



**SUBDIRECCIÓN GENERAL TÉCNICA**  
**GERENCIA DE AGUAS SUBTERRÁNEAS**

**ACTUALIZACIÓN DE LA DISPONIBILIDAD MEDIA ANUAL DE  
AGUA EN EL ACUÍFERO DR. MORA–SAN JOSÉ ITURBIDE  
(1106), ESTADO DE GUANAJUATO**

CIUDAD DE MÉXICO, 2024

## Contenido

<b>1. GENERALIDADES.....</b>	<b>2</b>
Antecedentes.....	2
1.1. Localización.....	2
1.2. Situación administrativa del acuífero.....	4
<b>2. ESTUDIOS TÉCNICOS REALIZADOS CON ANTERIORIDAD .....</b>	<b>5</b>
<b>3. FISIOGRAFÍA .....</b>	<b>6</b>
3.1. Provincias fisiográficas.....	6
3.2. Clima.....	7
3.3. Hidrografía.....	8
3.4. Geomorfología.....	9
<b>4. GEOLOGÍA.....</b>	<b>10</b>
4.1. Estratigrafía.....	11
4.2. Geología estructural.....	16
4.3. Geología del subsuelo.....	18
<b>5. HIDROGEOLOGÍA .....</b>	<b>19</b>
5.1. Tipo de acuífero.....	19
5.2. Parámetros hidráulicos.....	19
5.3. Piezometría.....	20
5.4. Comportamiento hidráulico.....	20
5.4.1. Profundidad al nivel estático.....	20
5.4.2. Elevación del nivel estático.....	21
5.4.3. Evolución del nivel estático.....	22
5.5. Hidrogeoquímica y calidad del agua subterránea.....	23
<b>6. CENSO DE APROVECHAMIENTOS E HIDROMETRÍA.....</b>	<b>24</b>
<b>7. BALANCE DE AGUAS SUBTERRÁNEAS.....</b>	<b>24</b>
7.1. Entradas.....	24
7.1.1. Recarga vertical (Rv).....	25
7.1.2. Entradas por flujo subterráneo horizontal (Eh).....	25
7.1.3. Recarga inducida (Ri).....	27
7.2. Salidas.....	27
7.2.1. Bombeo (B).....	27
7.3. Cambio de almacenamiento $\Delta V(S)$ .....	27
<b>8. DISPONIBILIDAD .....</b>	<b>29</b>
8.1. Recarga total media anual (R).....	29
8.2. Descarga natural comprometida (DNC).....	29
8.3. Volumen de extracción de aguas subterráneas (VEAS).....	30
8.4. Disponibilidad media anual de agua subterránea (DMA).....	30
<b>9. BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>31</b>

## **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 Dr. Mora – San José Iturbide, definido con la clave 1106 por la Comisión Nacional del Agua, se ubica en la porción nororiental del estado de Guanajuato, entre los paralelos 20° 55' y 21° 12' de latitud norte, y los meridianos 100° 15' y 100° 32' de longitud oeste, cubre una superficie aproximada de 783 km<sup>2</sup>. Limita con los siguientes acuíferos, al noroeste y oeste con Laguna Seca, al noreste y este con Xichú–Atarjea, al suroeste con San Miguel de Allende, dentro del estado de Guanajuato; al sureste con Valle de Buenavista y con Valle de Amazcala, estos dos últimos ubicados en el estado de Querétaro de Arteaga (figura 1).

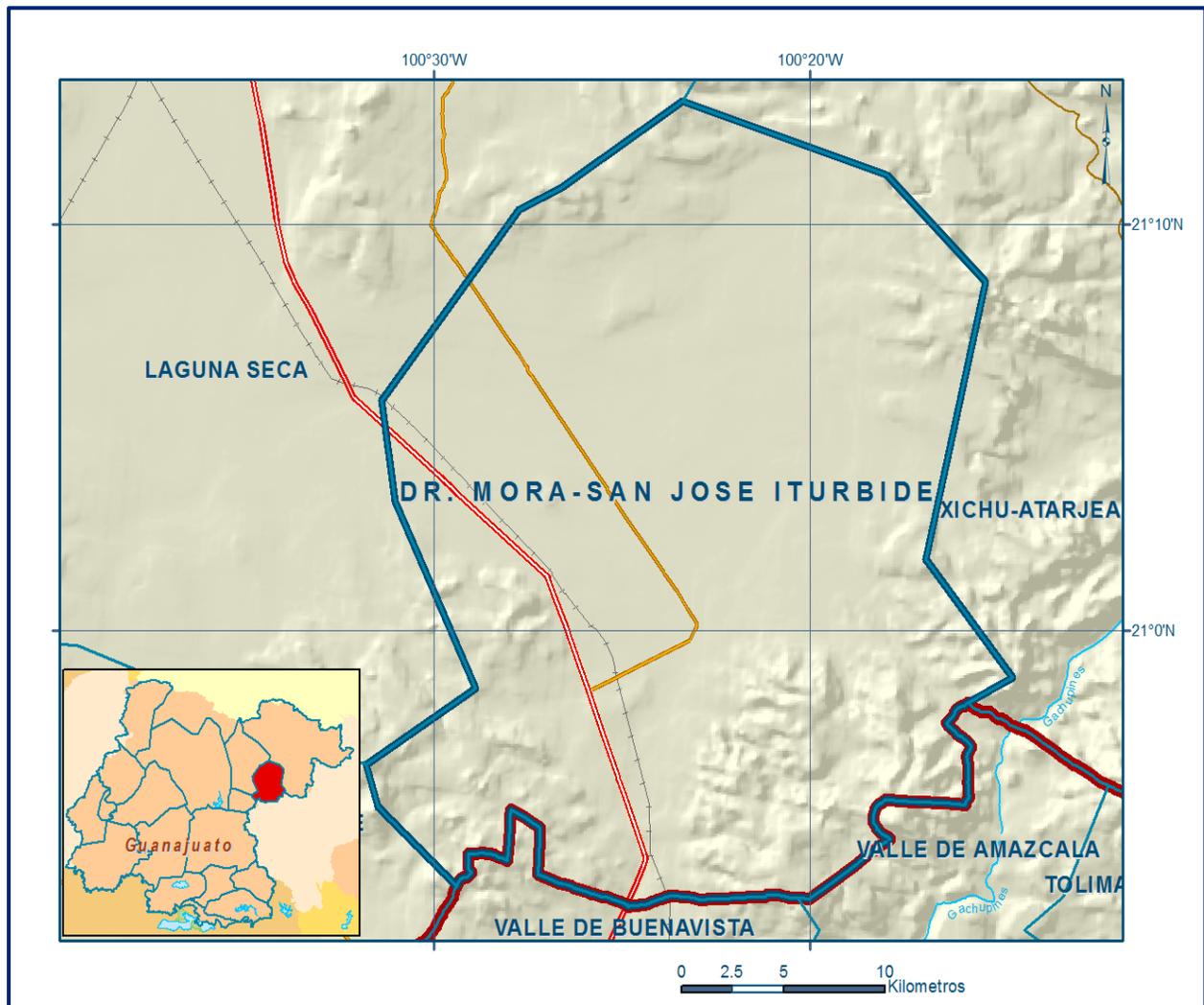


Figura 1. Localización del acuífero.

Geopolíticamente el acuífero cubre en su mayor parte los municipios San José Iturbide y Doctor Mora, así como pequeñas porciones de San Luis de la Paz y Allende.

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

Tabla 1. Coordenadas geográficas de la poligonal simplificada del acuífero

ACUIFERO 1106 DOCTOR MORA - SAN JOSE ITURBIDE.							
VERTICE	LONGITUD OESTE			LATITUD NORTE			OBSERVACIONES
	GRADOS	MINUTOS	SEGUNDOS	GRADOS	MINUTOS	SEGUNDOS	
1	-100	20	19.1	20	53	25.7	DEL 1 AL 2 POR EL LIMITE ESTATAL
2	-100	29	24.1	20	53	43	
3	-100	31	29.8	20	55	40.6	
4	-100	31	48.6	20	56	42.3	
5	-100	28	54.1	20	58	35.3	
6	-100	31	2.5	21	3	11	
7	-100	31	23.7	21	5	39.4	
8	-100	27	44.6	21	10	21.3	
9	-100	26	37.7	21	10	53.1	
10	-100	23	22.2	21	13	1.9	
11	-100	17	54.9	21	11	11.7	
12	-100	15	19.4	21	8	34	
13	-100	16	54	21	1	45.5	
14	-100	14	35.6	20	58	50.4	
15	-100	15	48.1	20	58	13.3	DEL 15 AL 1 POR EL LIMITE ESTATAL.
1	-100	20	19	20	53	25.7	

## 1.2. Situación administrativa del acuífero

El acuífero pertenece al Organismo de Cuenca Lerma-Santiago-Pacífico y es jurisdicción territorial de la Dirección Local en Guanajuato. Su territorio se encuentra totalmente vedado y sujeto a las disposiciones de cuatro decretos de veda. En la porción oeste del acuífero por el *Decreto que establece veda por tiempo indefinido para el alumbramiento de aguas del subsuelo en la Zona Norte del Estado de Guanajuato*, publicado en el DOF el 27 de enero de 1958, esta veda se clasifica como tipo II, en las que la capacidad de los mantos acuíferos sólo permite extracciones para usos domésticos.

Las porciones este y norte están regidas por el *Decreto por medio del cual se establece veda por tiempo indefinido para el alumbramiento de aguas del subsuelo en la zona que comprende parte de los Municipios de Querétaro, Qro., San José Iturbide, Doctor Mora y San Luís de la Paz, Gto.*, publicado en el Diario Oficial de la Federación (DOF) el 7 de mayo de 1964, esta veda se clasifica como tipo III, en las que la capacidad de los mantos acuíferos permiten extracciones limitadas para usos domésticos, industriales, de riego y otros.

Una pequeña porción al suroeste del acuífero por el *Decreto por el que se establece veda para el alumbramiento de aguas del subsuelo en una zona que comprende cuatro diversos municipios de los Estados de Querétaro y Guanajuato*, publicado en el Diario Oficial de la Federación (DOF) el 19 de diciembre de 1964, esta veda se clasifica en tipo III, en las que la capacidad de los mantos acuíferos permite extracciones limitadas para usos domésticos, industriales, de riego y otros.

Y otra pequeña porción al noreste por el *Decreto por el que se declara de interés público la conservación de los mantos acuíferos en diversos Municipios del Estado de Guanajuato*, publicado en el DOF el 14 de noviembre de 1983; esta veda se clasifica como tipo II, en las que la capacidad de los mantos acuíferos sólo permite extracciones para usos domésticos.

De acuerdo con la Ley Federal de Derechos en Materia de Agua 2024, el acuífero se clasifica como zona de disponibilidad 1.

El principal usuario del agua es el agrícola. En el territorio del acuífero no se localiza distrito o unidad de riego alguna, ni se ha constituido hasta la fecha Comité Técnico de Aguas Subterráneas (COTAS).

## **2. ESTUDIOS TÉCNICOS REALIZADOS CON ANTERIORIDAD**

En el área que cubre el acuífero se han realizado algunos estudios hidrogeológicos de evaluación, los más relevantes se describen a continuación:

**ACTUALIZACIÓN DEL ESTUDIO GEOHIDROLÓGICO DE LA CUENCA ALTA DEL RÍO LA LAJA, GTO. Elaborado por Geohidrológica Mexicana S.A. de C.V., para la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos (SARH) en 1981.** Los objetivos principales del estudio fueron: conocer el grado de explotación de los acuíferos de la cuenca Alta del Río La Laja, Gto.; determinar la magnitud y procedencia de la recarga del acuífero prestando especial atención a la aportación de las corrientes superficiales; determinar el volumen de extracción que se podía aprovechar permanentemente sin inducir efectos perjudiciales; localizar áreas favorables para el incremento de la extracción de agua subterránea y conocer la relación agua superficial-agua subterránea.

**ESTUDIO FOTOGEOLÓGICO DE LA ZONA NOR-ORIENTAL DEL ESTADO DE GUANAJUATO, MUNICIPIO DE SAN JOSÉ ITURBIDE.** Elaborado por Escuela Superior de Ingeniería y Arquitectura del IPN para la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos a través de la Subdirección de Geohidrología y de Zonas Áridas en 1982. El objetivo principal fue delimitar áreas con posibilidades acuíferas a través de fotografías aéreas y verificación geológica en campo, cuyos rasgos geológicos permitieron relacionarlos con la geohidrología de la región.

**ACTUALIZACIÓN DEL ESTUDIO GEOHIDROLÓGICO DE LA CUENCA DE LAGUNA SECA, GUANAJUATO.** Elaborado por Proyectos Antares S.A de C.V., para la Comisión Nacional del Agua en 1996. Sus objetivos fueron actualizar el conocimiento de las condiciones de explotación y recarga del acuífero para llevar a cabo la reglamentación sobre el uso y aprovechamiento de aguas subterráneas; así como obtener información básica necesaria para proponer alternativas de manejo del acuífero a través de simulación matemática.

**EVALUACIÓN HIDROGEOLÓGICA DEL ACUÍFERO DOCTOR MORA-SAN JOSE ITURBIDE, GTO.** Elaborado por Proyectos Antares S.A de C.V., para la Comisión Nacional del Agua en 2004. El objetivo principal fue actualizar el conocimiento de las condiciones geohidrológicas en el acuífero, para determinar la evolución de los niveles del agua y evaluar la recarga media anual del agua subterránea, mediante la actualización del balance.

**ACTUALIZACIÓN DEL INVENTARIO DE APROVECHAMIENTOS SUBTERRÁNEOS PARA EL ACUÍFERO DOCTOR MORA-SAN JOSÉ ITURBIDE, GTO.** Elaborado por la empresa GEOPSA S.A de C.V., para la Comisión Nacional del Agua en 2007. Los objetivos fueron actualizar el censo de aprovechamientos de aguas subterránea, realizar la nivelación de brocales de los mismos; calcular el volumen de extracción total, así como su distribución por usos, establecer los límites entre las zonas de abastecimiento público urbano, industrial, agrícola con riego de agua subterránea y superficial; rediseñar la red de pozos de monitoreo y definir las condiciones de funcionamiento del acuífero y el balance hidrogeológico.

### **3. FISIOGRAFÍA**

#### **3.1. Provincias fisiográficas**

De acuerdo a la clasificación fisiográfica del INEGI (1989), la zona del acuífero, se localiza en la porción sureste de la Provincia Fisiográfica Mesa del Centro.

La mayor parte del acuífero en la subprovincia Sierras y Llanuras del Norte de Guanajuato y sólo una pequeña porción en Llanuras y Sierras de Querétaro e Hidalgo. La Provincia Fisiográfica Mesa del Centro se caracteriza por tener terrenos predominantemente planos, donde se observan extensos valles al oriente de San Luís de La Paz y entre San José Iturbide y Doctor Mora. Sus principales elevaciones están conformadas esencialmente por rocas volcánicas de tipo riolítico, las cuales dan lugar a serranías altas, en forma de mesetas, con elevación media de 2000 metros sobre nivel del mar (msnm).

En las montañas, planicies y laderas, se encuentran numerosos arroyos de régimen intermitente y torrencial, algunos de ellos llegan a ser afluentes del Río La Laja, mientras que otros pierden su traza en las regiones planas. En conjunto, integran una red de drenaje de tipo dendrítico. El relieve característico de esta provincia es ondulado y escarpado, en la que las porciones planas y lomeríos llegan a tener desniveles hasta de 100 m.

En el Cretácico Tardío se depositaron gruesas secuencias de calizas, areniscas y margas (Sierra Madre Oriental), que se encuentran expuestas al norte y suroeste del área de estudio, en la Sierra Mineral de Pozos y Sierra de Los Cuarzos, respectivamente.

La porción sur de la Mesa Central pertenece a la Provincia Volcánica Sierra Madre Occidental, ya que contiene como rasgo principal una voluminosa cantidad de rocas volcánicas silíceas emplazadas en su mayoría en un lapso corto cercano a los 30 Ma (Cerca-Martínez *et al.*, 2000). Los pulsos principales de vulcanismo y extensión de la Mesa Central fueron relacionados con incrementos en las velocidades de expansión del fondo oceánico de la placa Farallón, la cual subduce a la placa Norteamericana (Nieto-Samaniego *et al.*, 1999). La Sierra Madre Oriental está compuesta principalmente por rocas marinas sedimentarias mesozoicas, deformadas por acortamiento producido por la Orogenia Laramide durante el Paleógeno y con poca o insignificante deformación extensional cenozoica (Eguiluz de Antuñano *et al.*, 2000).

### **3.2. Clima**

De acuerdo con la clasificación de Köppen, modificada por Enriqueta García, para la República Mexicana, el clima que predomina en la zona de estudio pertenece al grupo de climas secos.

En la porción noroeste del área cubierta por el acuífero se presenta el clima BS, KW (e) g, que representa a un clima muy seco o desértico, semicálido con temperatura media anual que varía de 18 a 20° C.

El régimen de lluvias es en verano, con porcentaje de lluvia invernal de 5 a 10% del total anual. Las temperaturas medias mensuales oscilan entre 7 y 14° C, considerado como extremoso.

En la porción nororiental de la región, existe el clima del tipo BSO (H) W (e) g, que pertenece a un clima más seco que el grupo anterior. Este es muy cálido con temperatura promedio anual mayor de 22° C. Su régimen de lluvias es en verano, con porcentaje de lluvia invernal entre 5 y 10% del total anual.

Para la determinación de las variables climatológicas se cuenta con información de 7 estaciones climatológicas: (Pozos, San José Iturbide, San José Iturbide (DGE), Charcas, Corral de Piedras, Villa Dr. Mora y El Charape, cuyo registro comprende el periodo 1949 - 2010. Con estos datos y utilizando el método de los polígonos de Thiessen se determinaron valores promedio anuales de precipitación y temperatura de **538.3 mm y 17.5 °C**, respectivamente. De igual manera, con respecto a la evaporación potencial, se obtuvo un valor de **1,747.9 mm anuales**.

### **3.3. Hidrografía**

El acuífero se ubica en la Región Hidrológica 12 Lerma-Santiago, que pertenece a la cuenca del Río La Laja.

En la parte norte del municipio de San José Iturbide se encuentran los arroyos El Salitre y La Canela, que alimentan la presa El Carrizal, ubicada en el municipio de Doctor Mora cuyas aguas benefician a San José Iturbide. Existen varios depósitos de agua en forma de pequeñas presas o jagüeyes como son El Capulín, Carbajal, El Refugio, Santa Anita, Ojo de Diego y El Pájaro. Hacia el Sur del municipio se encuentran varias corrientes, como Las Adjuntas, Rancho Viejo y Rancho Alto; además existe la presa El Joyero, que almacena el agua de los arroyos El Joyero y Piedras de Amolar.

El municipio de Doctor Mora no cuenta con corrientes hidrológicas superficiales de importancia; sólo posee algunos arroyos, entre ellos Charcas, La Plata, El Zorrillo, El Sauz y El Capulín. También cuenta con dos manantiales de aguas sulfurosas: La Hervidera y El Baño.

Gran parte de las pequeñas corrientes que se forman en las serranías de la cuenca, al llegar al valle son derivadas mediante reducidos bordos y tomas, hacia terrenos de cultivo, para utilizarlas con fines agrícolas y el resto del agua se pierde en el valle donde predominan los materiales granulares permeables que propician su infiltración al subsuelo.

Numerosos arroyos han tallado profundas barrancas en los flancos de las montañas; pero sus cauces pierden definición en las partes altas de los valles y llanuras, conforme se infiltra su caudal.

El arroyo Charcas se forma en el borde suroriental del acuífero, pasando por la parte norte de la población Doctor Mora, en dirección al poniente, uniéndose más adelante el arroyo de La Plata, formando entre ambos la corriente más importante de la zona, la cual es captada por la presa El Carrizal, destinada al riego y abrevadero de ganado. Aguas abajo de la presa El Carrizal, el arroyo se conoce como La Canela y luego como El Salitre para luego descargar sus aguas a la presa La Cebada, localizada cerca del cruce del ferrocarril México-Laredo con la carretera No. 57.

### **3.4. Geomorfología**

El marco geológico dentro del cual se encuentra la región tiene una marcada influencia de vulcanismo, episodio geológico cuyos productos configuraron un paisaje dominado por geformas características de este medio magmático.

La geología superficial y del subsuelo se caracteriza por la heterogeneidad de litofacies volcánicas asociadas distintos episodios magmáticos, principalmente de composición basáltica y riolítica.

Esta cuenca forma un gran valle elevado, que se ha mantenido bajo la influencia de la erosión de los ríos y arroyos que drenan las partes altas que lo circundan en la porción oriente propiamente del complejo volcánico.

Este acuífero no se considera como una cuenca cerrada, ya que tiene salida el valle en la porción poniente. Debido a que no es una cuenca cerrada y predominante plana, se considera que los fenómenos erosivos internos no se manifiestan notablemente, por lo que las pequeñas corrientes que drenan influyen en el arrastre de los materiales.

Las sierras del borde sur-oriental y nor-oriental moldean extensas mesetas, ya que están constituidas por una secuencia de tobas y derrames riolíticos, que se depositaron como lluvias de cenizas volcánicas y nubes ardientes que le dan el aspecto de rocas sedimentarias estratificadas, algunas de las estructuras más características de este tipo, se localiza propiamente como parteaguas del acuífero que corre desde la parte sur-oriente de San José Iturbide al oriente de Doctor Mora, en la región conocida como el Cerro del Pinalito, ubicado al sur-oriente de San José Iturbide.

#### 4. GEOLOGÍA

La zona de estudio está conformada por rocas ígneas, en su mayoría, metamórficas y sedimentarias, cuyas edades varían del Paleozoico (?) al Reciente, siendo los esquistos los más antiguos los cuales afloran al oriente de la localidad de El Guajolote. Su edad no se ha definido con precisión y es motivo de discusión, algunos autores las consideran del Paleozoico y otros del Triásico-Jurásico. Por su área de afloramiento y muy baja permeabilidad, estas son las rocas menos relevantes en el área de estudio (figura 2).

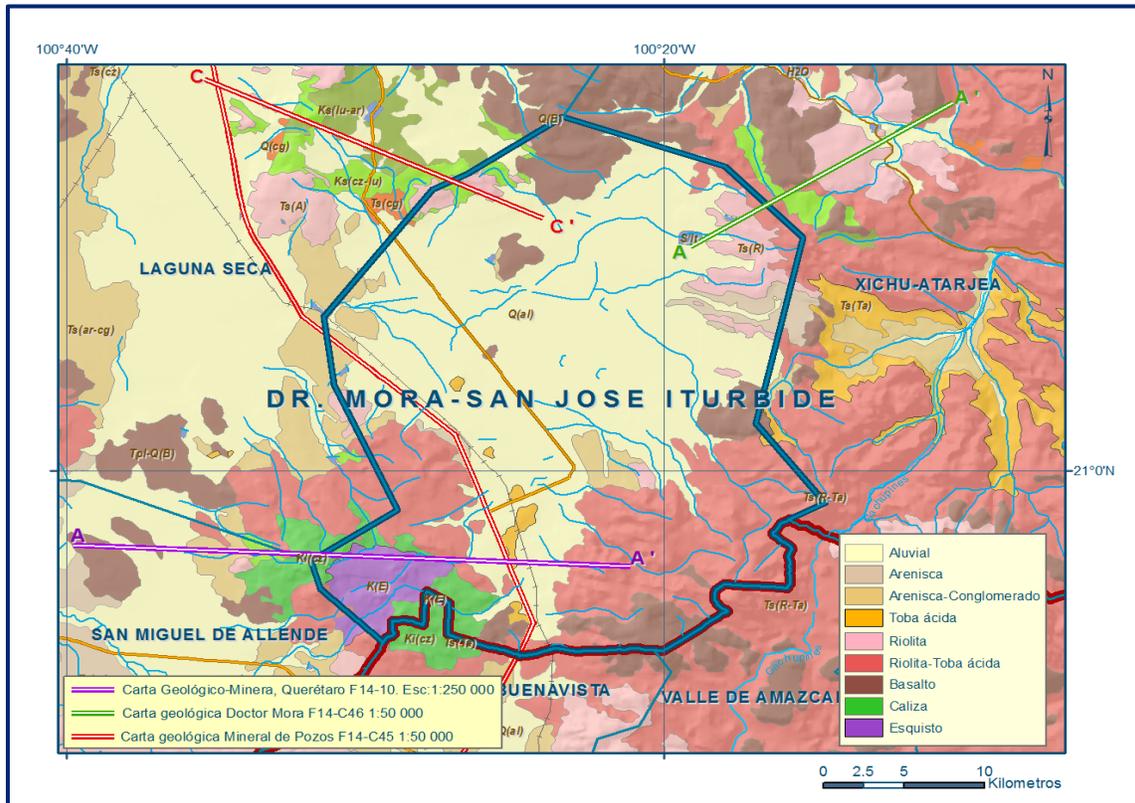


Figura 2. Geología general del acuífero

Al norte de Carbonera Guadalupe, al noroeste de la zona y al norte de la localidad Doctor Mora, sobre el arroyo La Hervidora, se encuentran calizas del Cretácico Inferior, con nódulos de pedernal, con espesores mayores de 30 m, cubierta por sedimentos del Reciente, pertenecientes a la Formación El Doctor.

En la región de Mineral de Pozos, localizada en el acuífero Laguna Seca, las calizas están sobreyacidas discordantemente por una secuencia de lutitas y areniscas que se correlaciona con la Formación Soyatal.

Como representantes del Cretácico Superior, se encuentran los sedimentos arcillo-calcáreos de la Formación Cárdenas, al noroeste de la zona, que están en contacto con las de la Formación Doctor y con el aluvión del Reciente.

Pertenece al Cenozoico las rocas volcánicas de composición félsica que yacen discordantemente sobre rocas calcáreas del Cretácico que afloran al suroeste de Mineral de Pozos, porción central de la cuenca de Laguna Seca, y en la ladera sur del Cerro El Guajolote (al poniente de San José Iturbide).

De igual manera, sobre éstas rocas yacen grandes afloramientos de rocas volcánicas de tipo riolítico que conforman las principales serranías. Sobre la secuencia volcánica anterior también se presentan afloramientos de rocas basálticas fracturadas del Cenozoico. Ambos tipos de rocas forman cerros, mesetas y lomeríos en forma de derrames lávicos, brechas y tobas.

En las porciones sur y oriental, las riolitas afloran de manera aislada y constituyen cerros de forma aguda; mientras que, al oriente de Doctor Mora, las tobas riolíticas cenozoicas descansan en discordancia sobre las rocas sedimentarias del Cretácico.

Al sur de la zona, en las inmediaciones del poblado La Estancia, afloran andesitas cenozoicas que sobreyacen a las riolitas. Al centro, norte, noroeste, sur y sureste de la región de interés, se encuentran los basaltos, que rodean a Doctor Mora, y cubren a las calizas y a las riolitas. Gran parte de la zona montañosa está constituida por rocas ígneas extrusivas ácidas de edad Oligoceno, que afloran, principalmente, en la porción oriental y noreste.

Rellenando los valles se presenta un potente depósito de sedimentos continentales lacustres formados por gravas, arenas y arcillas; que a mayor profundidad se intercalan con rocas riolíticas y hacia su cima, con derrames volcánicos.

Formando la parte final de la secuencia, aflora una extensa superficie de depósitos aluviales y fluviales del Cuaternario y Reciente, (constituidos por gravas, arenas y arcillas), cuyo espesor generalmente es reducido.

#### **4.1. Estratigrafía**

El marco geológico regional está representado por una secuencia estratigráfica que comprende desde el Triásico-Jurásico al Reciente.

Representando a las rocas más antiguas de la zona, se encuentran los esquistos que afloran en el cerro denominado como La Márgara localizado en la porción sur-poniente de la zona de estudio.

Estos esquistos verdes son producto de metamorfismo regional derivados de una secuencia sedimentaria pelítica calcárea.

Subyacen a calizas del Cretácico Inferior, su base probablemente corresponde al Jurásico Superior, ya que López Ramos menciona la primera localidad fosilífera en Rincón de Centeno, donde encontró amonitas del Tithoniano, lo cual indica mares relativamente profundos.

Tentativamente el evento metamórfico se asigna al Cretácico Inferior por su posición estratigráfica, aunque su alineamiento con los esquistos presumiblemente triásicos que afloran en la Sierra de Guanajuato los correlaciona.

La expresión morfológica corresponde a lomeríos y cerros de moderadamente pendiente. Son de color gris amarillento, con alto contenido de mica; su espesor no se conoce, ya que no aflora su base, pero se supone que debe ser de varios cientos de metros, forman una de las elevaciones más prominentes de la cuenca, con 2400 msnm.

## **CRETÁCICO**

### **Calizas (Kid)**

Este tipo de rocas únicamente afloran en la porción sur-poniente de San José Iturbide, y está representado por la una unidad de rocas sedimentarias calcáreas (calizas) de ambiente marino, con texturas de mudstone a packstone de color gris a tonalidades cremas, estratificada en capas de 5 a 20 cm.

Con lineamientos hematíticos, vetillas de calcita y huellas de disolución, presenta recristalización y un fracturamiento moderado.

Esta unidad subyace en forma concordante a calizas y lutitas del Cretácico Superior y discordante a rocas ígneas cenozoicas, probablemente se correlaciona con la Formación El Doctor del Albiano-Cenomaniano.

La expresión morfológica es de cerros de moderada pendiente y se le encuentra aflorando en la porción sur-poniente del acuífero.

Se considera, que emergieron por el empuje de un cuerpo intrusivo que las plegó y alteró, emplazando ricos yacimientos minerales que, también, se explotaron intensivamente a principios de este siglo.

Puesto que no aflora la base de la Formación El Doctor en la zona de estudio, se desconoce su espesor, sin embargo, en lugares del vecino estado de San Luís Potosí, se ha medido un espesor de 1800 metros.

La edad de esta formación es del Cretácico Tardío. En la zona de Mineral de Pozos sobre las calizas marinas de edad Cretácico yacen discordantemente lutitas y areniscas de origen marino, correlacionables con la Formación Soyatal.

## **CENOZOICO**

### ***Andesitas y Dacitas del Cenozoico Temprano (Tev)***

Agrupada a una secuencia de rocas volcánicas básicas e intermedias y algunas veces riolíticas, de distribución regional ya que sus afloramientos se localizan en las inmediaciones de la Ciudad de Querétaro y al norte y poniente de San José Iturbide; es posible que se asocien afloramientos desde el Estado de Jalisco hasta el Estado de Querétaro.

La edad de todas las secuencias ha sido obtenida por métodos radiométricos y por correlación estratigráfica, ubicando a la secuencia volcánica en el Mioceno Tardío.

***Conglomerado Guanajuato (Tcg).*** Son características de la zona y se consideran el basamento hidrogeológico de la región. Consiste de un conglomerado rojo de estratificación generalmente masiva (facies conglomerática) o mediana (facies arenosa), que aflora en la ciudad de Guanajuato y sus alrededores. Sus clastos son pocos redondeados y muy variados, tanto en tamaño como en composición, desde centímetros hasta varios metros, y de naturaleza sedimentaria, ígnea o metamórfica; su matriz es arenosa y cementada por óxidos y carbonatos. Presenta intercalaciones de derrames volcánicos de naturaleza andesítica, cuyo espesor puede alcanzar varias decenas de metros. Su edad ha sido asignada al Eoceno-Oligoceno, con base en los fósiles que contiene.

### ***Tobas y Derrames Riolíticos (Tom)***

Unidad volcánica compuesta por una secuencia de tobas y derrames riolíticos. Las tobas con textura cristalina y lítica, se presentan compactas en pseudoestratos de aspecto masivo de color rosa con intercalaciones de derrames de riolitas fluidales con algunas variaciones de riodacitas.

Esta unidad cubre en forma discordante a unidades cretácicas y al Conglomerado Guanajuato y subyace de igual manera a rocas plio-cuaternarias; se correlaciona con el Supergrupo Volcánico Superior del evento Sierra Madre Occidental, de edad Oligoceno-Mioceno. Morfológicamente se caracteriza por formar sierras con mesetas disectadas y se distribuye principalmente en toda la porción norte del acuífero.

Afloran en toda la periferia de la zona de estudio, consisten en grandes acumulaciones de rocas volcánicas de tipo riolítico, pseudoestratificadas por su depositación en forma de lluvia de cenizas y nubes ardientes provenientes de aparatos volcánicos lejanos.

Son rocas de color gris rosado formadas por cristales de cuarzo y feldespatos integrados en una matriz integrada por los mismos minerales, finalmente triturados y con vidrio; se presentan tanto en forma de tobas como de ignimbritas en el área de El Arenal, a 10 km al suroeste de San José Iturbide.

Las tobas riolíticas de matriz suave, se explotan intensivamente para extraer cuarzo y feldespatos para la industria del vidrio. En otros lugares, se encuentran como ignimbritas con matriz dura y se explotan como cantera para materiales de construcción.

Los principales afloramientos de rocas riolíticas se localizan en las porciones nororiental y nor-poniente de la región, en algunos de estos lugares las riolitas se encuentran parcialmente cubiertas por derrames de rocas volcánicas basálticas. También se les ha detectado mediante la perforación de pozos profundos, formando el basamento rocoso en el valle, localizado al poniente de San José Iturbide, subyaciendo a los grandes depósitos de sedimentos granulares.

El espesor de las riolitas es de 300 m y se le atribuye una edad del Cenozoico

### ***Tpl-Q (B-vb) (Basaltos y Andesitas)***

En esta unidad se identifican basaltos de olivino y andesíticos con textura afanítica y porfirítica cuyo tono varía de negro a gris.

La unidad cubre de manera discordante a todas las unidades precuaternarias y pertenece al evento volcánico del Eje Neovolcánico. Morfológicamente se reconoce por los cerros en forma de mesetas y coronados por conos cineríticos.

Las rocas andesíticas se encuentran apoyadas discordantemente sobre las rocas calcáreas marinas del Cretácico, al norte de Doctor Mora, en la porción sur de la zona de interés y al nor-poniente de San José Iturbide.

Son rocas volcánicas de colores gris oscuro y rojizo; basculado y compacto que se exponen medianamente alteradas, sus afloramientos son de dimensiones reducidas.

Es frecuente encontrar a las andesitas como las antes descritas, formando la base de la secuencia terciaria; su espesor, dentro de la zona de estudio es de 100 metros, y su edad corresponde al Cenozoico Temprano. Hidrogeológicamente, se considera de baja permeabilidad.

Se originan como derrames provenientes de aparatos volcánicos cercanos y forman una cubierta resistente, que ha protegido de la erosión a las rocas riolíticas subyacentes, poco más suaves, por lo que ha constituido en forma aislada en las altas y extensas mesetas localizadas en las partes norte de Doctor Mora y al oriente de San José Iturbide; alcanzan desniveles de 350 m con respecto al valle.

### ***Ts-Qc (Ar-Cg) (Areniscas y Conglomerados)***

Unidad clástica de origen continental que consta de areniscas de moderada compactación de color café claro, grano fino a medio y matriz arcillosa parcialmente calcárea, en algunos sitios se presenta ligeramente tobácea en estratos que varían de 20 a 80 cm de espesor, con intercalaciones de lentes de conglomerados de 0.80 a 1.20 m de espesor, con clastos subangulosos a subredondeados de rocas ácidas, básicas y vidrio volcánico en matriz arenosa de color café. Esta unidad sobreyace en discordancia a unidades cretácicas y rocas volcánicas del Cenozoico. Su expresión morfológica es de lomeríos de bajo relieve y en la zona de estudio se presenta en forma aislada en las márgenes oriente y poniente del acuífero.

### ***Cuaternario (Qal)***

La unidad detrítica no consolidada está constituida por gravas, arenas, limos y arcillas, los cuales presenta diversa composición y grado de redondez, su color varía de crema a café oscuro. Morfológicamente se presenta como planicies aluviales rellenando valles fluviales y en abanicos; por lo que se encuentra ampliamente distribuida en la zona de estudio. Es la de mayor extensión en la zona, aflorando en las partes bajas y planas, producto de la erosión de rocas existentes que conforman las porciones elevadas, su granulometría y espesor son variables, sobreyacen a las tobas y a los conglomerados.

## 4.2. Geología estructural

Debido a que el acuífero Doctor Mora-San José Iturbide se localiza en la región septentrional de la provincia geológica del Cinturón Volcánico Mexicano (CVM) o Faja Volcánica Transmexicana (FVT), su rasgo más importante es la presencia de volcanes monogenéticos, principalmente volcanes de escudo.

La región se caracteriza por la presencia de sierras alineadas en sentido NW-SE, formadas por la sobreposición de dos eventos volcánicos: el emplazamiento de una secuencia ignimbrítica con abundantes domos, que fue cubierta parcialmente por mesetas basálticas a fines del Cenozoico.

Como ocurre en la mayor parte del estado de Guanajuato, existen en el subsuelo secuencias ignimbríticas correlacionables con el segundo periodo efusivo de la Sierra Madre Occidental.

La región ha sido afectada por dos sistemas principales de fallamiento normal de edades distintas, que han dado lugar a fosas tectónicas que alojan sedimentos aluviales y rocas volcánicas. Estas fallas están orientadas en sentido ENE-WSW y SSE-NNW. El primer sistema se asocia al “Sistema de Fallas de la Faja Volcánica Transmexicana” (Ortega *et al.*, 1992), cuya edad corresponde al Mioceno; el segundo sistema se relaciona con el “Sistema de Fallamiento Normal de la Región Centro-Occidental de México” (Ortega *et al. op. cit.*) actualmente activo, aunque se considera que actuó en la zona hasta el inicio de Cuaternario. Del primer arreglo estructural se deduce la formación de las fosas tectónicas de la región, cuya geometría es fundamental para definir la posición del basamento hidrogeológico del sistema.

El tipo de fracturamiento asociado con el vulcanismo cenozoico es distensivo, en tanto que el generado por la actividad del CVM obedece a un sistema transtensivo. Por lo tanto, se considera que el sistema de fracturas que predomina en este medio es de carácter vertical y, como consecuencia, la conductividad hidráulica en sentido vertical es mayor que la horizontal.

Si tomamos en cuenta que la región donde se localiza la unidad hidrogeológica corresponde al marco tectónico dominado por CVM, las estructuras que adquieren una mayor relevancia son las que configuran los grabens o depresiones tectónicas, originados por los sistemas de fallas normales.

De acuerdo con los estudios geológicos y geofísicos se confirma la existencia de grandes fosas tectónicas rellenas con sedimentos, cuyas orientaciones concuerdan con el patrón regional del fallamiento, en las que se presenta continuidad hidráulica lateral y vertical entre los medios granular sedimentario y fracturado. El sistema de fallas de Querétaro está compuesto por cuatro fallas paralelas con orientación aproximada N-S. Las fallas principales son Querétaro, 5 de febrero, Tlacote y San Bartolomé. La falla Querétaro es de tipo normal y tiene una longitud de 61 km; se dividió en tres sectores: La traza de la falla Querétaro-norte es evidenciada por el límite poniente del alto topográfico entre San José Iturbide y Santa Rosa de Jáuregui.

El escarpe tiene una orientación N-S y se extiende por más de 10 km, poniendo en contacto ignimbritas riolíticas de 29.3 Ma (Aguirre-Díaz y López-Martínez, en prensa) y basaltos del Mioceno Medio, con depósitos sedimentarios pertenecientes a la unidad de areniscas y conglomerados cenozoicos.

Al norte de San José Iturbide, la traza de la falla se proyecta hacia una planicie de relleno aluvial, por lo que no se descarta la posibilidad que la estructura continúe sepultada por sedimentos jóvenes. La actividad de este sector debió ser posterior al Mioceno Medio, que es la edad de los basaltos desplazados, y anterior a la actividad de los sectores central y meridional, al estar este escarpe más erosionado.

Con base en la estratigrafía, geología estructural y fechamientos isotópicos (obtenidos de la literatura), se determinó que el estado de Guanajuato estuvo sometido al menos a cuatro eventos de deformación extensional, siendo el primero y el último sincrónicos con la deformación oligocénica de la Mesa Central y pliocénica reciente de la Faja Volcánica Transmexicana, respectivamente.

Existe una relación directa, espacial y temporal, entre el vulcanismo y la deformación, por lo que se infiere que en general fueron sincrónicos. Tanto el vulcanismo como la deformación extensional migraron hacia el sureste.

Al centro y sur del estado se identifican las fallas mayores, las cuales constituyen las fronteras entre provincias geológicas.

Estas estructuras son la falla del Bajío (sistema NW-SE), que separa la Mesa Central de El Bajío; el sistema de fallas Taxco-Querétaro (sistema N-S, NNW-SSE), que separa la Mesa Central de la Sierra Madre Oriental; y las fallas Ixtla y La Joya (Sistema NE-SW), que separa la Mesa Central de un segmento de la Faja Volcánica Transmexicana.

La falla San Miguel de Allende y la falla Querétaro constituyen los límites del sistema de fallas Taxco-Querétaro. La falla del Bajío termina en la falla San Miguel de Allende.

### 4.3. Geología del subsuelo

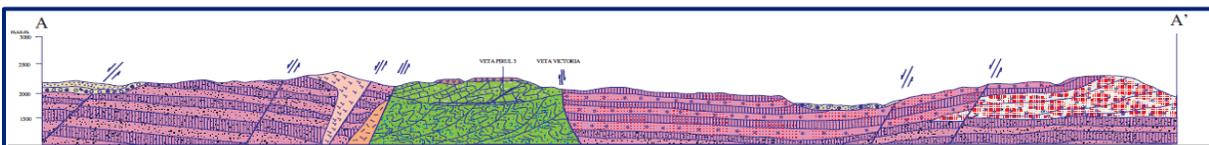
El sistema acuífero está conformado, en su porción superior, por un medio granular constituido por depósitos aluviales y fluviales de reducido espesor, así como areniscas y conglomerados; y en su porción inferior por un medio fracturado alojado en rocas volcánicas, principalmente de composición basáltica, y en menor proporción riolítica, que afloran en la mayor parte de su superficie.

El paquete en su conjunto está fuertemente modificado por tectonismo, generando un sistema de fosas y pilares tectónicos. Presenta condiciones locales de semiconfinamiento debido a la existencia de lentes de sedimentos arcillosos lacustres y/o depósitos tobáceos.

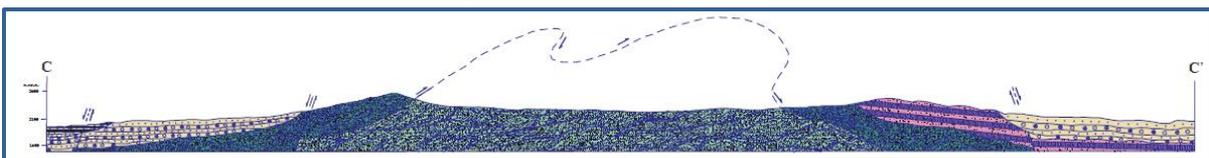
Las fronteras son las sierras que lo delimitan y que conforman sus zonas de recarga. El basamento hidrogeológico regional y las barreras al flujo subterráneo están representados por la secuencia de areniscas y lutitas, al desaparecer a profundidad el fracturamiento, así como los esquistos. Localmente, las rocas riolíticas cuando no presentan permeabilidad secundaria por fracturamiento, funcionan como basamento.

A mayor profundidad las calizas pueden constituir un acuífero de buen potencial, que posiblemente presente condiciones de confinamiento, cuando están sobreyacida por las lutitas de la Formación Soyatal.

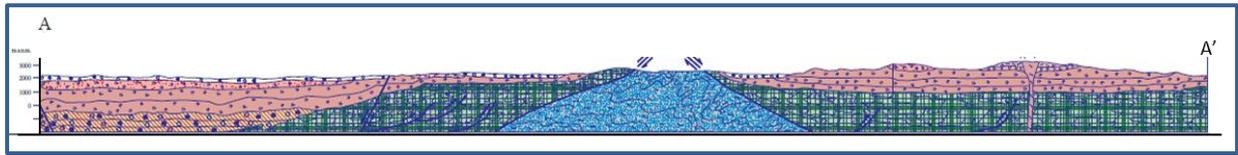
En la figura 3 se muestran las secciones geológicas esquemáticas de algunas zonas de acuífero.



Fuente: Carta Geológico-Minera, Doctor Mora F14-C46. Esc: 1:50 000



Fuente: Carta Geológico-Minera, Mineral de Pozos F14-C45. Esc: 1:50 000



Fuente: Carta Geológico-Minera, Querétaro F14-10. Esc: 1:250 000

Figura 3. Secciones geológicas esquemáticas

## 5. HIDROGEOLOGÍA

### 5.1. Tipo de acuífero

El sistema acuífero es de tipo **libre a semiconfinado**, heterogéneo y anisotrópico, conformado en su porción superior, por un medio granular constituido por depósitos aluviales y fluviales de reducido espesor, así como areniscas y conglomerados; y en su porción inferior por un medio fracturado alojado en rocas volcánicas fracturadas, principalmente de composición basáltica, y en menor proporción riolítica, que afloran en la mayor parte de su superficie

El paquete en su conjunto está fuertemente modificado por tectonismo generando un sistema de fosas y pilares tectónicos. Presenta condiciones locales de semiconfinamiento debido a la existencia de lentes de sedimentos arcillosos lacustres y/o depósitos tobáceos.

En la parte central del valle el espesor de los depósitos granulares alcanza los 400 m, según lo muestran los pozos perforados en esta región, los cuales extraen un caudal promedio de 30 lps.

Las riolitas fracturadas presentan hidrotermalismo con temperaturas hasta de 50 °C.

Al noroeste y norte de las localidades Carbonera de Guadalupe y Doctor Mora, respectivamente, existen calizas con grandes espesores, cubiertas por sedimentos del reciente; al noroccidente de la zona aparecen sedimentos arcillo-calcáreos de la Formación Cárdenas, que se encuentra en contacto con la Formación Doctor y el aluvión reciente.

A mayor profundidad, las calizas pueden conformar un acuífero de potencial que aún no ha sido explorado y que posiblemente se encuentre confinado por las lutitas y areniscas de la Formación Cárdenas o Soyatal.

### 5.2. Parámetros hidráulicos

Como parte del estudio realizado en 2004, se realizaron 10 pruebas de bombeo, sólo algunas de ellas en las dos etapas de abatimiento y de recuperación.

De los resultados de su interpretación, se establece que los valores de transmisividad varían de **1.0 a  $7.3 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$**  (tabla 2).

Tabla 2. Resultados de la interpretación de pruebas de bombeo

Pozo No.	Q (lps)	Abatimiento Máximo (m)	Qe (lps/m)	Transmisividad ( $\times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{seg}$ )	
				Abatimiento	Recuperación
568-3	13	109.77			0.98
719	36	85.07	4.91	5.08	2.35
720	30	97.3	1.82	2.89	3.9
881	16	27.46	4.82	6.51	
883	20	70.99	0.5	2.44	1.08
934	13	89.66	1.49	4.76	
968	16	95.77	3.12	7.32	5.86
972	8.5	66.88	3.28	3.24	4.2
983	16	110.45	0.56	2.93	
1412	4	6.17		1.53	3.18

Los valores más bajos se asocian a sedimentos de granulometría fina, en tanto que los valores mayores corresponden a sedimentos de mayor tamaño asociados al cauce de arroyos o a rocas volcánicas con mayor grado de fracturamiento.

Ninguna de las pruebas contó con pozo de observación, por lo que no fue posible estimar el coeficiente de almacenamiento.

### 5.3. Piezometría

Para el análisis del comportamiento de los niveles del agua subterránea, se cuenta con información de diferentes años, pero con el objetivo de evaluar una condición actual del acuífero, para fines del balance de aguas subterráneas se consideró el periodo 2008-2009.

### 5.4. Comportamiento hidráulico

#### 5.4.1. Profundidad al nivel estático

De acuerdo a la configuración de profundidad al nivel estático para el 2009, mostrada en la figura 4, se presentan valores que varían de 60 a 160 m, conforme se asciende topográficamente o por efecto de la concentración de pozos que originan conos de abatimiento. Los valores más profundos entre 90 y 130 m, se registran en la zona norte del acuífero cerca de las poblaciones San Agustín, Bordo La Luz, La Purísima, El Pato, El Conde, San Rafael, Jesús María, Santa Cruz, La Fortuna, San Carlos, La Doncella, Ejido Vagui, Loreto, El Rosario, Las Palmitas, Los Duraznos.

Los sitios con niveles estáticos menos profundos, de 60 a 90 metros, se ubican al sur de la cabecera municipal de San José Iturbide, en localidades como: Fraccionamiento Residencial del Valle, El Lince, Buenavistilla, La Cajita, Rancho 5 de mayo, La Luz, Fracciones la Alameda, Cuatro Esquinas, Rancho el Colorado, Rancho Pizueña, La divina Providencia, La Palma, Santa María de Los Remedios, El Ranchito, La venta, Rancho Viejo, Las Cajitas y San Diego de las Trasquilas.

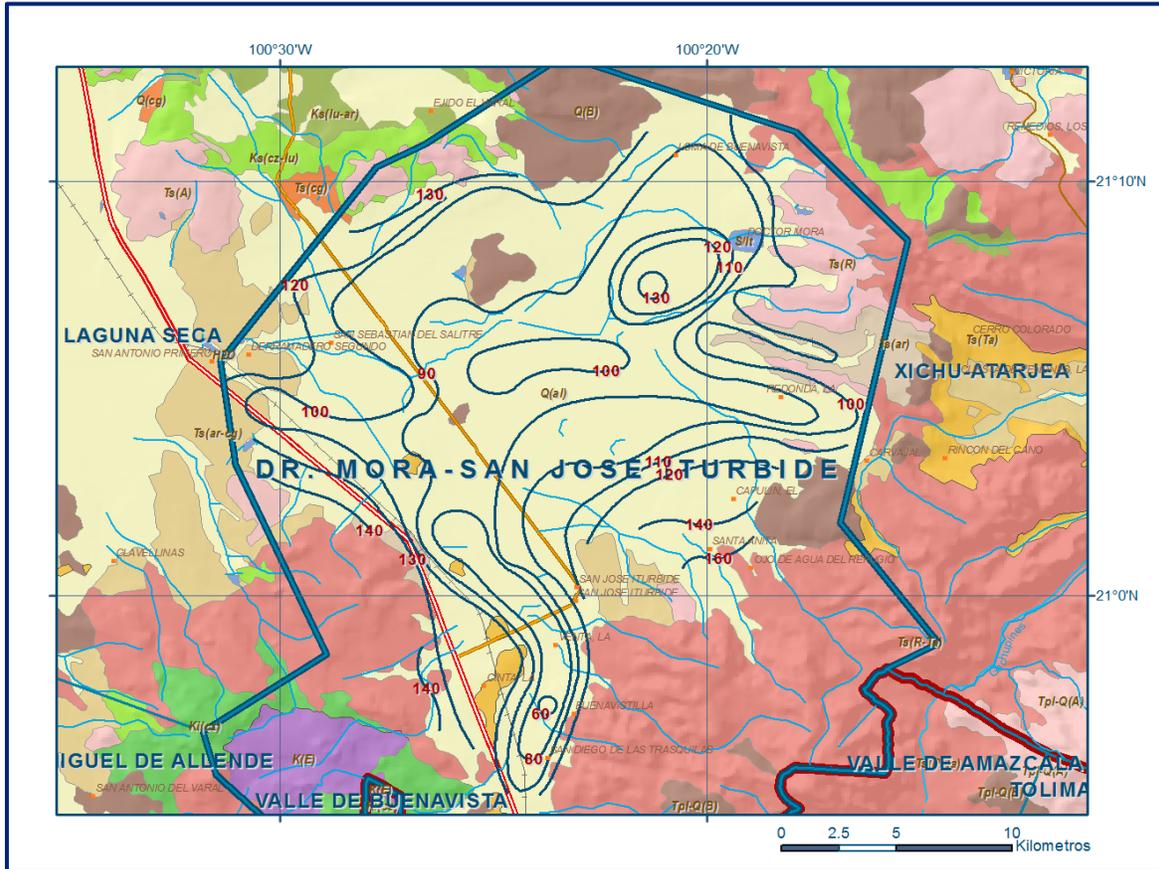


Figura 4. Profundidad al nivel estático en m (2009)

#### 5.4.2. Elevación del nivel estático

Con respecto a la configuración de la elevación del nivel estático para el año 2009, mostrada en la figura 5, se observa que los valores, al igual que los de profundidad, muestran el efecto de la topografía y de los conos de abatimiento, desde de 1,930 a 2,060 msnm.

Las mayores elevaciones se encuentran hacia la porción suroeste del acuífero, en las inmediaciones del poblado Tierra Prieta. En la región sureste del acuífero los valores oscilan entre 2,040 y 2,060 msnm, cerca de San José Iturbide.

La dirección del flujo subterráneo muestra una red concéntrica hacia la porción centro-occidental del acuífero, en donde se ha formado un extenso cono de abatimiento, que ha interceptado el flujo que en condiciones naturales se dirigía hacia el acuífero Laguna Seca.

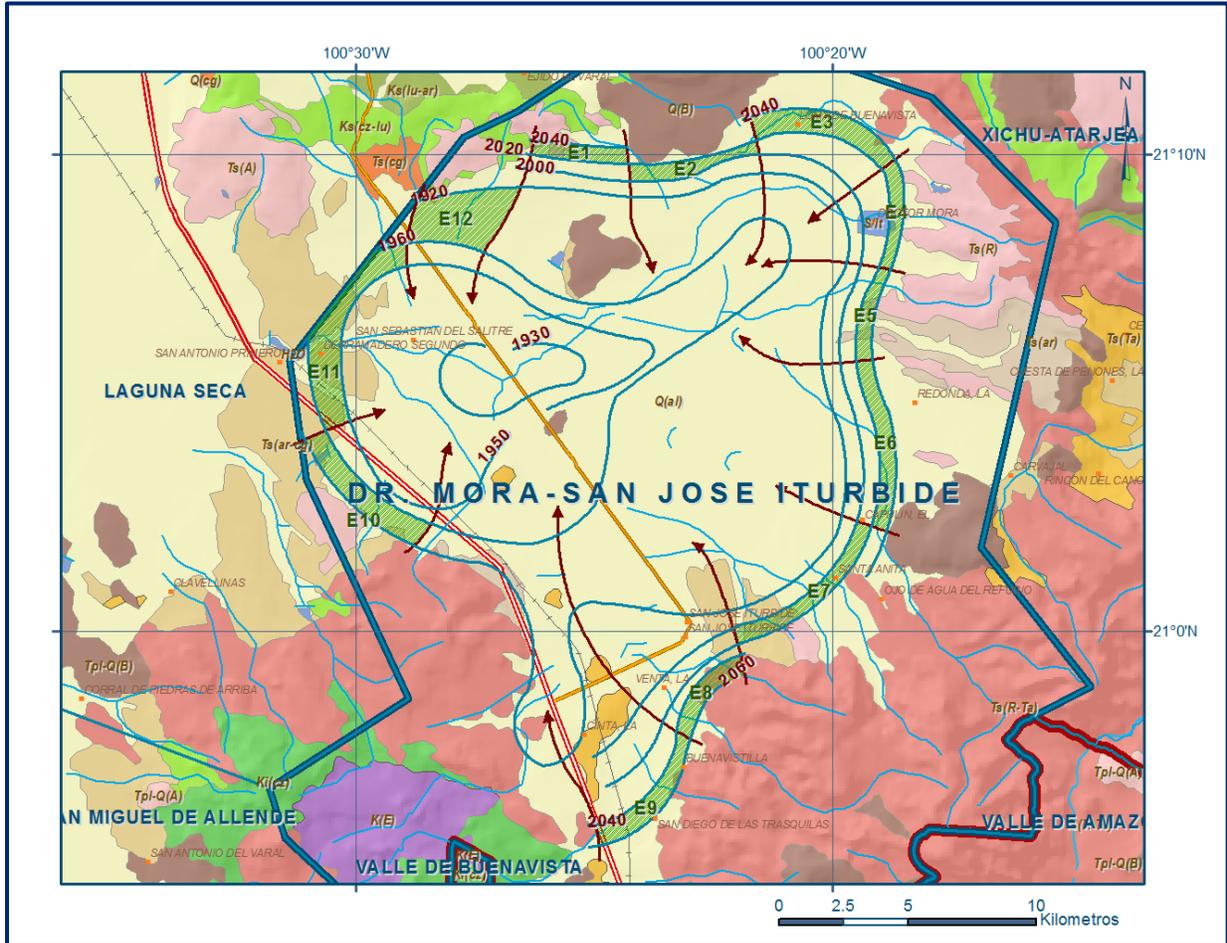


Figura 5. Elevación del nivel estático en msnm (2009)

### 5.4.3. Evolución del nivel estático

De acuerdo con la configuración de evolución del nivel estático para el periodo 2008-2009, que se presenta en la figura 6, los abatimientos promedio anuales varían de 0.5 a 3 m, con un ritmo anual promedio de 2 m; los mayores abatimientos se ubican en la porción centro-sur del acuífero, asociados a la concentración del bombeo.

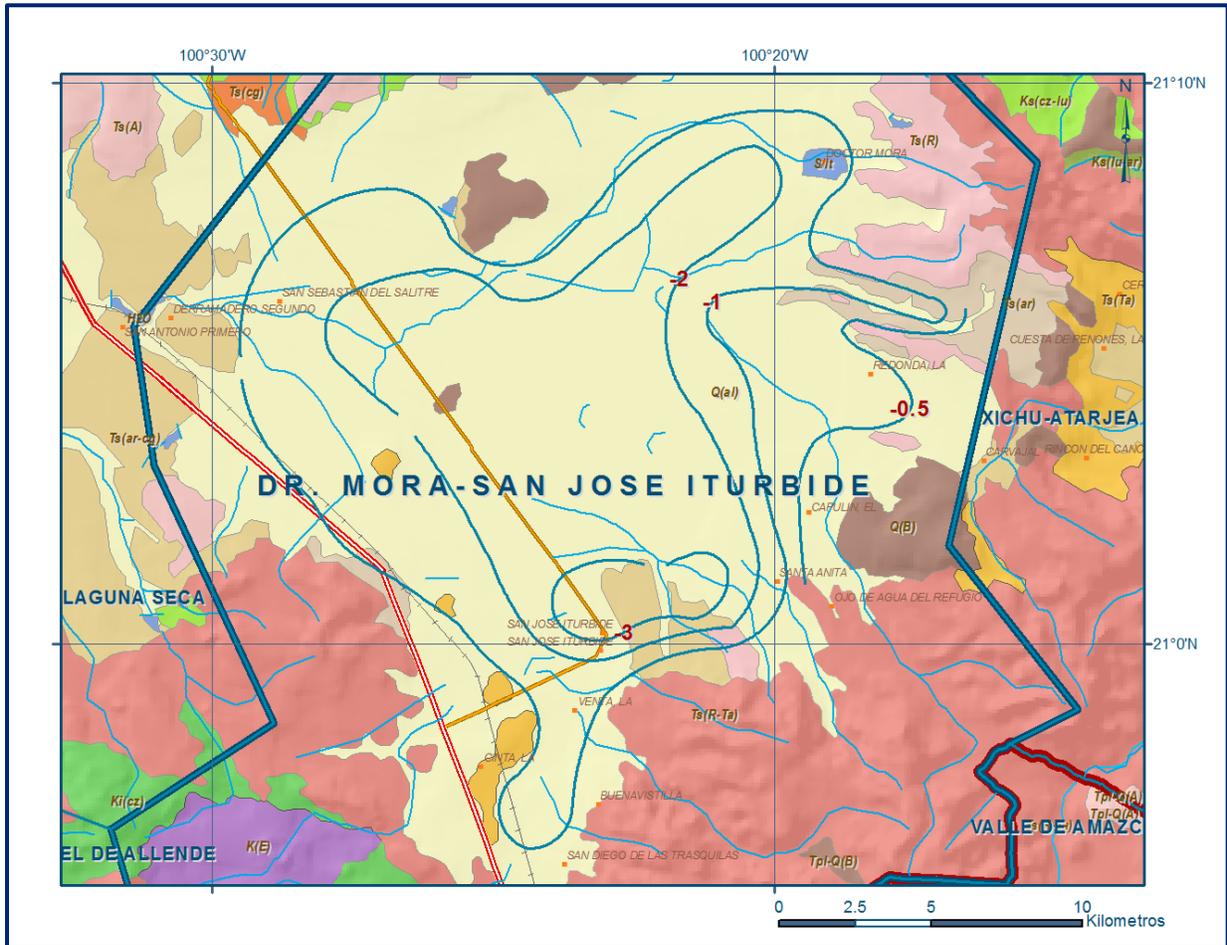


Figura 6. Evolución media de nivel estático en metros (2008 - 2009)

### 5.5. Hidrogeoquímica y calidad del agua subterránea

Como parte de los trabajos de campo del estudio realizado en 2004, se tomaron 13 muestras de agua para su análisis fisicoquímico correspondiente.

Tomando en cuenta los resultados de los análisis fisicoquímicos, se puede observar que los valores de conductividad eléctrica del agua subterránea varían de (84 a 412  $\mu$ mhos /cm). De manera general, la concentración de sólidos totales disueltos (STD) varía de 65 a menos de 317 ppm, por lo que se considera apta para el consumo humano.

Las bajas concentraciones de STD indican que el agua es de reciente infiltración y que su fuente de recarga está próxima a las zonas de extracción.

La familia de agua predominante es cálcico-bicarbonatada y en menor proporción mixta-bicarbonatada; la primera de ellas no muestra una tendencia clara, sino que se encuentra dispersa en todo el acuífero; la segunda se presenta al oriente y al norte.

## 6. CENSO DE APROVECHAMIENTOS E HIDROMETRÍA

De acuerdo con los resultados del censo realizado en 2007, se registró la existencia de un total de 542 aprovechamientos de los cuales 514 pozos (94.8%) y 28 norias (5.2%). Del total de obras 391 aprovechamientos se encuentran activos y 151 inactivos. Del total 295 (75.4 %) se destinan a uso agrícola, 84 (21.5 %) al uso público-urbano y 12 (3.1 %) para uso industrial. La extracción total estimada es de **86.6 hm<sup>3</sup>/año**, de los cuales 80.3 hm<sup>3</sup> (92%) se destinan al uso Agrícola, 5.8 hm<sup>3</sup> (7%) para uso Público Urbano y 0.5 hm<sup>3</sup> (1%) para la Industria.

## 7. BALANCE DE AGUAS SUBTERRÁNEAS

El balance de aguas subterráneas se planteó para el periodo 2008-2009, en una superficie del acuífero de **464.5 km<sup>2</sup>** aproximadamente, en la que están dispersos los aprovechamientos y en la que se cuenta con información piezométrica. 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. La ecuación general de balance, de acuerdo a la ley de la conservación de la masa es la siguiente:

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

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

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

### 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 los sedimentos que conforman las planicies 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 otras fuentes de recarga al acuífero. Estos volúmenes se integran en la componente de recarga inducida (Ri).

### 7.1.1. Recarga vertical (Rv)

Los dos principales mecanismos de recarga natural se producen a través de la infiltración a lo largo de los cauces de los escurrimientos superficiales y la recarga de frente de montaña.

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

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

Donde:

**Rv**= Recarga vertical;

**Ri**= Recarga Inducida;

**Eh**= Entradas por flujo subterráneo horizontal;

**B**= Bombeo;

**$\Delta V(S)$** = Cambio de almacenamiento;

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

$$Rv = B \pm \Delta V(S) - Eh - Ri \quad (2)$$

### 7.1.2. Entradas por flujo subterráneo horizontal (Eh)

La recarga del acuífero tiene su origen en la precipitación pluvial sobre las zonas topográficamente más altas del área de estudio y por la infiltración de los escurrimientos superficiales. El agua se infiltra por las fracturas de las rocas y a través del pie de monte, para posteriormente recargar al acuífero en forma de flujos subterráneos que alimentan la zona de explotación.

Para el cálculo se utilizó la configuración de elevación del nivel estático correspondiente al año 2009, mostrada en la figura 5.

Con base en esta configuración se seleccionaron canales de flujo y se aplicó la ley de Darcy para calcular el caudal "Q" en cada uno de ellos, mediante la siguiente expresión:

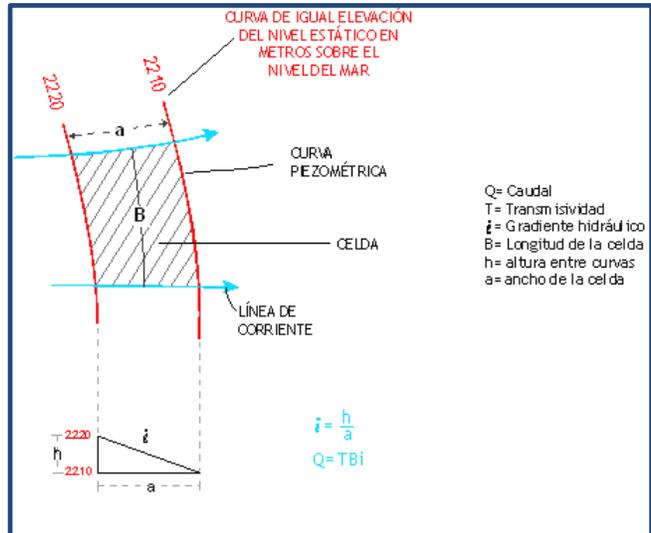
$$Q = B * i * T$$

Donde:

**B:** Largo del canal de flujo;

**i:** Gradiente hidráulico;

**T:** Transmisividad en el canal de flujo;



La recarga total por flujo horizontal es la suma de los caudales de cada uno de los canales establecidos.

En la tabla 3 se pueden observar los valores obtenidos en cada celda y que el volumen total de entradas por flujo subterráneo asciende a **26.5 hm<sup>3</sup>/año**.

Tabla 3. Cálculo de entradas por flujo subterráneo

CANAL	LONGITUD B (m)	ANCHO a (m)	h <sub>2</sub> -h <sub>1</sub> (m)	Gradiente i (m)	T (m <sup>2</sup> /s)	CAUDAL Q (m <sup>3</sup> /s)	VOLUMEN (hm <sup>3</sup> /año)
E1	4510	900	20	0.022222	0.0006	0.0601	1.9
E2	3790	720	10	0.013889	0.0006	0.0316	1.0
E3	5775	1170	20	0.017094	0.0006	0.0592	1.9
E4	4690	720	20	0.027778	0.0006	0.0782	2.5
E5	3610	630	20	0.031746	0.0006	0.0688	2.2
E6	6860	900	20	0.022222	0.0006	0.0915	2.9
E7	7580	720	20	0.027778	0.0006	0.1263	4.0
E8	3970	1080	20	0.018519	0.0006	0.0441	1.4
E9	5775	1080	20	0.018519	0.0006	0.0642	2.0
E10	6495	810	20	0.024691	0.0006	0.0962	3.0
E11	8300	1080	20	0.018519	0.0006	0.0922	2.9
E12	3610	1625	20	0.012308	0.0006	0.0267	0.8
<b>Total entradas</b>							<b>26.5</b>

Los valores de T utilizados para el cálculo de entradas y salidas subterráneas se obtuvieron de los promedios obtenidos de la interpretación de pruebas de bombeo realizadas, adaptadas al espesor saturado de la región donde se localizan las celdas.

### 7.1.3. Recarga inducida (Ri)

En esta variable se incluyen los volúmenes de infiltración de agua que se producen tanto por concepto de los excedentes del riego como las infiltraciones que generan las fugas en los sistemas de abastecimiento de agua potable y/o de alcantarillado de las poblaciones más importantes. Aún en sistemas de riego muy eficientes, un cierto volumen del agua aplicada en el riego no es usado como uso consuntivo, se infiltra y eventualmente alcanza la superficie freática. Esta contribución al acuífero se le conoce como retorno de riego y según Jacob Bear (1970) su valor varía entre el 20 y 40 % del volumen usado en la irrigación.

Para este caso particular, no se tiene información de superficies y láminas de riego por cultivo; sin embargo, debido a la profundidad a la que se localiza el nivel del agua en la zona agrícola y la presencia de materiales de granulometría fina, se considera que sólo el 10% del volumen utilizado en la agricultura (80.3 hm<sup>3</sup> anuales) recarga de manera efectiva al acuífero. Para el caso de volumen destinado al uso público-urbano (5.8 hm<sup>3</sup> anuales), se consideró un porcentaje de infiltración del 20 %.

De esta manera;  $R_i = 80.3 (0.1) + 5.8 (0.2) = 9.2$

Por lo tanto, **Ri = 1.16 hm<sup>3</sup> anuales**

## 7.2. Salidas

La descarga del acuífero ocurre principalmente por el bombeo (B), no existen salidas por flujo subterráneo, por evapotranspiración ni flujo base.

### 7.2.1. Bombeo (B)

Como se menciona en el apartado de censo e hidrometría, el volumen de extracción por bombeo es de **86.6 hm<sup>3</sup>/año**.

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

Para la estimación del cambio de almacenamiento se tomó en cuenta la configuración de la evolución del nivel estático 2008-2009 mostrada en la figura 6.

Con base en ella y tomando en cuenta un valor promedio de rendimiento específico  $S_y$  de 0.08 se determinó la variación del almacenamiento mediante la siguiente expresión:

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

Donde:

$\Delta V(S)$ =Cambio de almacenamiento en el período analizado;

**S**= Coeficiente de almacenamiento promedio de la zona de balance;

**A**= Área entre curvas de igual evolución del nivel estático (km<sup>2</sup>);

**h**= Valor medio de la variación piezométrica en el período (m);

Como consecuencia de la explotación intensiva del recurso para abastecimiento de agua potable, la posición del nivel piezométrico ha descendido, propiciando una variación negativa del almacenamiento. El detalle de cálculo se presenta en la tabla 4, en la que se puede observar que el cambio de almacenamiento es de **-48.2 hm<sup>3</sup> anuales**.

Tabla 4. Evolución del nivel estático en m (2008-2009)

Evolución Promedio Anual 2008-2009				
Evolución (m)	Abatimiento (m)	Área (km <sup>2</sup> )	Sy	$\Delta V(S)$ (hm <sup>3</sup> /año)
0 a -1	-0.5	198.1	0.08	-7.9
-1 a -0.5	-0.75	27.6	0.08	-1.7
-2 a -1	-1.5	119.5	0.08	-14.3
-3 a -2	-2.5	108.5	0.08	-21.7
-3	-3	10.8	0.08	-2.6
<b>Área de balance</b>		<b>464.5</b>		<b>-48.2</b>

### Solución de la ecuación de balance

Una vez calculadas las componentes de la ecuación de balance, procedemos a evaluar la recarga vertical por lluvia e infiltraciones, mediante la expresión (2), que fue establecida con anterioridad:

$$R_v = B \pm \Delta V(S) - E_h - R_i \quad (2)$$

$$R_v = 86.6 - 48.2 - 26.5 - 9.2$$

$$R_v = 2.7 \text{ hm}^3/\text{año}$$

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

$$R_t = R_v + R_i + E_h$$

$$R_t = 2.7 + 9.2 + 26.5$$

$$R_t = 38.4 \text{ hm}^3 \text{ anuales}$$

## 8. DISPONIBILIDAD

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

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

Donde:

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

### 8.1. Recarga total media anual (R)

La recarga total media anual que recibe el acuífero (R), corresponde con la suma de todos los volúmenes que ingresan al acuífero. Para este caso particular, su valor es de **38.4 hm<sup>3</sup>/año**, de los cuales 29.2 hm<sup>3</sup> son recarga natural y 9.2 hm<sup>3</sup> restantes corresponden a la recarga inducida.

### 8.2. Descarga natural comprometida (DNC)

La descarga natural comprometida se cuantifica mediante medición de los volúmenes de agua procedentes de manantiales o de caudal base de los ríos alimentados por el acuífero, que son aprovechados y concesionados como agua superficial, así como las salidas subterráneas que deben ser sostenidas para no afectar a los acuíferos adyacentes.

En este caso particular, no se presenta ninguna de las descargas anteriores por lo que no existen descargas naturales comprometidas.

Por lo tanto, **DNC =0.0 hm<sup>3</sup> anuales**

### **8.3. Volumen de extracción de aguas subterráneas (VEAS)**

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

Para este acuífero el volumen de extracción de aguas subterráneas es de **75,108,080m<sup>3</sup> anuales**, que reporta el Registro Público de Derechos de Agua (REPDA) de la Subdirección General de Administración del Agua, a la fecha de corte del **30 de diciembre de 2022**.

### **8.4. Disponibilidad media anual de agua subterránea (DMA)**

La disponibilidad de aguas subterráneas, constituye el volumen medio anual de agua subterránea disponible en un acuífero, al que tendrán derecho de explotar, usar o aprovechar los usuarios, adicional a la extracción ya concesionada y a la descarga natural comprometida, sin poner en peligro a los ecosistemas. Conforme a la metodología indicada en la norma referida anteriormente, se obtiene de restar al volumen de recarga total media anual, el valor de la descarga natural comprometida y el volumen de extracción de aguas subterráneas.

$$\begin{aligned} \text{DMA} &= R - \text{DNC} - \text{VEAS} \\ \text{DMA} &= 38.4 - 0.0 - 75.108080 \\ \text{DMA} &= -36.708080 - \text{hm}^3 \text{ anuales} \end{aligned}$$

El resultado indica que no existe un volumen disponible para otorgar nuevas concesiones; por el contrario el déficit es **36,708,080 m<sup>3</sup> anuales**.

## **9. BIBLIOGRAFÍA**

Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos (SARH), 1982. Estudio Fotogeológico de la Zona nor-oriental del estado de Guanajuato, municipio de San José Iturbide. Elaborado por la Escuela Superior de Ingeniería y Arquitectura del IPN.