona Ixtlera de Zacatecas tiene un espesor del orden de 300 m.

Formación Indidura (KcessLu-Cz). Se localiza aflorando en las sierras El Calvario, Sombreretillo, Trébol y Concepción del Oro, descansando sobre la Formación Cuesta del Cura y cubierta por la Formación Caracol. Generalmente esta formación aparece aflorando en las laderas de las sierras; consiste principalmente de dos series diferentes que están formadas en la parte inferior, de caliza arcillosa dispuesta en capas delgadas y lajeadas, con numerosas capas medianas o gruesas de caliza laminar color gris oscuro y de limolita calcárea que es de color más amarillento. La parte superior está formada de una lutita gris muy homogénea, fácilmente erosionable, casi en contacto con la Formación Caracol, presenta un cambio de facies a una lutita arenosa. El espesor total promedio de la formación es de 200 m.

Formación Caracol (KcossAr-Lu). Aflora en las laderas de las sierras transversales de Santa Rita, Santa Rosa, La Laja y Zuloaga, en áreas muy locales. Está constituida por capas de lutitas, con intercalaciones de arenisca en forma alternante. La lutita es moderadamente calcárea y suave, de color oscuro localmente con algo 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. Espesor aproximado de 300 m.

Conglomerado Polimíctico y arenisca del Eoceno (TeCgp-Ar). Del Eoceno se tiene un conglomerado polimíctico constituido por fragmentos subredondeados de areniscas, guijarros de caliza, pedernal y rocas volcánicas de composición riolítica, areniscas y limos semiconsolidados.

Conglomerado Polimíctico del (Mioceno-Plioceno) (Tn Cgp). Los cuerpos conglomeráticos se depositaron en un ambiente continental, al pie de los terrenos recién emergidos. De una forma tentativa se estima que el tiempo en que ocurrió la acumulación de los materiales de esta unidad, la región septentrional del área se comportaba tectónicamente inestable, debido a la dinámica de un sistema de fallas de desplazamiento lateral que actuó en dicho sector, ocasionando la acumulación de un prisma relativamente potente de clásticos conglomeráticos.

Aluvión (Qhoal). Los materiales que constituyen esta unidad se encuentran rellenando las depresiones, generalmente sinclinales, bajo dos categorías que son: las llanuras de piedemonte y las llanuras aluviales que forman los rellenos de cuencas cerradas, denominadas bolsones. En general los aluviones se presentan como una mezcla de materiales de granulometría fina a gruesa, con una disposición heterogénea, en la cual superficialmente están sueltos y con una consolidación moderada en profundidad.

Dentro de la unidad de aluviones también se incluyen algunos conglomerados y algunos depósitos muy locales de travertino, relacionados como depósitos de manantial.

Sedimentos Lacustres (Qhoal). Los valles y bolsones que constituyen las partes topográficamente bajas de la zona están constituidos por gravas, arenas y limos de origen fluvial, eólico y lacustre. Los depósitos aluviales se encuentran formando pie de monte y abanicos aluviales en las estribaciones de la Sierra. El tamaño de los clásticos es muy variable y se encuentran mal clasificados. Hacia las partes centrales de los valles y bolsones, los clásticos son más finos y en la zona donde existen lagunas efímeras, éstos sedimentos se asocian a sales evaporíticas.

4.2. Geología estructural

El acuífero está ubicado en la zona de Sierras Transversales, pertenecientes a la Sierra Madre Oriental, las cuales tiene características de montañas plegadas, falladas y en ocasiones afectadas por macizos intrusivos y por rocas volcánicas.

Dentro de la zona se pueden distinguir tres grupos de sierras los cuales están separados por amplias llanuras denominadas Bolsones, formados al rellenarse de sedimentos antiguas depresiones originadas por fallas o por erosión. A partir del oeste, de una manera sucesiva, se pueden distinguir las siguientes Sierras y Llanuras: Sierra de Guadalupe Garzarón, Zona del Bolsón de San Carlos o Laguna Jazminal, Zona de Sierras Transversales, Zona del Bolsón de Cedros, Zona de la Sierra de Teyra y Zona del Bolsón de San Simón.

Las Sierras identificadas presentan características estructurales diferentes: La Sierra de Guadalupe Garzarón localizada al Oriente, corresponde a sierras plegadas que tienen orientación NW-SE, está afectada por un macizo intrusivo de tipo monzonítico. La parte poniente de ésta sierra, está cortada por una falla cuya orientación es la misma que la de la sierra.

En la parte Central se localizan las Sierras del Carpintero, La Caja, Santa Rosa y Santa Rita, cuyas características estructurales, pertenecen a anticlinales de orientación E-O, separados por pequeñas llanuras, que corresponden a sinclinales rellenos de sedimentos. Las Sierras La Caja y de Santa Rosa han sido afectadas por numerosas fallas paralelas al rumbo de las capas, también han sido afectadas por macizos intrusivos y por derrames volcánicos. Este conjunto de sierras transversales, está limitado al oriente y al poniente por el Bolsón de San Carlos y el Bolsón de Cedros, respectivamente.

La zona de sierras localizada hacia el poniente, está formada por el Cerro Europa y las sierras de San Julián, del Teyra, Gruñidora, Candelaria y Tanquecillos.

En este conjunto de Sierras, la parte norte presenta condiciones estructurales definidas, ya que se trata de un homoclinal con orientación NW-SE, que descansa directamente sobre rocas del basamento; mientras que en la parte sur, las sierras de Gruñidora, Candelaria y Tanquecillos, tienen una estructura geológica complicada, pues los estratos cambian frecuentemente de posición, en virtud de los plegamientos y el fracturamiento. Todo este conjunto está limitado hacia el oriente por el Bolsón de San Simón.

En general se considera que los tres conjuntos de Sierras mencionadas, están limitados por zonas de falla, que solo son evidentes por los cambios morfológicos bruscos y por la posición estructural de las capas que presentan discontinuidades.

4.3. Geología del subsuelo

Se cuenta con una sección geológica que atraviesa la zona, en dirección NE-SW, construida a partir de pozos exploratorios de PEMEX, estudios geológico-mineros, registros geofísicos, etc. (Figura 3). En esta sección que alcanza una profundidad de hasta 4000 m, se observa la presencia de las siguientes formaciones:

Aluvión del Cuaternario. Tiene un espesor medio de 120 m. Este material junto con los conglomerados polimícticos son los que funcionan como acuífero, de los que se extrae la mayor parte del agua subterránea dentro de la zona.

Conglomerados polimícticos del Paleógeno-Neógeno. Tienen un espesor medio de 370 m. Este material junto con el aluvión constituye el acuífero que actualmente se explota.

Sienita. Esta roca ígnea intrusiva tiene un espesor de más de 5300 m y sirve de frontera impermeable al acuífero hacia el noreste.

Formación Caracol. A profundidad forma sinclinales con un espesor medio de 750 m.

Formación Indidura. A profundidad forma anticlinales y sinclinales, estas rocas sedimentarias tienen un espesor medio de 320 m.

Formación Cuesta del Cura. Se encuentra por debajo de la Formación Indidura, formando un paquete de 360 m de espesor.

Formación La Peña. Se localiza por debajo de la Formación Cuesta del Cura, tiene un espesor de 250 m.

Formación Cupido. Infrayace a la Formación La Peña y tiene un espesor medio de 590 m.

Formación Taraises. Se localiza en el subsuelo por debajo de la Formación Cupido. Tiene un espesor medio de 190 m.

Formación La Caja. En el subsuelo infrayace a la Formación Taraises, teniendo un espesor medio de 240 m.

Formación Zuloaga. En el subsuelo se localiza por debajo de la Formación La Caja. Tiene un espesor de 370 m.

Formación La Joya. Se localiza a profundidad por debajo de la Formación Zuloaga. Tiene un espesor medio de 280 m.

Formación Nazas. Se localiza a profundidad por debajo de la Formación La Joya, con un espesor aproximado de 1050 m.

Formación Taray. Es la formación más antigua, que fue identificada en el subsuelo con los métodos geofísicos utilizados y con los pozos exploratorios realizados por PEMEX, tiene un espesor mayor a los 1400 m.

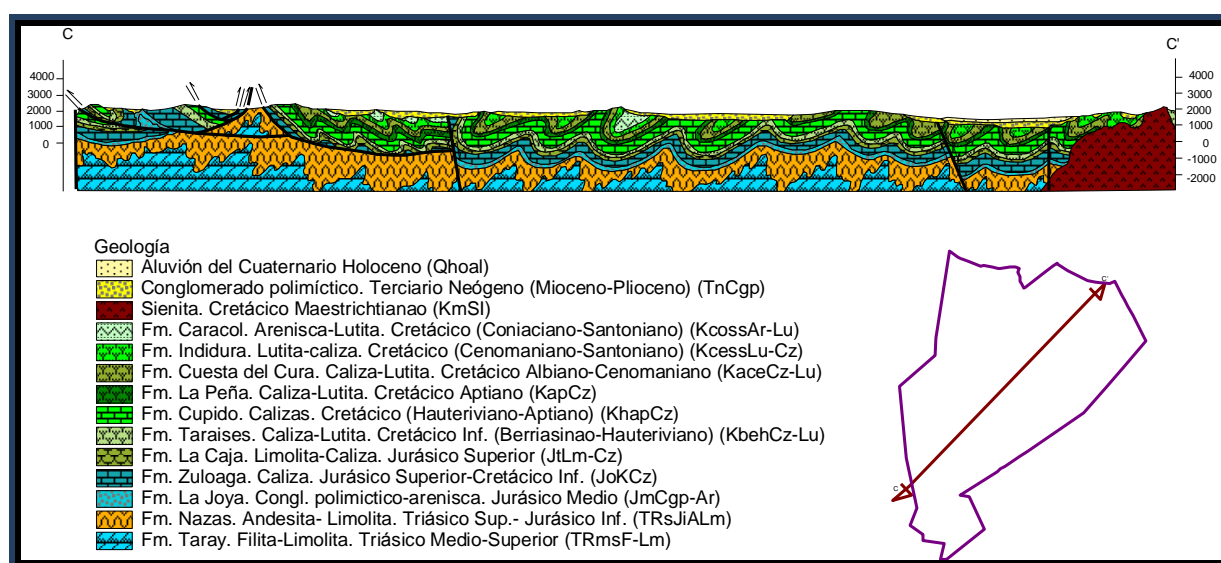


Figura 3. Secci3n geol3gica de la zona

De acuerdo con esta informaci3n, podemos afirmar que el acuífero se encuentra constituido, en su parte superior, por los dep3sitos granulares y los conglomerados pale3geno-ne3genos que rellenan los valles; en tanto que en la parte inferior est3 conformada por areniscas y lutitas que constituyen la Formaci3n Caracol, cuando presentan fracturamiento. El predominio de sedimentos granulares y conglomerados polim3cticos, de granulometr3a fina, le confieren baja permeabilidad al acuífero, dado que los bajos caudales que aporta s3lo son suficientes para el abastecimiento de las necesidades del uso dom3stico-abrevadero. Las mismas rocas de la Formaci3n Caracol, cuando se encuentran inalteradas, conforman el basamento del acuífero que actualmente se explota. El espesor de este acuífero puede alcanzar los 400 m.

Debajo de este paquete de rocas existe un acuífero alojado en rocas calizas que puede presentar condiciones de semiconfinamiento debido a la presencia de lutitas. Las fronteras al flujo subterráneo están constituidas por las rocas ígneas intrusivas (sienitas), metamórficas (filitas y meta areniscas) y sedimentarias (lutitas y calizas arcillosas), de baja permeabilidad.

5. HIDROGEOLOGÍA

5.1. Tipo de acuífero

De acuerdo con la información geológica y piezométrica, es posible reconocer siete unidades hidrogeológicas (dos de ellas presentan baja permeabilidad), que en conjunto definen un sistema acuífero que se comporta como libre y eventualmente semiconfinado, con interconexión hidráulica entre las distintas unidades permeables.

Unidad aluvial del Cuaternario. Constituida por los sedimentos clásticos (aluvión) que rellenan el bloque caído de la falla que se localiza al oeste de la cabecera municipal de El Salvador, el espesor medio de estos materiales es de 200 m.

Unidad en conglomerados. Aflora en la porción poniente de la zona y en la oriente se localiza por debajo del aluvión. Constituido por conglomerados polimícticos del Paleógeno-Neógeno que rellenan la Cuenca. Se considera de baja permeabilidad debido a que aporta bajos caudales de extracción (menor a 4 l/s). El espesor medio de estos materiales es de 350 m.

Unidad en areniscas y conglomerados. Esta unidad aflora en una pequeña porción al noroeste de la localidad de el Salvador y corresponde a la Formación Ahuichila. Se presenta también por debajo del material aluvial al norte del acuífero. No tiene importancia hidrogeológica debido a que sus afloramientos son muy restringidos.

Unidad en calizas. Afloran en la porción norte, poniente y sur de la zona formando anticlinales que corresponden a las formaciones Cupido y Zuloaga. Hacia la planicie se encuentran cubiertas por las calizas arcillosas de las formaciones Taraises, Cupido, La Peña, Cuesta del Cura e Indidura, así como por las areniscas de la Formación Caracol, los Conglomerados del Paleógeno-Neógeno y aluvión del Cuaternario. El agua circula a través de fracturas y conducto de disolución, moviéndose paralelamente a los planos de estratificación, descargando sus aguas en el material granular de la planicie, otra parte del flujo sigue su curso por el material estratificado hasta llegar a los sinclinales localizados a más de 1 700 m en donde se almacena.

Unidad en areniscas.- Estas rocas sedimentarias afloran en la porción central de la zona y pertenecen a la Formación Caracol. Hacia la planicie se encuentran cubiertas por los conglomerados polimícticos del Paleógeno-Neógeno; a profundidad forman lentes de mediana a baja productividad. El agua que circula en ellas se infiltra a través de fracturas.

Acuitardo en calizas arcillosas. Estas rocas sedimentarias afloran en forma de anticlinales en la porción norte, poniente y sur del acuífero; pertenecen a las formaciones Taraises, Cupido, La Peña, Cuesta del Cura e Indidura. Hacia la planicie se encuentran cubiertas por las areniscas arcillosas de la Formación Caracol, los conglomerados del Paleógeno-Neógeno y el aluvión del Cuaternario. A profundidades mayores de 300 m forman acuitardos de baja productividad.

El agua circula a través de fracturas, moviéndose paralelamente a los planos de estratificación y descarga en el material granular de la planicie; otra parte del flujo sigue su curso hasta los sinclinales localizados a más de 500 m de profundidad en donde se almacena.

Acuífugo en rocas ígneas intrusivas. Esta unidad hidrogeológica aflora localmente y en forma dispersa en las porciones centro-norte y centro-sur de la zona, se encuentra conformada por monzonitas y sienitas, las cuales por sus características litológicas no presentan posibilidades de almacenar agua subterránea.

5.2. Parámetros hidráulicos

Como parte de las actividades del estudio realizado en el 2007, se ejecutó una prueba de bombeo. La duración fue de 4 horas, para la etapa de abatimiento y 8 horas para la recuperación.

La conductividad hidráulica obtenida en la etapa de abatimiento fue de **0.0152 m/día (1.8×10^{-7} m/s)** y la transmisividad de **6.11 m²/día (7.1×10^{-5} m²/s)** para un espesor saturado del acuífero de 400 m. Estos valores son representativos del acuífero alojado en los conglomerados. En la etapa de recuperación la conductividad hidráulica (K) fue de **0.0223 m/día (2.6×10^{-7} m/s)** y transmisividad de **8.94 m²/día (1.0×10^{-4} m²/s)**.

La prueba de bombeo no contó con pozo de observación, por lo que no fue posible estimar el valor del coeficiente de almacenamiento.

5.3. Piezometría

Con respecto a la información piezométrica, se dispone de dos lecturas que corresponden a los años 2004 y 2007 obtenidas en 12 y 20 aprovechamientos, respectivamente.

5.4. Comportamiento hidráulico

5.4.1. Profundidad al nivel estático

Con la información disponible para estos dos años, fue posible elaborar las configuraciones de profundidad al nivel estático para 2004 y 2007 en la parte norte del acuífero. En la figura 4 se

presenta la configuración de profundidades del nivel del agua en 2004, en la que se puede observar que los valores variaban de 5 a 80 m, aumentando gradualmente desde el centro del valle hacia las estribaciones de las sierras que delimitan el acuífero, por efecto de la topografía.

Para el año 2007 (Figura 5) los valores de profundidad al nivel del agua subterránea registrados varían de 5 a 65 m.

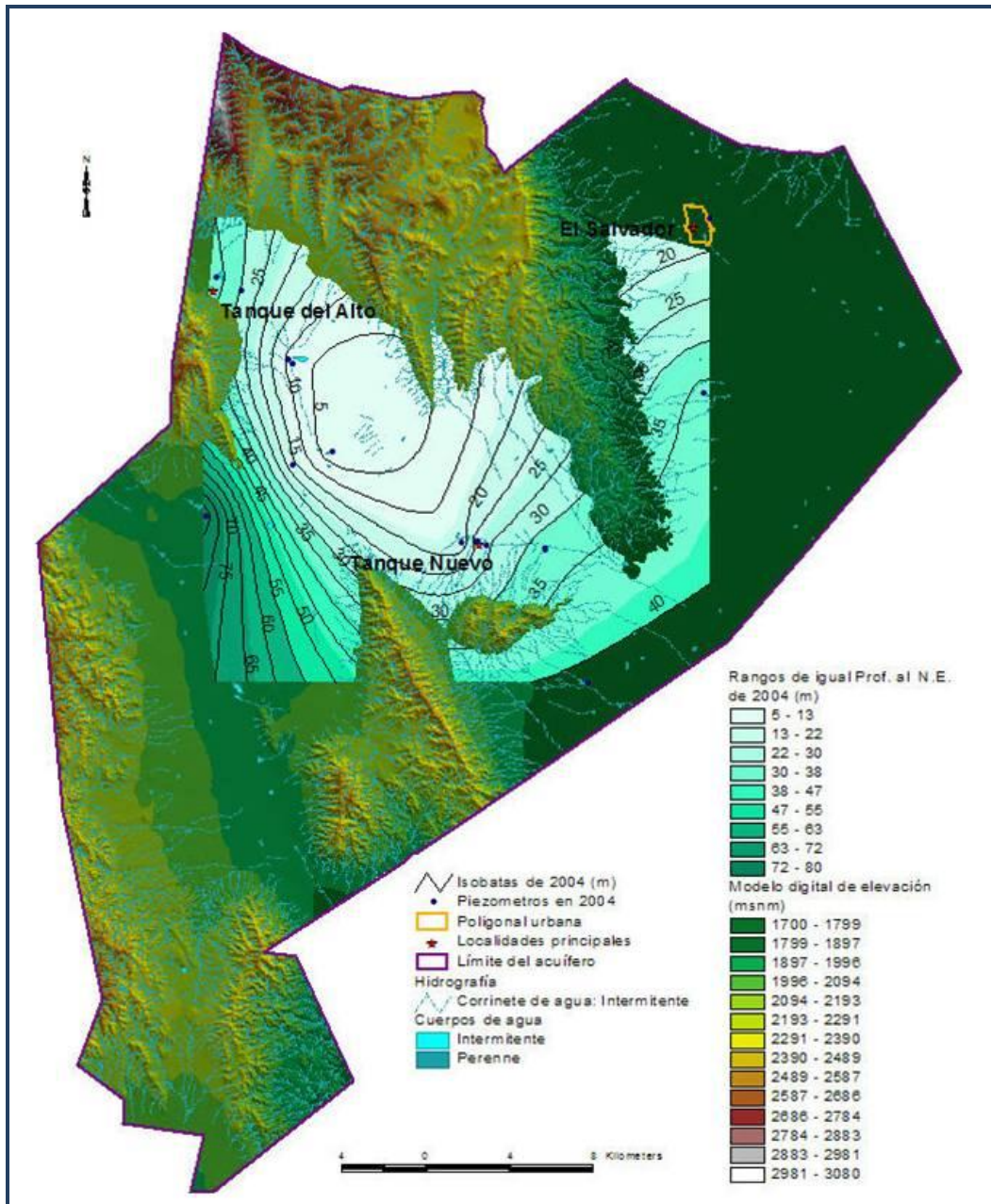


Figura 4. Profundidad al nivel estático (m), 2004

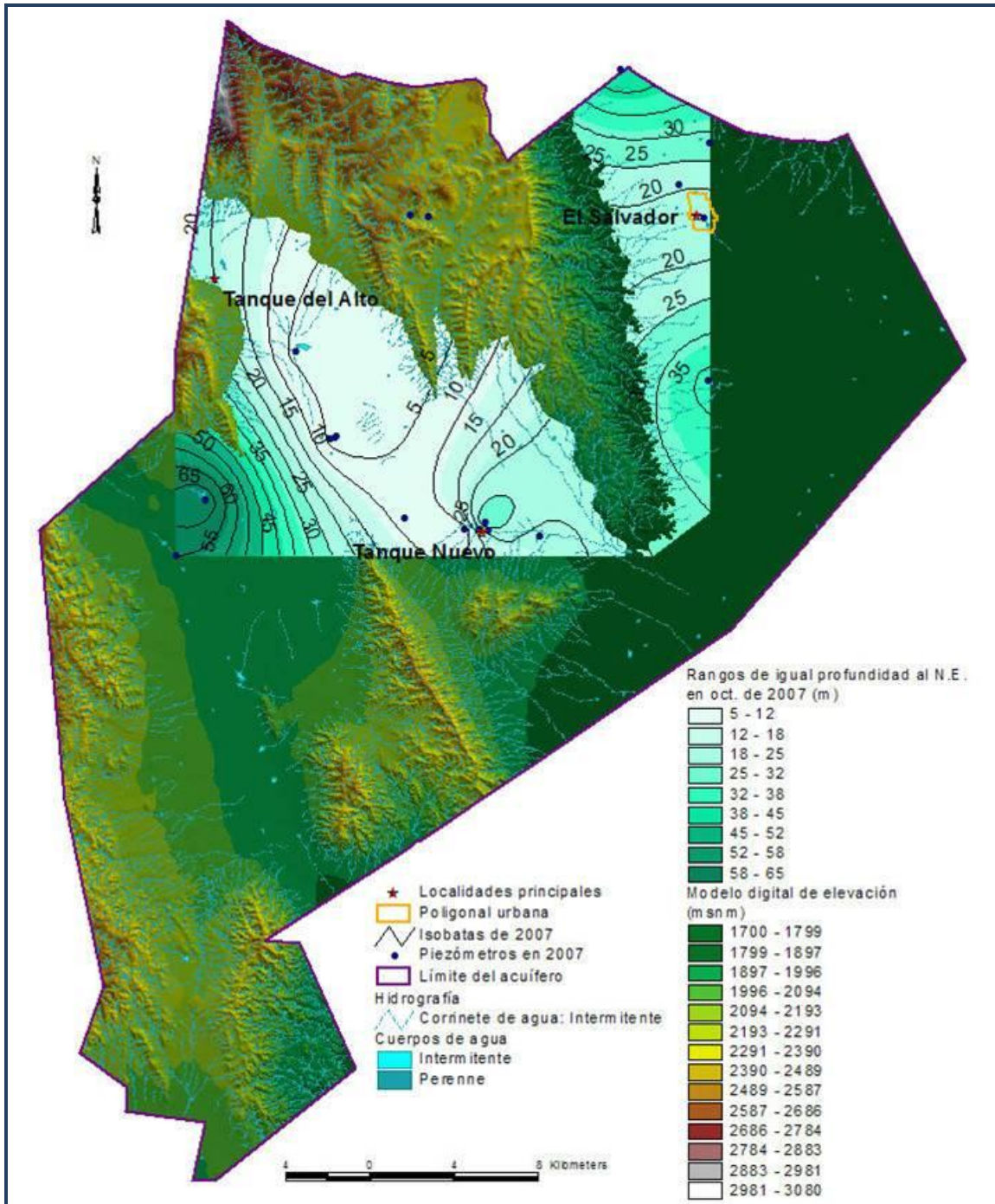


Figura 5. Profundidad al nivel estático (m), 2007

5.4.2. Elevación del nivel estático

La configuración de la elevación del nivel estático que corresponde al año 2007, muestra valores de 2150 a 1525 msnm; se presentan dos direcciones principales de flujo de agua subterránea. La primera tiene dirección de norte a sur y se presenta en la zona comprendida entre de Tanque Alto y Tanque Nuevo; y la segunda de oeste a este, desde la población El Salvador hacia el estado de San Luis Potosí, como se puede observar en la figura 6.

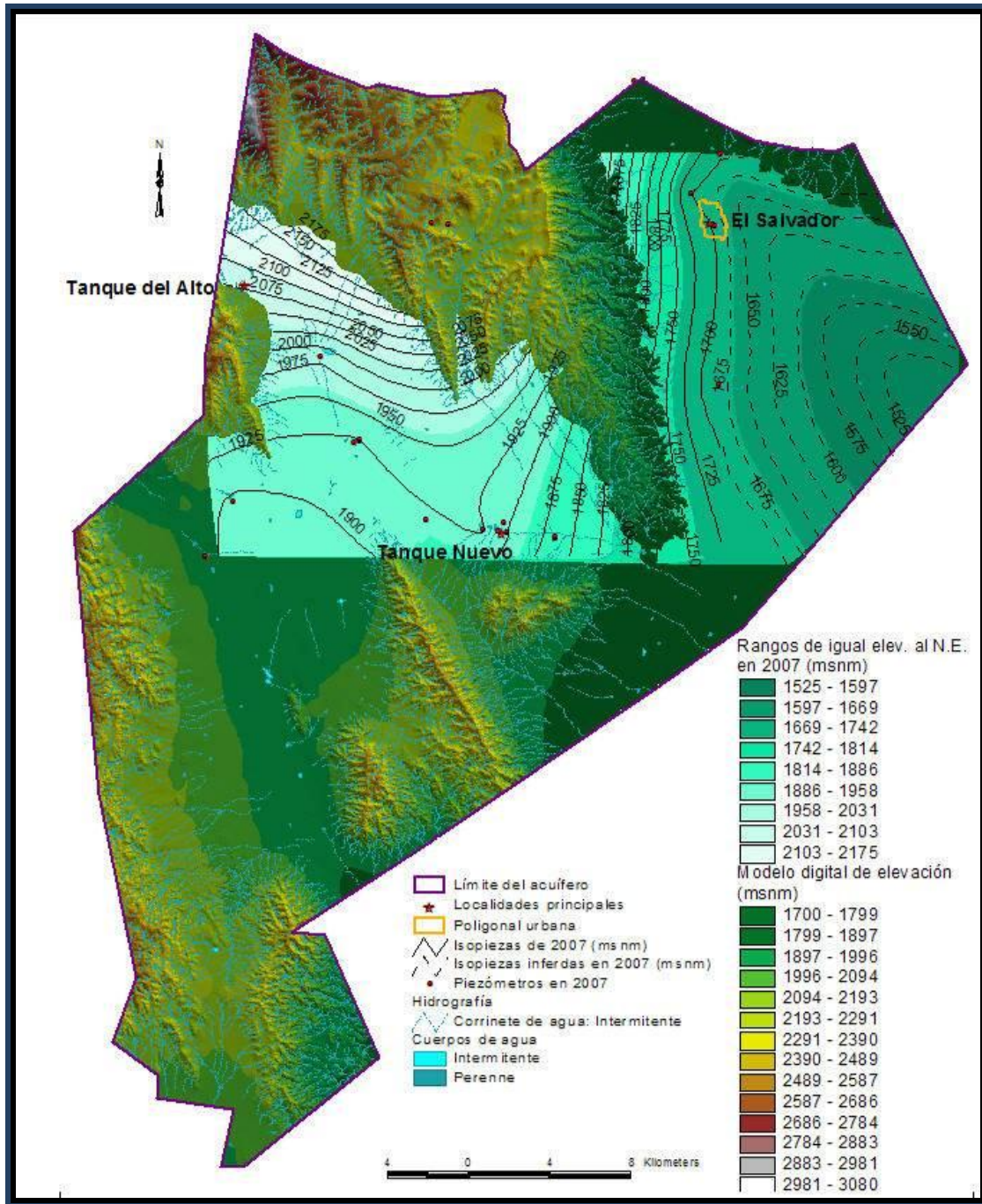


Figura 6. Elevación del nivel estático (msnm), 2007

5.4.3. Evolución del nivel estático

Debido a que para el periodo de análisis (2004-2007) no se tienen pozos con valor de evolución del nivel estático, no fue posible elaborar una configuración consistente. Por ello se recurrió a generar las líneas de igual valor de evolución a partir de la sobreposición de las curvas de profundidad al nivel estático que corresponden a estos años.

Con este procedimiento se obtuvo una evolución del nivel estático de 1.3 m para el periodo 2004-2007, lo que representa un valor aproximado de 0.3 m anuales. Este valor es tan pequeño que junto con el valor bajo del coeficiente de almacenamiento, hace suponer que para fines prácticos se considere que no existen variaciones significativas en la posición del nivel estático.

5.5. Hidrogeoquímica y calidad del agua subterránea

Como parte de los trabajos de campo del estudio realizado en el año 2007, se tomaron muestras de agua en 20 aprovechamientos para su análisis fisicoquímico correspondiente. Las determinaciones incluyeron iones mayoritarios, temperatura, conductividad eléctrica, pH, Eh, dureza total y sólidos totales disueltos.

Con respecto a la calidad del agua, tomando en cuenta los resultados de los análisis fisicoquímicos, se puede observar que los valores de Sólidos Totales Disueltos (STD) superan el máximo permisible de 1000 mg/l establecido la Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-1994 de STD para el agua destinada al consumo humano. La concentración de STD varía de 400 a 1400 mg/l.

Por otra parte, de acuerdo con el criterio de Wilcox, que relaciona la conductividad eléctrica con la Relación de Adsorción de Sodio (RAS), el agua extraída se clasifica como de salinidad alta (C_3) a muy alta (C_4) y contenido bajo de sodio (S_1) a medio (S_2). Por estas características el agua de este acuífero no es recomendable en condiciones normales para el riego de la mayoría de los cultivos. De las 20 muestras analizadas, 9 se clasifican como C_3S_1 , 2 se clasifican como C_2S_1 , 4 más como C_4S_1 , 3 como C_4S_2 y 2 como C_4S_3 . Esto indica que, términos generales, el agua subterránea no es apta para el uso y consumo humano, ni para el riego agrícola. Con respecto a las familias del agua, predomina la sulfatada-cálcica y clorurada-sódica, que son muy comunes en acuíferos con sedimentos de origen evaporítico de ambiente lagunar.

6. CENSO DE APROVECHAMIENTOS E HIDROMETRIA

De acuerdo con los resultados reportados en el último censo realizado en el año 2007, se registraron un total de 41 obras en el acuífero que aprovechan el agua subterránea, de las cuales 38 son pozos y 3 norias. Del total de obras, 34 están activas y las 7 restantes inactivas.

De las obras activas, 14 se destinan al uso doméstico, 10 al uso pecuario, 6 al doméstico y pecuario y 4 al uso agrícola. El volumen de extracción conjunta asciende a **1.5 hm³ anuales**, destinados casi en su totalidad a satisfacer las necesidades del uso pecuario y doméstico. 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.

7. BALANCE DE AGUAS SUBTERRANEAS

El balance de aguas subterráneas se planteó para el periodo 2004-2007, en una superficie de 747 km² del valle, en la que están dispersos los aprovechamientos censados. 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 quedan representadas por la recarga total, las salidas por la descarga total y el cambio de masa por el cambio de almacenamiento de un acuífero:

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

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 el valle y a lo largo de los escurrimientos (Rv) y la que proviene de zonas montañosas contiguas a través de una recarga por flujo horizontal subterráneo (Eh).

De manera inducida, la infiltración de los excedentes del riego agrícola y del agua residual de las descargas urbanas, constituyen otra fuentes de recarga al acuífero. Estos volúmenes se integran en la componente de recarga inducida (Ri). Para este caso, dado que no existen poblaciones urbanas importantes, y el riego agrícola es incipiente, no existe recarga inducida.

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, su valor será despejado de la ecuación de balance:

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

Donde:

Rv: Recarga vertical

Eh: Recarga 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:

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

7.1.2. Recarga 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 al valle.

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 2007 (figura 7), mediante la siguiente expresión

$$Q = T * B * i$$

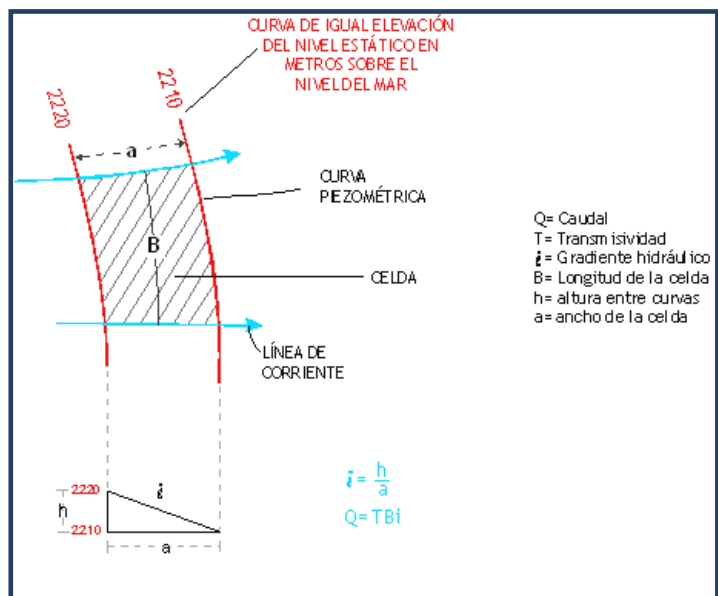
Donde:

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

T = transmisividad;

B = ancho de la celda;

i = gradiente hidráulico



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. En la Tabla 2 se puede observar que para las celdas identificadas se presenta un flujo de entrada de **2.9 hm³/año**.

Tabla 2. Cálculo de las entradas por flujo subterráneo horizontal

| No. Celda | Espesor medio de acuífero (m) | K (m/s) | T (m ² /s) | B (m) | i | Q m ³ /s | Eh (hm ³ /año) |
|-----------|-------------------------------|----------|-----------------------|--------|--------|---------------------|---------------------------|
| 1 | 15 | 1.19E-06 | 1.79E-05 | 8,649 | 0.0435 | 0.007 | 0.21 |
| 2 | 15 | 1.19E-06 | 1.79E-05 | 1,134 | 0.0327 | 0.001 | 0.02 |
| 3 | 15 | 1.19E-06 | 1.79E-05 | 2,306 | 0.0321 | 0.001 | 0.04 |
| 4 | 130 | 1.19E-06 | 1.55E-04 | 8,733 | 0.0253 | 0.034 | 1.08 |
| 5 | 130 | 1.19E-06 | 1.55E-04 | 10,337 | 0.0313 | 0.050 | 1.58 |
| SUMA | | | | | | 0.093 | 2.9 |

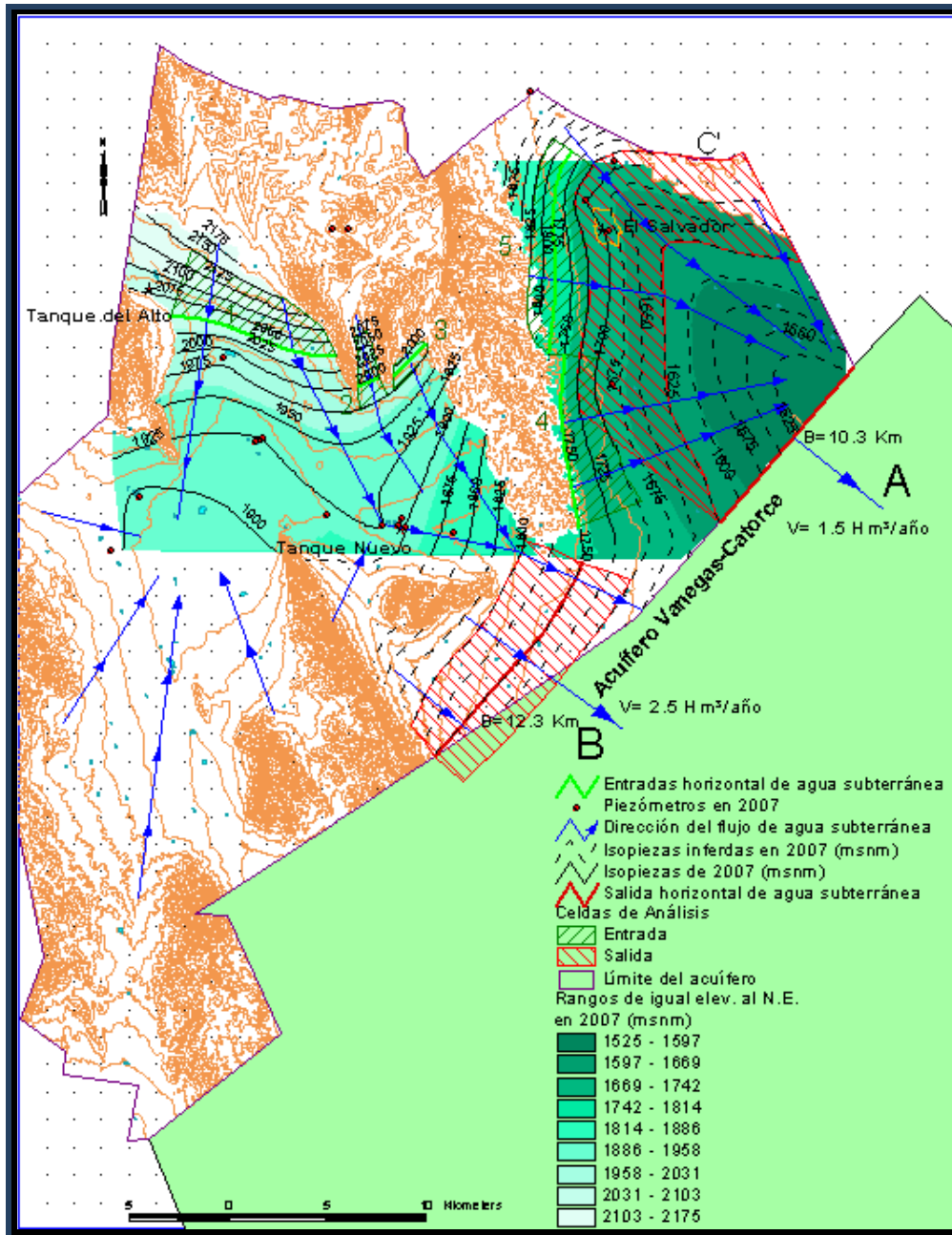


Figura 7. Red y celdas de flujo subterráneo

7.2. Salidas

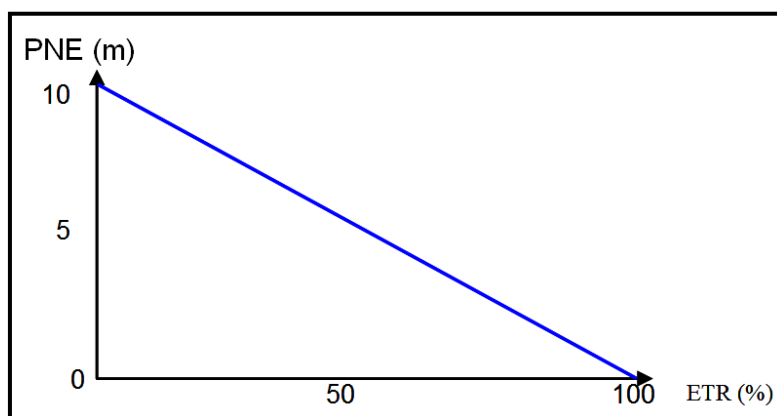
7.2.1. Evapotranspiración (ETR)

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 de profundidad, que se considera el límite de extinción para que se produzca el fenómeno de evapotranspiración, hasta donde penetran las raíces de las plantas. Se aplicó la fórmula de Turc para calcular que la lámina de Evapotranspiración real es de 363.5 mm anuales, considerando valores medios anuales de temperatura de 16.5° C y precipitación de 374.1 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) = | 16.5 | | |
| P(mm) = | 374.1 | P ² = | 139950.81 |
| L = | 937.10625 | L ² = | 878168.124 |
| ETR (mm) | 363.5 | | |

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 % de ETR. Suponiendo una profundidad límite de extinción de 10 m para el fenómeno de ETR, a menor profundidad mayor será el % 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 10 km² se registran niveles freáticos someros, donde la profundidad media es del 7 m, y la lámina de evapotranspiración real es de 363.5 mm, de acuerdo con la gráfica anterior:

$$ETR = 10 \text{ km}^2 (0.3635 \text{ m}) (0.3) = 1.1$$

$$ETR = 1.1 \text{ hm}^3/\text{año.}$$

7.2.2. Bombeo (B)

Como se menciona en el apartado de censo e hidrometría, el valor de la extracción por bombeo asciende a **1.5 hm³** anuales, destinados principalmente a los usos doméstico-abrevadero y pecuario.

7.2.3. 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 NE presentado en la figura 7. El Valor estimado es de **3.9 hm³ anuales**, tal como se muestra en la Tabla 3.

Tabla 3. Calculo de salidas por flujo subterráneo horizontal

| No. Celda | Prof. Media de la formación acuífera (m) | Espesor medio de acuífero (m) | Conductividad Hidráulica (m/s) | T (m ² /s) | B (m) | i | Q m ³ /s | Eh (hm ³ /año) |
|----------------|--|-------------------------------|--------------------------------|-----------------------|--------|-------|---------------------|---------------------------|
| A | 316.00 | 206.00 | 1.20E-06 | 2.47E-04 | 10,300 | 0.018 | 0.046 | 1.4 |
| B | 316.00 | 266.00 | 1.20E-06 | 3.19E-04 | 12,333 | 0.020 | 0.079 | 2.5 |
| Totales | | | | | | | 0.125 | 3.9 |

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

Para el cálculo de este término se consideró la evolución piezométrica en el intervalo 2004-2007. Con base en la configuración de curvas de igual evolución del nivel estático, obtenida como se mencionó anteriormente, se determinó que existe un ascenso promedio en la posición de los niveles del agua subterránea de 0.3 m/año. Este valor es tan pequeño que para fines prácticos se considera que no existen variaciones significativas en la posición del nivel estático.

Por lo tanto, para efecto del balance de aguas subterráneas, $\Delta V(S) = 0$.

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 (R_v). De la ecuación correspondiente, se tiene que:

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

Sustituyendo valores:

$$R_v = 1.5 + 3.9 + 1.1 + 0.0 - 2.9$$

$$R_v = 3.6 \text{ hm}^3 \text{ anuales}$$

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

$$R_t = R_v + E_h = 6.5 \text{ hm}^3 \text{ anuales}$$

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:

$$DAS = R_t - DNCOM - VCAS$$

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

R_t = 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 **6.5 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 del acuífero El Salvador, la única descarga natural que se presenta es por flujo subterráneo hacia el vecino acuífero Vanegas-Catorce, en el estado de San Luis Potosí. De los 3.9 hm³ que salen hacia este acuífero, se considera que sólo **1.7 hm³/año** deben considerarse comprometidos para atender las solicitudes de concesión y los restantes 2.2 hm³ podrán aprovecharse dentro de El Salvador. Esto garantizará los derechos de agua concesionados, promoverá la regularización de usuarios y el eventual desarrollo en ambos lados del límite estatal.

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

De acuerdo a la información existente en el Registro Público de Derechos de Agua (REPDA), el volumen concesionado de aguas subterráneas para este acuífero al **30 de septiembre de 2008**, es de **249,340 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 definida, 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 REPDA.

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

$$\text{DAS} = 6.5 - 1.7 - 0.249340$$

$$\text{DAS} = 4.550660$$

La cifra indica que existe un volumen disponible de **4'550,660 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 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. BIBLIOGRAFIA

Comisión Nacional del Agua. 1990. Estudio de Prospección Geohidrológica y Exploración Geofísica en las Zonas Marginadas del Estado de Zacatecas. Realizado por la empresa EXYCO S.A.

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.

Secretaria de Recursos Hidráulicos. 1974. Informe General del estado de Zacatecas. Dirección General del estado de Irrigación y Control de Ríos. Dirección de Geohidrología y Zonas Áridas.

Secretaria de Agricultura y Recursos Hidráulicos. 1980 Servicios de Prospección y Levantamientos Geológicos y Geofísicos en el Estado de Zacatecas, elaborado por la empresa Estudios Geológicos y Obras Civiles, S.A.