



SUBDIRECCIÓN GENERAL TÉCNICA
GERENCIA DE AGUAS SUBTERRÁNEAS

**ACTUALIZACIÓN DE LA DISPONIBILIDAD MEDIA ANUAL DE
AGUA EN EL ACUÍFERO LAGUNA SECA (1104) ESTADO DE
GUANAJUATO**

CIUDAD DE MÉXICO, 2024

Contenido

1. GENERALIDADES.....	2
Antecedentes.....	2
1.1 Localización	2
1.2 Situación Administrativa del acuífero.....	4
2. ESTUDIOS TÉCNICOS REALIZADOS CON ANTERIORIDAD	5
3. FISIOGRAFÍA.....	12
3.1 Provincia Fisiográfica.....	12
3.2 Clima	12
3.3 Hidrografía.....	12
3.4 Geomorfología.....	14
4. GEOLOGÍA.....	14
4.1 Estratigrafía	15
4.2 Geología estructural	19
4.3 Geología del subsuelo.....	20
5. HIDROGEOLOGÍA.....	23
5.1 Tipo de acuífero.....	23
5.2 Parámetros hidráulicos	23
5.3 Piezometría.....	25
5.4 Comportamiento hidráulico.....	26
5.4.1 Profundidad del nivel estático.....	26
5.4.2 Elevación del nivel estático.....	26
5.4.3 Evolución del nivel estático	27
5.5 Hidrogeoquímica y calidad del agua subterránea	28
6. CENSO DE APROVECHAMIENTO E HIDROMETRÍA.....	32
7. BALANCE DE AGUAS SUBTERRÁNEAS.....	33
Recarga vertical (Rv).....	33
8. DISPONIBILIDAD	35
8.1 Recarga total media anual (R).....	36
8.2 Descarga natural comprometida (DNC).....	36
8.3 Volumen de extracción de aguas subterráneas (VEAS).....	36
8.4 Disponibilidad de agua subterránea (DMA).....	37
9. BIBLIOGRAFÍA	38

1. GENERALIDADES

Antecedentes

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

Esta norma ha sido preparada por un grupo de especialistas de la iniciativa privada, instituciones académicas, asociaciones de profesionales, gobiernos estatales y municipales y de la CONAGUA.

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

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

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

El agua subterránea en el estado de Guanajuato debido a la sobreexplotación ha ocasionado una escasez del recurso hidráulico y por consiguiente una competencia cada vez mayor para el uso del agua entre los diferentes sectores, por lo que es importante ordenar los aprovechamientos hidráulicos de la región.

1.1 Localización

El acuífero Laguna Seca definido con la clave 1104 por la Comisión Nacional del Agua, se ubica en la porción nororiental del estado de Guanajuato (Figura 1).

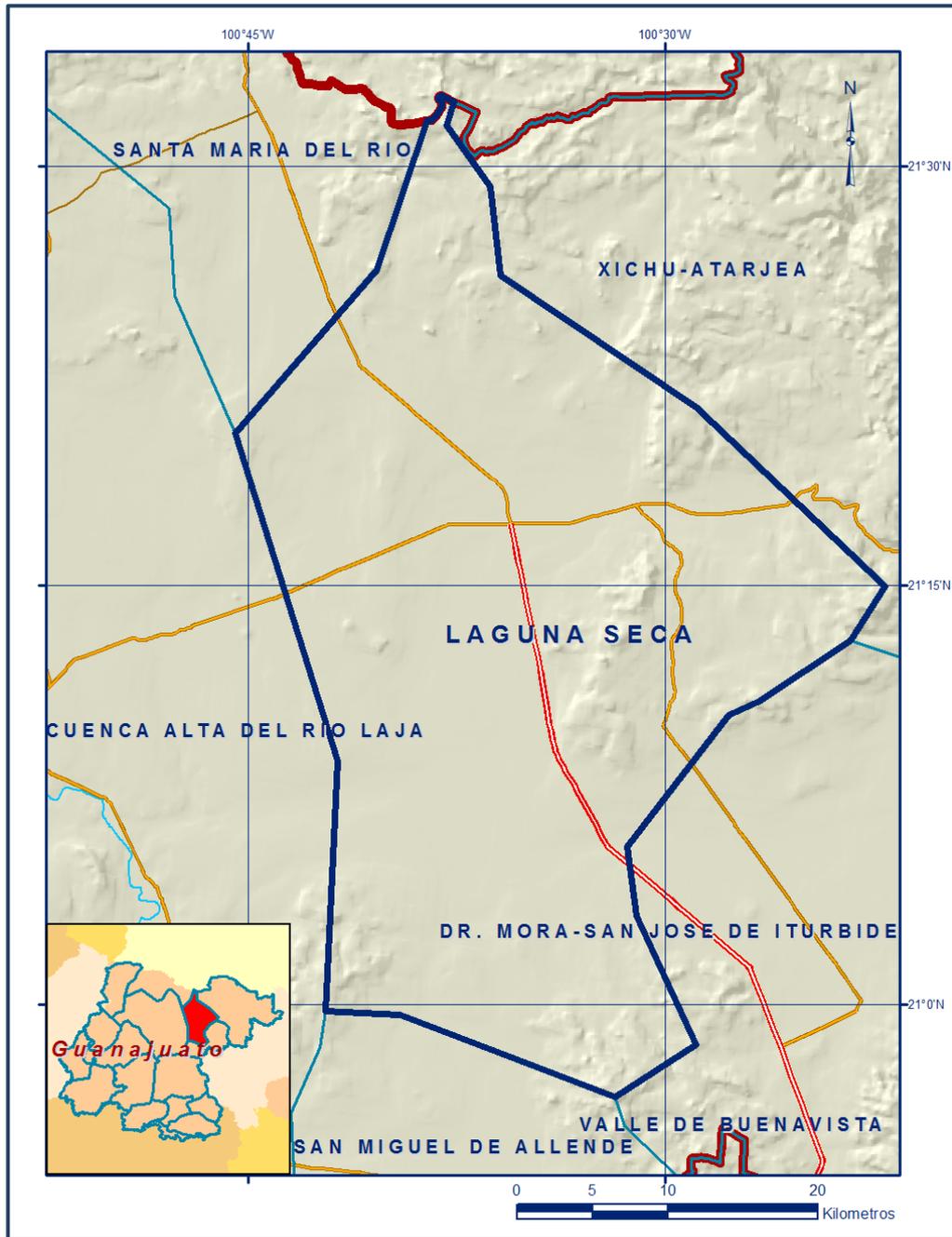


Figura 1. Localización del acuífero

Tiene una extensión superficial de 2,500 kilómetros cuadrados (km^2) y su forma es de pera, con longitud de 70 km, dirección al noroeste y ancho máximo de 40 km en su porción sur.

El acuífero se ubica en los municipios de Dolores Hidalgo, Dr. Mora, San Diego de la Unión, San José Iturbide, San Luis de la Paz, conforme a la siguiente poligonal:

Tabla 1. Coordenadas geográficas de la poligonal simplificada del acuífero

ACUIFERO 1104 LAGUNA SECA							
VERTICE	LONGITUD OESTE			LATITUD NORTE			OBSERVACIONES
	GRADOS	MINUTOS	SEGUNDOS	GRADOS	MINUTOS	SEGUNDOS	
1	100	31	48.6	20	56	42.3	
2	100	39	31.6	20	59	38.8	
3	100	42	13.6	20	59	45.9	
4	100	41	46.8	21	8	43.8	
5	100	45	27.0	21	20	26.9	
6	100	40	23.3	21	26	18.9	
7	100	38	34.7	21	31	38.0	DEL 7 AL 8 POR EL LIMITE ESTATAL
8	100	37	35.4	21	32	18.3	
9	100	37	52.7	21	31	29.2	
10	100	36	18.6	21	29	16.0	
11	100	35	55.7	21	26	5.3	
12	100	28	54.2	21	21	23.5	
13	100	22	7.5	21	14	58.4	
14	100	23	22.2	21	13	1.9	
15	100	26	37.7	21	10	53.1	
16	100	27	44.6	21	10	21.3	
17	100	31	23.7	21	5	39.4	
18	100	31	2.5	21	3	11.0	
19	100	28	54.1	20	58	35.3	
1	100	31	48.6	20	56	42.3	

1.2 Situación Administrativa del acuífero

Comprende parcial o totalmente a los municipios de San Luis de la Paz, Dr. Mora, San José Iturbide, San Diego de la Unión, Dolores Hidalgo.

De acuerdo al conteo definitivo de población y vivienda 1995 (INEGI). Las cabeceras municipales cuentan con la siguiente población. San José Iturbide 14,792 habitantes, San Luis de la Paz 38,287 habitantes, Dr. Mora 3,782 habitantes, San Diego de la Unión 5,741 habitantes.

Decreto que establece veda por tiempo indefinido para el alumbramiento de aguas del subsuelo en la zona norte del estado de Guanajuato, comprende parte de los Municipios de San José Iturbide, Charcas, San Luis de la Paz, San Diego de la Unión, Dolores Hidalgo y San Miguel Allende. Decreto con fecha del 27 de Noviembre de 1957 y fecha de publicación 7 de Febrero de 1958.

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 San José Iturbide, Dr. Mora y San Luis de la Paz, Gto. Con fecha de decreto 12 de Mayo de 1976 y fecha de publicación 7 de febrero de 1958.

Decreto por el que se declara de interés público la conservación de los mantos acuíferos en la superficie comprendida dentro de los límites geopolíticos de los Municipios de Ocampo, San Felipe, San Diego de la Unión y San Luis de la Paz, del Estado de Guanajuato; en consecuencia, se establece veda por tiempo indefinido para la explotación de dichos recursos. Fecha de Decreto 12 de Mayo de 1976 y fecha de publicación 29 de Julio de 1976.

Actualmente no existe decreto de reserva o reglamento.

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

La zona se ubica dentro del ámbito del Consejo de Cuenca del Río Lerma-Chapala, el que fue instalado el día 13 de Abril de 1989 y con fecha 28 de Noviembre de 1999 quedó integrado el Consejo Técnico de Aguas Subterráneas (COTAS).

Con fecha 28 de Noviembre de 1999 quedó integrado el Consejo Técnico de Aguas Subterráneas (COTAS).

En la zona de la Laguna Seca no se cuenta con ningún distrito, únicamente con unidades de riego incorporadas con Acta Constitutiva: a Nivel Municipio: San Luis de la Paz con 189 Unidades de Riego y 274 obras, San José Iturbide con 136 Unidades de Riego y 171 obras, Dr. Mora con 31 Unidades de Riego y 74 obras, San Diego de la Unión con 36 Unidades de Riego y 49 obras.

Unidades detectadas sin Acta Constitutiva: San Luis de la Paz 36 Unidades de Riego y 45 obras, San José Iturbide 40 Unidades de Riego y 53 obras, Dr. Mora 4 Unidades de Riego y 16 obras y San Diego de la Unión con 14 Unidades de Riego y 17 obras.

Los sistemas de agua potable ubicados en las cabeceras municipales de Dr. Mora, San Luis de la Paz, San José Iturbide y San Diego de la Unión son los mayores usuarios de aguas subterráneas.

2. ESTUDIOS TÉCNICOS REALIZADOS CON ANTERIORIDAD “DIAGNÓSTICO DE LAS CONDICIONES GEOHIDROLÓGICAS ACTUALES Y DE LAS ALTERNATIVAS DE OPERACIÓN DEL ACUÍFERO DE: CUENCA ALTA RÍO DE LA LAJA, ESTADO DE GUANAJUATO”.

Este estudio fue realizado en 1992, bajo el contrato número CNA-GRLB-034/92, por la Empresa Consultores en Geología, S. A. de C. V., para la Gerencia Regional Lerma-Balsas de la Comisión Nacional del Agua. Dicho trabajo abarca una superficie de 7,600 km², conteniendo, como su nombre lo indica, a la Cuenca Alta del Río La Laja, en la porción norponiente del estado de Guanajuato. Objetivos: Definir las condiciones geohidrológicas que actualmente prevalecen en el acuífero; Implementar un modelo matemático simplificado del comportamiento del acuífero, y plantear diferentes alternativas de aprovechamiento del agua subterránea en zonas conflictivas, utilizando el modelo matemático desarrollado por T.A.Prickett. Conclusiones y recomendaciones: “El principal sistema acuífero es profundo, libre, ampliamente distribuido en el subsuelo. Las profundidades a sus niveles estáticos varían de entre 15 y 132 m, los niveles menos profundos (entre 15 y 40 m) se localizan en las inmediaciones al cauce del Río Laja y la Presa San Miguel de Allende, y en los alrededores de San José Iturbide; los niveles intermedios (entre 40 y 100 m) se definen en las porciones oriente y poniente de la subcuenca Río La Laja, en las partes oriente y poniente de la subcuenca de Dr. Mora - San José Iturbide, parte centro - sur de la subcuenca Río La Laja y en las porciones centro - norte de la subcuenca San Miguel de Allende”. “Los caudales específicos de este acuífero profundo varían de menos 1 a 20 lps por metro de abatimiento; detectándose los mayores en las subcuencas de Laguna Seca, en sus límites con las de Río La Laja y San Miguel de Allende, en donde ocurren materiales basálticos”.

Los volúmenes de extracción anual en este acuífero, calculados para el año de 1992, son del orden de 542 millones de metros cúbicos, presentándose, los mayores en la subcuenca del Río La Laja ($174 \times 10^6 \text{ m}^3$), Laguna Seca ($160 \times 10^6 \text{ m}^3$), y Dr. Mora-San José Iturbide ($115 \times 10^6 \text{ m}^3$) siendo también dignos de considerarse los volúmenes que se extraen de la subcuenca San Miguel de Allende, que son del orden de ($68 \times 10^6 \text{ m}^3$), en las restantes cuencas los volúmenes de extracción son insignificantes, ya que totalizan apenas del orden del 5% del total que se extraen en la cuenca, siendo ellas San Felipe, San Luis de la Paz - Pozos y San Diego de la Unión.

La recarga media anual que este acuífero recibe es de aproximadamente $185.39 \times 10^6 \text{ m}^3$, de los cuales aproximadamente $148 \times 10^6 \text{ m}^3$, esto es, cerca del 80% son debidas a la infiltración por la lluvia que se sucede en el área definida para el balance; en otro 20% de la recarga también es debido a la precipitación de la lluvia que acontece fuera de dicha área, pero ingresa horizontalmente a ella.

El déficit entre la recarga y la descarga consecuente que los abatimientos en el acuífero sean de entre 0.5 y 3.0 m/año descenso que es de alarmar, si se considera que en las porciones norte y centro - oriente las profundidades alcanzan 130 m. La zona más crítica es la que abarca la subcuenca de Laguna Seca, ya que los abatimientos llegan a ser de 50 m en 20 años si se continúa con la extracción actual; además que la zona donde se define el cauce del río, que funcionaba como dren del acuífero, se convierte en zona de recarga para la subcuenca de Laguna Seca.

“ACTUALIZACIÓN DEL ESTUDIO GEOHIDROLÓGICO DE LA CUENCA ALTA DEL RÍO LA LAJA, GUANAJUATO”. En 1981 La Dirección General de Aprovechamientos Hidráulicos de la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos (SARH), encomendó a la Empresa Geohidrológica Mexicana, S. A. la elaboración del trabajo denominado “Actualización del Estudio Geohidrológico de la Cuenca Alta del Río La Laja, Gto.”. Con el fin de construir nuevos proyectos de irrigación sustentados con aguas del subsuelo y, además, atender numerosas solicitudes de perforación de pozos con la misma intención; así mismo, actualizar el estudio geohidrológico preliminar de 1971 con el fin de alcanzar los objetivos siguientes:

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 puede aprovechar permanentemente sin inducir efectos perjudiciales; Localizar áreas favorables para el incremento de la explotación Conocer en forma aproximada la relación agua superficial - agua subterránea.

Conclusión: La precipitación, temperatura y evaporación potencial medias anuales, resultaron de 498.2 mm respectivamente. De los 1,469 aprovechamientos se extraen 412 millones de metros cúbicos de agua del subsuelo de la zona, destinando el 90% a la agricultura y el 10% al abastecimiento de agua potable y abrevadero. Los pozos tienen profundidades de perforación promedio de 35 a 400 m, con rendimiento y capacidades específicas de 2 a 100 lps y 0.13 a 82.2 lps/m, respectivamente.

Las norias tienen profundidades variables entre 2.5 y 35 m, rendimientos y capacidades específicas entre 0.5 a 20 lps, las galerías filtrantes poseen profundidades de 3 a 12.5 m, gastos específicos de 2.9 a 16 lps y su capacidad específica es del orden de 1.3 a 200 lps/m. El nivel estático en 1981, varía de 2 a 120 m, según el área o subcuenca en que se encuentre.

La transmisividad varía de 0.05 y 0.06; están asociados a sistemas regionales de flujos libres, de bajo porosidad eficaz (tobas arcillo - arenosas, esencialmente). De acuerdo con el estudio hidrogeoquímico realizado en 1972, el agua del subsuelo es de buena calidad, pues su salinidad correspondiente a toda la zona de estudio varía entre 300 y 800 PPM, ningún ion se presenta en concentraciones excesivas y parece ser que su evolución temporal prácticamente ha sido nula.

“ESTABILIZACIÓN Y AUMENTO DE LA PRODUCTIVIDAD DEL ACUÍFERO DE LA LAGUNA SECA, GUANAJUATO”. Objetivos principales del proyecto: Hacer un programa de reordenamiento ecológico de la cuenca para aumentar la infiltración y por lo tanto la recarga del acuífero; Definir políticas de operación para el aprovechamiento del acuífero ante diferentes escenarios por bombeo; Formar un proyecto de tecnificación de los sistemas de riego. Estrategias: Se propuso realizar un diagnóstico del medio físico con un sistema de información geográfica, el cual trate con suficiente detalle el análisis y descripción de los sistemas de producción agropecuarios que se utilizan en la cuenca. A partir de este diagnóstico se formulará un plan de rehabilitación en el cual las alternativas técnicas propuestas consideren, por un lado, la realidad socioeconómica de los productores, y, por otro lado, sean eficientes para controlar los procesos erosivos que actualmente existen, e incrementar la recarga del acuífero.

Se desarrollarán 10 planes de producción y conservación de (PPC) a nivel de producción –finca para poder materializar las acciones se implementará, dentro de cada uno, la tecnología conservacionista el paquete de prácticas conservacionistas será, entre otras: Reforestación de especies de uso múltiple, inicialmente, en los linderos de las parcelas como seres vivos; Sistema agroforestal utilizando el mezquite y/o vara dulce como especie forestal más maíz, y/o frijol y haba con alta densidad de plantas por hectárea como cultivo; Promover la cobertura vegetal de taludes y cunetas de los caminos que atraviesan la cuenca; Reforestar áreas degradadas con especies arbustivas de rápido crecimiento como bancos de leña y zonas de captación de agua de lluvia.

En la referente a sistemas de riego, se considera un área representativa de 2000 has, en la cual se seleccionaron 30 o 40 sistemas de riego ubicados en los municipios de Dr. Mora, San José Iturbide y San Luis de la Paz. Para cada régimen de riego se determinará la capacidad económica y nivel tecnológico del productor, infraestructura existente, la superficie regada de los cultivos establecidos, así como el tipo de suelos y los cultivos instalados.

Asimismo, se determinarán las eficiencias electromecánicas, de conducción y aplicación de agua de riego. Con toda esta información se hará un diagnóstico y un proyecto ejecutivo de tecnificación de cada sistema de riego.

Los resultados alcanzados fueron los siguientes: Se realizó un diagnóstico del medio físico mediante el uso de técnicas de información geográfica (SIG) en ARC/INFO, con el cual se hizo la caracterización de la topografía, el uso del suelo, el grado de erosión actual, la hipsometría, la ubicación de las vías de comunicación, principales centros de población y la priorización de cinco microcuencas.

Con el objeto de obtener el conocimiento de la situación actual del nivel de vida, las condiciones de producción y la problemática de la población que habita en la cuenca, se realizó un diagnóstico socioeconómico de la misma. Para apoyar el proceso de comunicación e información, se elaboró la unidad comunicativa audiovisual “Estabilización y aumento de la productividad del acuífero de la Laguna Seca” cuya duración es de 23 minutos y contiene la problemática existente y alternativas de solución.

Se seleccionó la microcuenca “Mesa Escalante” donde se desarrolló un plan rector de producción y conservación (PRCP) con el que se promoverá transferencia de tecnología (Productivo conservacionista), que sea un modelo del manejo racional y eficiente de los recursos naturales.

Se evaluaron las eficiencias electromecánicas y de conducción de 57 sistemas de riego de los municipios de San Luis de la Paz, San José Iturbide, San Miguel Allende y Dr. Mora. También se crearon 55 proyectos ejecutivos para la tecnificación de los sistemas de riego estimados. Cabe señalar que la red de riego representativa de los diferentes sistemas conceptuados, está formada por canales de tierra revestidos de mampostería y que, en lo general representan grandes pérdidas de agua, las cuales varían entre los 10 y los 30 l/s/km. Se elaboró una propuesta metodológica para apoyar el establecimiento del Comité Técnico de Aguas Subterráneas (COTAS) y para la elaboración en conjunto de los usuarios del reglamento de operación del acuífero de la cuenca. De lo anterior se derivaron las siguientes conclusiones y recomendaciones: El manejo integrado de los recursos naturales se debe referir a la forma de apropiación de los elementos de un ecosistema, de tal manera que no se agote su característica intrínseca de renovabilidad y que se beneficien en el proceso productivo de los encadenamientos e interacciones de estos elementos.

El resultado de utilizar los recursos naturales de una visión a corto plazo ha sido muy negativo pues se han desatendido las necesidades que las siguientes generaciones tienen en cuanto al consumo del agua, fertilidad de los suelos, existencias forestales y en general, en cuanto a la disponibilidad suficiente de recursos tanto en calidad como en cantidad.

“DEFINICIÓN DEL ACUÍFERO DE LAGUNA SECA, GUANAJUATO”. En julio de 1998, la Gerencia Estatal de Guanajuato, de la CNA, elaboró el artículo denominado: “Definición del Acuífero de Laguna Seca, Guanajuato”, en el cual se destaca lo siguiente:

La cuenca cerrada de la Laguna Seca se localiza en la porción nororiental del estado de Guanajuato, tiene una extensión aproximada de 2,300 km², y la elevación predominante en ella es de 2,100 msnm. En cuanto a la climatología de la zona, esta presenta precipitaciones de 400 a 600 mm. Anuales, observándose la más baja en la porción norte de la cuenca; la temperatura máxima es de 34° C, la mínima es de -3° C y su media anual, de 16° C.

Desde el punto de vista hidrológico, es importante destacar que no hay corrientes superficiales importantes debido a la escasa precipitación y a las dimensiones reducidas del área de captación.

Con relación a la geología, las rocas más antiguas que afloran son esquistos de color amarillo de edad triásico - jurásico; en el área de pozos; se observan calizas y calizas arcillosas marinas de edad cretácico; al este de San Luis de la Paz, en el límite oriental de la cuenca afloran andesitas verdes alteradas del cenozoico inferior; descansando discordantemente sobre las rocas de la secuencia descrita se observan en el área grandes afloramientos de rocas volcánicas de tipo riolítico que forman las principales serranías.

Rellenando los valles se encuentran, en el área, potentes depósitos de sedimentos continentales lacustres y aluviales formados por gravas, arenas y arcillas; conforme aumenta la profundidad, estas se intercalan con rocas riolíticas y, hacia su cima, con derrames volcánicos; su edad es cenozoico medio y superior. Formando la parte final de la secuencia aflora una gran extensión de depósitos aluviales constituidos por gravas, arenas y arcillas de espesor generalmente reducido y su edad es del cuaternario al reciente.

El acuífero está constituido por sedimentos granulares y por rocas basálticas y riolitas fracturadas. Debido a que la cuenca está situada en el parteaguas - continental de las vertientes del océano pacífico y el Golfo de México. Las posibilidades de recarga del acuífero quedan limitadas prácticamente a lo que puedan captar de lluvia; la recarga lateral es sólo posible en el extremo suroriental, donde el borde forma parte del macizo montañoso del cerro el Zamorano, constituido por rocas riolíticas permeables. Geohidrológicamente, la porción sur del área presenta condiciones más favorables que el resto de la cuenca; esto se debe a que esta zona cuenta con mayores volúmenes de precipitación y a que predominan rocas fracturadas que propician la formación de acuíferos.

El agua de la cuenca es bicarbonatada sódica, en la mayor parte de la zona, y bicarbonatada cálcica en el área de San José Iturbide, en general el agua es apta para todos los usos.

Para el año de 1988 existían en la cuenca 900 pozos, que extraían en su conjunto, aproximadamente, 219 hm³/año, y puesto que la recarga del acuífero es del orden de 110 hm³/año, existe una pérdida en el almacenamiento de 109 hm³/año; esto ha generado un abatimiento de los niveles de 2.5 m/año, en las porciones norte y central de la cuenca y de 1.4 m/año en la porción sur. Las profundidades mayores al nivel del agua se localizan en las partes norte y centro de la zona, alcanzando valores de hasta 115 m; en la fracción sur, los niveles se encuentran entre los 30 y 70 m de profundidad. En condiciones naturales el flujo subterráneo tenía una dirección preferencial hacia el Río Laja, al poniente de la cuenca, actualmente debido a la concentración de aprovechamientos, el flujo se ha tornado radial en diversas áreas, destacándose las localizadas en las áreas central y norte de la cuenca y en la sur, al NW de San José Iturbide.

Ante esta problemática y con el fin de preservar el agua subterránea, como un recurso indispensable para sustentar el desarrollo agropecuario, urbano e industrial de la región; la Federación; publicó el Decreto de Veda Rígida, desde el 7 de febrero de 1958, bajo estas condiciones sólo se permite la ejecución de nuevas perforaciones con fines de uso doméstico y público - urbano.

3. FISIOGRAFÍA

3.1 Provincia Fisiográfica

La cuenca la Laguna Seca se localiza en la porción suroriental de la provincia fisiográfica denominada “Mesa Central”, que limita hacia el oriente con la provincia “Sierra Madre Oriental”.

La provincia fisiográfica “Mesa Central” se caracteriza por tener terrenos predominantemente planos, donde se observan extensos valles al oriente de San Luis de la Paz y al oriente de San José Iturbide y Dr. Mora. Sus principales elevaciones están conformadas esencialmente, por rocas volcánicas del tipo riolítico, las cuales dan lugar a serranías altas, en forma de mesetas, con elevación media de 2,000 metros sobre el 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 partes planas. En conjunto, por ser arroyos con caudales poco profundos, se les considera con drenaje del tipo dentrítico. El relieve característico de esta provincia es ondulado y escarpado; así las porciones planas y lomeríos llegan a tener desniveles hasta de 100 m.

3.2 Clima

La temperatura media anual en la cuenca oscila entre 16.3 y 17.8° C con un valor medio de 17° C. Las temperaturas menores se registran en sus porciones montañosas; las mayores, en sus partes bajas.

La temporada de lluvias abarca los meses de junio a septiembre, siendo junio y julio los más lluviosos, con láminas de lluvia de 90 a 95 mm y la precipitación promedio anual es de 475 mm. La Evapotranspiración potencial media anual registrada en la zona de interés cambia de 1,200 a 2,300 mm, con un valor medio de 1,926 mm y variación estacional similar a la de la temperatura. Así mismo, la evaporación potencial media mensual es mayor que la precipitación media respectiva en todos los meses del año.

3.3 Hidrografía

La cuenca la Laguna Seca se localiza en la Región Hidrológica No. 12, “Lerma Santiago”, formando una subcuenca cerrada, de aproximadamente 2,500 km², dentro de la cuenca del río La Laja, se encuentra enclavada la zona de estudio, (P. Antares S.A. de C.V.) la cual no tiene escurrimientos importantes de aguas superficiales por los motivos siguientes:

Las dimensiones de las subcuencas que integran a la cuenca cerrada son pequeñas. La precipitación media anual en la cuenca es de 425 mm, siendo la más baja del estado de Guanajuato, lo que ocasiona que los escurrimientos sean de poca consideración.

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 van perdiendo definición en las partes altas de los valles y llanuras, conforme se infiltra su caudal. El arroyo Charcas se forma en el borde suroriental de la cuenca, pasando por la parte norte de la población Dr. Mora, en dirección al poniente, uniéndose más adelante el arroyo La Plata, formando entre ambos la corriente más importante del área, la cual es captada por la presa El Carrizal, que se utilizan para riego y abrevadero de ganado.

Aguas debajo de la presa El Carrizal, el arroyo se conoce como La Canela y luego como El Salitre, y así descarga sus aguas a la presa de La Cebada, localizada cerca del cruce del ferrocarril México - Laredo, con la carretera No. 57, cabe mencionar que esta presa es del tiempo de la colonia y, aunque está muy azolvada, es la más importante del área.

Hidrográficamente, la cuenca de la Laguna Seca está limitada hacia el norte y oriente por la subcuenca del río Santa María, que a su vez pertenece a la cuenca del Río Pánuco, el cual desemboca en el Golfo de México, en el bordo de los estados de Veracruz y Tamaulipas (P. Antares S.A. de C.V.).

Hacia el sur y por el poniente el límite hidrográfico lo forma la subcuenca del río La Laja, que forma parte de la cuenca del Río Lerma - Santiago, el cual desemboca en el Océano Pacífico, en el estado de Nayarit.

En épocas de lluvias importantes tanto este arroyo como otros del área concentran sus escurrimientos en el área de Pozo Blanco y Laguna Seca, al poniente de San Luis de la Paz, donde se encuentran los terrenos más bajos de la cuenca, formándose “encharcamientos” y lagunas efímeras que se pierden con el tiempo por infiltración y evaporación. Infraestructura hidráulica de la zona: presa La Cebada y El Carrizal.

3.4 Geomorfología

Esta cuenca forma una gran meseta elevada, que se ha mantenido fuera de la influencia de la erosión de los ríos de cuencas aledañas, debido a que es una cuenca cerrada y predominante plana, por lo cual sus fenómenos erosivos internos son poco notables, ya que las pequeñas corrientes que se forman tienen poco poder de arrastre.

Las sierras del borde suroriental moldean extensas mesetas, ya que están constituidas por ignímbritas riolíticas, 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 localizan al norte de San Luis de La Paz, conocidas como “mesa del pueblo” y mesa de escalante, donde están emplazadas las comunidades del mismo nombre.

En el área de Mineral de Pozos, al sur de San Luis de La Paz, las estructuras geológicas cambian de forma, totalmente, ya que en esta zona predominan las rocas sedimentarias marinas de edad cretácica, representadas por calizas, lutitas y areniscas, que dan lugar a cerros redondeados. Dichas rocas emergieron a la superficie por el empuje de un cuerpo intrusivo que las levantó y dio lugar a la formación de yacimientos minerales, que se explotaron in situ, a principios de siglo.

Geomorfológicamente, la región se encuentra en una etapa de juventud, sujeta a la erosión fluvial.

4. GEOLOGÍA

La columna litológica del área está integrada por rocas ígneas intrusivas y extrusivas siendo las primeras escasas en afloramientos y las segundas más abundantes y de variadas composiciones y estructuras. Las rocas marinas de edad cretácica y los sedimentos continentales de edad terciaria de origen lacustre, así como los aluviones que se encuentran rellenando los valles, finalmente se localizan pequeños afloramientos de rocas metamórficas de edad pre-cretácico (Figura 2).

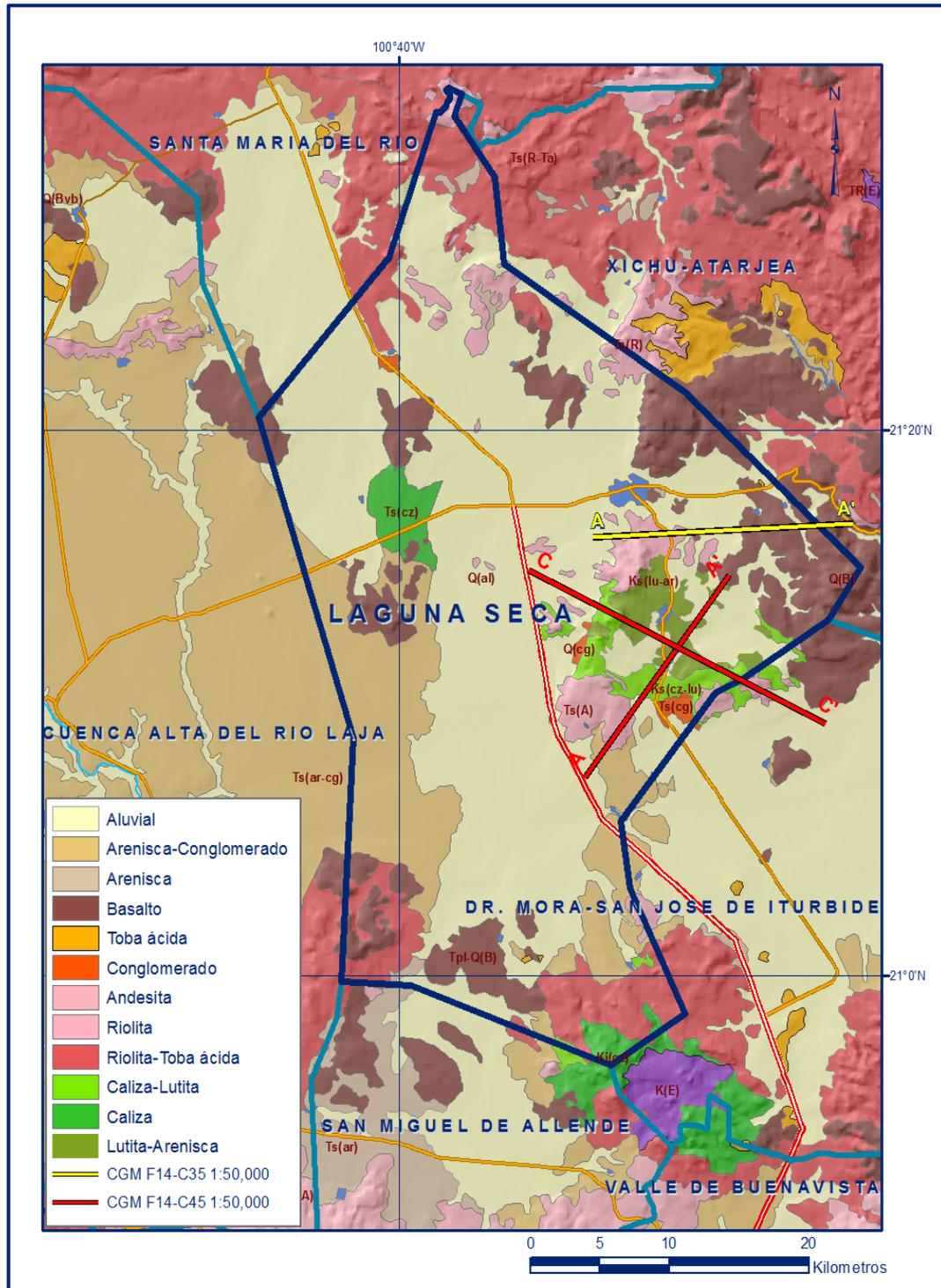


Figura 2. Geología general del acuífero

4.1 Estratigrafía

En el área de Laguna Seca afloran rocas sedimentarias y volcánicas con edades que van del triásico al reciente.

TRIÁSICO-JURÁSICO

Representando a las rocas más antiguas de la zona, se encuentran los esquistos (E) que afloran en el cerro del Guajolote, en el extremo sur del área de estudio, 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 2,400 msnm.

CRETÁCICO

En el área de Mineral de Pozos, al sur de San Luis de La Paz, afloran las calizas, 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. Dichas rocas se correlacionaron con la formación El Doctor y están conformadas por estratos de calizas de color gris claro, en capas hasta de 50 cm, con intercalaciones de bandas de pedernal negro, que llegan a ser de 10 cm de espesor y de limolitas de color rojo y ocre, de 5 cm de grosor. 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 Luis Potosí, se ha medido un espesor de 1,800 metros. La edad de esta formación es del cretácico tardío.

Descansando discordantemente sobre la formación Doctor, se conservan en el área de Mineral de Pozos, grandes afloramientos de lutitas y areniscas de origen marino (Lu - Ar), de color negro, que, intemperizan en verde ocre, bien estratificadas, en capas hasta de 20 cm de espesor.

En la zona en cuestión, se aprecian afloramientos en los cortes de Los Arroyos, en las cercanías de la población de Pozos y, mediante perforación de pozos, se le ha detectado en el subsuelo del área de La Merced, a 6 km al sureste de la población del mismo nombre. Por su similitud litológica con unidades de cretácico superior (formación Cárdenas Hendidura y Soyatal), se le considera de esta época. En la Estación Cárdenas, San Luis Potosí, del ferrocarril San Luis Potosí - México; se han observado espesores de hasta 1,055 m.

CENOZOICO

Las rocas andesíticas (A) se encuentran apoyadas discordantemente sobre las rocas calcáreas máximas del cretácico, al suroeste del Mineral de Pozos, en la porción central de la zona de interés y en la ladera sur del Cerro del Guajolote, al poniente de San José Iturbide.

Son rocas volcánicas de color gris oscuro y rojizo, ladeadas y compactas, que se exponen medianamente alteradas, sus afloramientos son de dimensiones reducidas, ya que se encuentran cubiertas por el potente espesor de rocas volcánicas y sedimentarias del cenozoico medio superior.

Es frecuente encontrar a las andesitas como las antes descritas, en el Estado de Guanajuato, formando la base de la secuencia terciaria; su espesor, dentro de la zona que nos ocupa es de 100 metros, y su edad, cenozoico temprano. Hidrogeológicamente, se le supone a esta unidad impermeable. Generalmente, afloran en toda la periferia de la zona de estudio, las riolitas (R) descansan discordantemente sobre las rocas preexistentes, y consisten en grandes acumulaciones de rocas volcánicas de tipo riolítico, pseudoestratificadas por su de depositación, como lluvia de cenizas y nubes ardientes provenientes de aparatos volcánicos lejanos.

Son rocas de color gris rosado y están formadas por cristales de cuarzo y feldespato 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 del 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 vidriera. 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 de la zona de estudio, en el área Mesa del Pueblo y Mesa de Escalante, y oriental, en el área de Manzanar, Hacienda de Ortega y La Semita; en algunos de estos lugares las riolitas se encuentran parcial o totalmente cubiertos por derrames de rocas volcánicas basálticas, que las enmarcan. 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 marino de las riolitas es de 300 m y se localiza en el área de Manzanares, en la porción oriental de la zona. Tiene una edad del cenozoico medio.

CUATERNARIO

Descansando sobre las rocas riolíticas antes referidas, y cubriendo parte de sus afloramientos, aparecen en toda el área, derrames de rocas volcánicas de tipo basáltico, de color gris oscuro, de grano fino, que se presentan, en general, fracturadas.

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 las altas y extensas mesetas localizadas en las partes norte y oriente de San Luis de la Paz conocidas como el Pueblo, Escalante y Las Saras, que alcanzan elevaciones de 2,350 msnm; es decir, con desnivel de 350 m respecto al valle.

Comúnmente, en el área de estudio, estas rocas se han detectado mediante la perforación de pozos agrícolas, en terrenos de La Misión Chichimeca, al oriente de San Luis de la Paz, donde se le ha encontrado alteradas y de color verdoso.

Las rocas basálticas tienen un espesor poco significativo, de 100 m como máximo, en los alrededores de la mesa de El Pueblo, al norte de San Luis de la Paz. Su edad es cuaternario.

También, de la misma edad, los depósitos lacustres de la zona, constituyen el potente espesor de sedimentos granulares que rellenan los amplios valles de la porción occidental del área que nos ocupa. Dicha unidad presenta tanto depósitos de areniscas y conglomerados de compactación media, como capas intercaladas de arcillas y limos de color gris claro, bien estratificados en capas delgadas, en altitud cercana a la horizontal.

Dentro del ámbito de la cuenca de Laguna Seca, la unidad de sedimentos lacustres, prácticamente no ha sido atacada por la erosión, ya que los arroyos son pequeños y las velocidades de sus corrientes son moderadas, debido a lo plano de los terrenos que la forman; por lo tanto, tiene poca capacidad de arrastre.

CUATERNARIO

La unidad de mayor extensión en la zona, que aflora en las partes bajas y planas, producto de la erosión de rocas existentes en las porciones elevadas, son los depósitos aluviales (Qal), provenientes de rocas calcáreas y tobáceas, que le dan granulometría y espesores variables, desde unos cuantos metros hasta varias decenas, y sobreyacen a las tobas y a los conglomerados.

De poca extensión, los depósitos fluviales (Qfl), principalmente en las márgenes de los ríos y arroyos principalmente, están conformados por clastos de tamaños variados, no consolidados, producto de la erosión y transporte fluvial de las rocas volcánicas.

Su espesor es de unos cuantos metros; a veces se encuentran intercalados con materiales aluviales. Su edad corresponde al cuaternario.

4.2 Geología estructural

Varias son las estructuras geológicas que predominan en las porciones suroriental y nororiental de la zona de estudio, las cuales se describen brevemente, a continuación:

SIERRA EL ZAMORANO.- Con una elevación de 3,200 msnm, en su clima, esta sierra constituye el borde suroriental de la zona, entre el límite de los Estados de Guanajuato y Querétaro, fuera de la zona de estudio, dicho macizo montañoso está formado por una gran variedad de rocas riolíticas tobas e ignimbritas, de diferentes texturas y colores. Aunque los arroyos que se forman en sus laderas fluyen al sur, rumbo al Río Lerma, al norte y oriente, hacia la cuenca del Río Pánuco y al poniente hacia la cuenca de interés, solo una pequeña parte de esta estructura pertenece a la zona en cuestión, su influencia, geohidrológicamente hablando, es importante, pues se comporta como área de recarga hacia el acuífero.

CERRO EL GUAJOLOTE.- Localizado en la porción suroriental de la zona, al suroeste de San José Iturbide, El Cerro del Guajolote alcanza una elevación de 2,600 msnm y se encuentra formado por rocas metamórficas antiguas, de color gris amarillento, alteradas y fracturadas, lo que da lugar a una topografía abrupta.

Por su parte, afloran calizas, lutitas y areniscas cretácicas en las laderas norte y sur de este cerro, que han resistido a la erosión, y descansan sobre los esquistos antiguos parcialmente cubiertos por depósitos de ignimbritas y derrames volcánicos de tipo basáltico.

SIERRA DE POZOS.- Alcanza una elevación de 2,550 msnm y se ubica en la porción central del área de estudio.

Esta estructura consiste en un afloramiento de rocas marinas de edad cretácico, representadas por calizas, lutitas y areniscas muy plegadas, las cuales fueron levantadas debido al empuje de un cuerpo ígneo intrusivo que las metamorfizó en la zona de contacto y dio origen a la mineralización de oro y plata, cuyos yacimientos se explotaron en forma intensiva hasta principios del presente siglo, proporcionando gran auge a Mineral de Pozos (Ciudad Porfirio Díaz), que ahora se encuentra casi abandonada por el agotamiento de los depósitos minerales.

MESA DEL PUEBLO.- Mesa del Pueblo es la meseta alta de cima que alcanza una altitud de 2.350 msnm y se localiza al norte de San Luis de La Paz, al formar el borde nororiental de la cuenca de interés; está constituida por tobas e ignimbritas riolíticas de color gris rosado claro, las que están cubiertas y protegidas de la erosión, por extensos derrames basálticos de forma tabular.

Principalmente al oriente, la extensión de esta meseta es muy grande, en la cuenca del Río Pánuco, siendo solo una pequeña parte la que se encuentra en el poniente, en la cuenca de la Laguna Seca.

4.3 Geología del subsuelo

Para definir la geometría de los acuíferos se realizaron exploraciones directas e indirectas, las primeras por medio de la construcción de 17 pozos de exploración y explotación construidos por la dirección de aguas subterráneas en los años de 1970-1971, las segundas por medio de la corrida de 93 sondeos geofísicos, de estos últimos, 42 se efectuaron por medio de relación de caída de potencial en el estudio de 1972 y 53 por el arreglo tetraédrico de Schlumberger, en el estudio del año de 1981.

Se clasificaron 3 unidades hidrogeológicas:

Unidad U1.- Se engloban en esta unidad, las rocas marinas, formadas por capas de lutitas y areniscas; todas ellas, con bajas posibilidades acuíferas. Estas rocas son prácticamente impermeables, siendo capaces sólo de producir pequeños volúmenes de agua mediante norias de poca profundidad, que penetran los primeros 5 metros, donde las lutitas y areniscas están fracturadas y alteradas, las cuales funcionan como acuitardos o acuifugos o como el basamento de la zona.

Los principales afloramientos de areniscas y lutitas marinas se observan en el área de mineral de pozos, al sur de San Luis de la Paz, en la porción central de la zona de estudio y todas las perforaciones que atraviesan esta unidad, han resultado negativas. Su espesor es superior a los 1,000 m y se correlaciona con la formación cárdenas del cretácico superior. Similares características y comportamiento tienen las rocas calizas marinas, de capas hasta de un metro de espesor, intercaladas con delgadas capas de lutitas rojizas, con lentes y bandas de pedernal negro.

En general dichas rocas son de baja permeabilidad en pequeños afloramientos y están muy afectadas por el tectonismo, ya que fueron levantadas por un cuerpo ígneo intrusivo, que les ocasionó metamorfismo de contacto y las mineralizó.

Son limitadas sus posibilidades acuíferas en el área de Mineral de Pozos, existe un tiro de mina abandonado desde el principio de siglo, por la inundación de las minas. Actualmente, en dicho tiro se instaló un equipo de bombeo sumergible de 8 pulgadas de diámetro de descarga, que produce un gasto de 60 litros por segundo, sin abatimiento notable.

Se considera que, en el desarrollo de la mina, cortaron fracturas, que aunadas a las pequeñas filtraciones que se producen a lo largo de miles de metros en el interior de la mina, producen un gasto importante; sin embargo, son condiciones muy localizadas. También en esta unidad se engloban a las rocas andesíticas en lajas y compactas, cuyos afloramientos son de reducidas extensiones, que se encuentran cubiertas por rocas volcánicas y sedimentarias del cenozoico medio y superior.

En cuanto a la producción acuífera, es muy reducida, ya que son rocas muy compactas y de baja permeabilidad.

Por su parte, los esquistos que constituyen el cerro de El Guajolote, al suroeste de San José Iturbide, en el extremo sur de la zona de estudio, son rocas compactas y de baja permeabilidad, que se encuentran únicamente en áreas altas y abruptas, en el cerro de El Guajolote, con producción acuífera prácticamente nula.

Unidad U2.- En esta, se reúnen las rocas basálticas, que afloran en casi toda la zona de interés, con predominio hacia la parte norte, al oriente de San Diego de la Unión, donde constituyen el borde noroccidental de la cuenca.

Los pozos perforados en estas rocas tienen producción de buenos gastos, debido al fracturamiento de las mismas, lo que les confiere una permeabilidad secundaria. Otros afloramientos, de pequeñas dimensiones, como en el área de Misión Chichimeca, al oriente de San Luis de la Paz, representados por basaltos de color gris rojizo y verdoso, con pozos de producción eficiente. Sin embargo, las rocas basálticas en el área de Mesa del Pueblo, que ocupan las cimas de la serie de mesetas que la forman, tienen reducidas posibilidades acuíferas, por sus posiciones estructurales y topográficas.

Con permeabilidad variable, se presentan las rocas riolíticas en la zona de interés, ya que, en la porción oriental, forman una serie de mesetas altas conocidas como Mesa del Pueblo, y en su parte sur, el macizo montañoso del cerro de El Zamorano, que constituye el basamento rocoso en el área de San José Iturbide y Dr. Mora, donde se les ha detectado un espesor de 200 m aproximadamente.

En ocasiones, estas rocas se presentan en forma de tobas suaves de matriz arcillosa, con mínima permeabilidad, como en el área de El Arenal, al poniente de San José Iturbide.

Otras veces, tienen permeabilidad secundaria, puesto que se encuentran fracturadas y producen caudales significativos, con agua, generalmente de buena calidad, aunque los mejores resultados de pozos en rocas riolíticas, de la zona, se identificaron en el área de San José Iturbide y Dr. Mora, donde tiene un espesor medio de 200 m, y son recargados por el agua que proviene del cerro de El Zamorano. A veces, las riolitas se presentan en forma de tobas suaves, de matriz arcillosa, con permeabilidad baja, las cuales se explotan, más bien, para extraer arena sílica y feldespato, en el arenal, al poniente de San José Iturbide.

Unidad U3.- Existen numerosos afloramientos de rocas basálticas en la zona, aunque predominan al norte, hacia la cercanía de San Diego de la Unión. Los pozos perforados en estas rocas producen gastos significativos, ya que su fracturamiento les confiere una buena permeabilidad.

Otros afloramientos más pequeños se encuentran diseminados en toda la cuenca, y se les ha detectado por medio de perforaciones, como en el área de Misión Chichimeca, al oriente de San Luis de la Paz, donde los pozos ahí emplazados producen con mucha eficiencia. Sin embargo, en el área de Mesa del Pueblo, en el extremo nororiente de la zona en cuestión, las rocas basálticas ocupan las cimas de la serie de mesetas que la conforman y, por su posición tanto estructural como topográfica, tienen muy reducidas posibilidades acuíferas.

Con relación a los depósitos lacustres, formadores del potente espesor de sedimentos granulares que rellenan los amplios valles de la zona de Laguna Seca, constituidos por arena y grava intercaladas con arcilla y, en ocasiones, de areniscas y conglomerados, tienen buena permeabilidad y capacidad de almacenamiento, debido a su buena porosidad y al fuerte espesor y extensión de sus depósitos, siendo la unidad más explotada en la zona, con perforaciones cada vez más profundas, producto del rápido abatimiento de los niveles del agua en el subsuelo.

Los mayores espesores de depósitos lacustres, se han detectado en el área de Pozo Blanco y Laguna Seca, al poniente de San Luis de la Paz, donde alcanzan los 300 m; los pozos que se encuentran emplazados en esa área, producen abundantes caudales.

Al noreste de San Miguel Allende, en el área de Los Rodríguez, los depósitos lacustres, también, tienen eficiente producción; a veces, se les encuentra descansando sobre rocas volcánicas del tipo basáltico, intercaladas con derrames del mismo tipo, lo que incrementa las posibilidades de producción en los pozos.

Buenos gastos aportan los depósitos lacustres en las zonas aledañas a San José Iturbide y Dr. Mora, donde descansan sobre rocas volcánicas de tipo riolítico, con permeabilidad alta, cuando se les encuentra fracturadas, lo que contribuye a un buen rendimiento en los pozos.

Finalmente, el aluvión formado por gravas, arenas y arcilla, son muy permeables y cubren una gran extensión de la zona que nos concierne; sin embargo, sus posibilidades acuíferas son muy limitadas, puesto que tienen espesor reducido, el cual no pasa de los 5 m y, en la mayoría de los casos, constituyen solamente la cubierta de suelo vegetal.

5. HIDROGEOLOGÍA

5.1 Tipo de acuífero

El principal sistema acuífero es profundo, **libre**, ampliamente distribuido en el subsuelo. El comportamiento hidrogeológico y las características hidráulicas de las rocas dependen de su litología, estructura y la tectónica de la región. En la zona de estudio se observan condiciones geohidrológicas variadas, entre las porciones sur y norte: en el extremo sur, en el área de San José Iturbide, la precipitación media es de 600 mm anuales, siendo el área más favorable, por su cercanía al cerro del Zamorano, y cuenta además con escurrimientos de numerosos arroyos que bajan de su ladera occidental y contribuyen en parte a la recarga del acuífero. Por otro lado, en el extremo norte, estas condiciones varían, puesto que la precipitación media anual es de 350 mm y no existen escurrimientos que contribuyan notablemente a la recarga del acuífero.

5.2 Parámetros hidráulicos

Para evaluar la disponibilidad de aguas subterráneas y simular el comportamiento de un acuífero, los datos básicos son las características hidráulicas del mismo, representadas por medio de los coeficientes de permeabilidad, transmisividad y almacenamiento. Dichos coeficientes fueron determinados por medio de pruebas de bombeo y/o estimados a partir de las capacidades específicas y de los cortes geológicos de los pozos.

Las pruebas de bombeo realizadas fueron 10 y de corta duración, 5 a 8 horas y, en general, constaron de 2 etapas: una de abatimiento y otra de recuperación. En ellas, las observaciones se limitaron al pozo de bombeo, por falta de pozos de observación. El comportamiento del nivel de bombeo se graficó in situ, para orientar la continuación de las pruebas.

TRANSMISIVIDAD.- Entre menos de **0.2×10^{-3}** y poco más de **11×10^{-3}** m²/s varía el coeficiente de transmisividad en la zona; (P. Antares, S. A. de C.V.), la distribución estadística de 48 valores de transmisividad y caudal específico; también, puede observarse que cerca del 80% de la muestra corresponde a valores menores que **3×10^{-3} m²/s** considerando la estimación media de transmisividad y un espesor promedio de 300 m, resulta un coeficiente de permeabilidad medio del orden de **1×10^{-3} m²/s** que es compatible con los depósitos lacustres que forman el relleno acuífero.

La transmisividad del acuífero decrece hacia las partes bajas de la cuenca, donde es menor que **0.5×10^{-3} m²/s**, probablemente debido al aumento de sedimentos de grano fino.

Los valores mayores que **10×10^{-3} m²/s** son raros y se presentan en las porciones altas de los valles, asociados con pozos perforados en rocas basálticas, con alto grado de fracturamiento.

Caudal específico: Para obtener información complementaria de la distribución espacial del coeficiente de transmisividad, se utilizaron los datos relativos al caudal específico de los pozos (Qe), definido como el cociente del gasto de bombeo y el abatimiento que provoca en el interior del pozo. Su valor decrece al aumentar el gasto y el tiempo de bombeo, y es directamente proporcional a aquella propiedad del acuífero.

La relación entre la transmisividad y el caudal específico depende del sistema de flujo de que se trate; en el caso de Theis - Jacob, para efectos prácticos, la relación se reduce a:

$$T = 10^{-3} Qe$$

Si la transmisividad se expresa en m²/s y el caudal específico en lps/m.

Para aplicar este método indirecto, en el censo se aforó el gasto y se midió el abatimiento de los pozos que estaban operando; adicionalmente, se recopilaron los datos consignados en estudios anteriores.

Como resultado, se dedujo que los valores de Q que varían en el rango **0.1 a 13 lps/m**, con distribución espacial similar a la de la transmisividad; decrecen hacia las porciones planas de la cuenca; los más altos corresponden a pozos ubicados al norte del poblado de La Begoña, y los más bajos, a pozos emplazados al oriente de la localidad de San Luis de la Paz y al Sur del poblado de Dr. Mora.

COEFICIENTE DE ALMACENAMIENTO

Respecto al coeficiente de almacenamiento del acuífero, es muy escasa, ya que, por falta de pozos de observación, las pruebas de bombeo no permitieron cuantificar; además los valores obtenidos mediante pruebas de horas o días de duración, no suelen ser representativos del comportamiento del acuífero para tiempos de meses o años.

Por tal motivo, el coeficiente de almacenamiento regional tuvo que ser estimado con base en otras características hidrogeológicas de las rocas que conforman el acuífero.

Al considerar que, en la mayor parte de la zona de Laguna Seca, predominan en el relleno los clásticos de grano medio a grueso, para fines de manejo y simulación a largo plazo se supone que el acuífero se comporta libre y, por tanto, que su coeficiente de almacenamiento es equivalente a su rendimiento específico cantidad de agua que puede ceder a tomar un material por unidad de volumen, cuando el nivel freático desciende o asciende una unidad. El rendimiento específico de los materiales de grano medio varía de **0.1 a 0.6**.

Los valores de la transmisividad y caudal específico de los pozos revelan que se trata de un acuífero de capacidad transmisora media, derivada de la buena permeabilidad y gran espesor de los depósitos lacustres que lo constituyen.

5.3 Piezometría

Para cada uno de los acuíferos de San Luis de la Paz, San Diego de la Unión, Dr. Mora, San José Iturbide y Laguna Seca, existe una red piezométrica con datos a partir de 1976. Se hicieron dos recorridos de observaciones piezométricas adicionales a la obtenida en el censo, seleccionando los meses de diciembre de 1981 y junio de 1982.

En el caso del acuífero de la Laguna Seca el último recorrido piezométrico fue en los meses de septiembre de 1996 y marzo de 1997 por Cirrus, S. A. de C. V. El acuífero de la Laguna Seca se encuentra severamente sobre explotado.

5.4 Comportamiento hidráulico

5.4.1 Profundidad del nivel estático

En la zona en cuestión, la profundidad a los niveles estáticos varía entre 20 y más de 140 m; es controlada por la configuración topográfica y por la extracción de los pozos.

En la parte norte de la zona que nos ocupa, al norte del cerro El Terrero y al occidente de la localidad San Luis de la Paz, se encuentran los valores mayores de profundidad, que van de 110 a 140 m; esto, producto del fuerte bombeo y el gran número de pozos concentrados en esas áreas.

Hacia las franjas montañosas, la profundidad al nivel del agua se define, en general por la curva de 100, relacionada con su topografía.

Los niveles más someros se localizan en la parte suroriental, en los alrededores del poblado El Capulín, con valores de poco menos de 20, registrados en las únicas norias de la zona de estudio, que posiblemente estén captando el agua de un paquete reducido de aluvión, confinado en su parte inferior por riolitas, que funciona como acuífero “colgado”.

La resultante de las cargas hidráulicas existentes en el espesor captado por el cedazo de los mismos son los niveles de agua registrados en los pozos.

5.4.2 Elevación del nivel estático

La configuración de los niveles estáticos del agua subterránea correspondiente al mes de septiembre de 1996, contenida en el cuadro No. 14, e ilustrada en el plano No. 7, (P. Antares, S. A. de C.V.) mediante curvas de igual elevación, referidas al nivel medio del mar (msnm), se trazó con base en las elevaciones del nivel estático de pozos, cuya cota de brocal es conocida, y que fue obtenida tanto en este estudio como en trabajos anteriores, apoyo altimétrico complementario se obtuvo de las cartas topográficas.

De la interpretación de las configuraciones se deduce lo siguiente; el flujo subterráneo refleja dos direcciones, una de sureste–noreste y otra de norte a sur.

En el plano referido, puede observarse que la carga hidráulica varía en la zona de 2,020 a 1,860 msnm; en general, decrece de las partes altas de la Laguna Seca hacia las áreas central y suroriental de la misma.

La configuración muestra depresiones piezométricas provocadas por el bombeo como en el área ubicada entre el cerro El Terrero y la Sierra de Pozos y entre las presas El Carrizal y La Cebada.

Por su litología y estructura geológica, los macizos montañosos que se levantan en las porciones central y sur de la zona de interés – Sierra de Pozos y Cerro El Guajolote, respectivamente, funcionan como una barrera al flujo de agua subterránea.

Por otro lado, (P. Antares, S. A. de C. V.), la configuración del nivel del agua, en el año de 1970, donde la dirección del agua subterránea es muy similar a la actual, con la diferencia que no existían las depresiones de los niveles de agua que actualmente contiene la zona de interés. En condiciones originales, había una salida del agua subterránea hacia la zona geohidrológica del río La Laja, a través del tiempo, ha sido interceptada por el bombeo de los pozos ahí contenidos. Los valores de las curvas eran de 2,080 a 1,920 msnm.

5.4.3 Evolución del nivel estático

Con base en los datos piezométricos obtenidos en estudios previos, se trazaron curvas de igual evolución para diferentes intervalos de tiempo. Específicamente, en la representación correspondiente al lapso 1981 – 1996, (P. Antares, S. A. de C. V.), se observan abatimientos de 20 m en los flancos montañosos y 40 m en las inmediaciones de las presas El Carrizal y La Cebada.

Por otra parte, en la porción occidental de la zona, entre el cerro El Terrero y el cerro Guerrero, se observa una depresión de 50 m. Asociada a la concentración excesiva de pozos y a la ausencia de zonas de recarga importantes.

Para definir cómo han evolucionado los niveles de agua, en fechas anteriores, se presentó el problema de la correspondencia entre los pozos observados en fechas previas y los censados en este trabajo, por otra parte, se dispuso de representaciones piezométricas gráficas de años precedentes, sin contar con sus respectivos valores de apoyo. Consecuentemente, no se pudieron deducir los cambios de nivel correspondiente a pozos específicos.

En este caso, el método de superposición de curvas (de igual profundidad o igual elevación), para determinar gráficamente los cambios, no es confiable, por un lado, porque hay diferencias de apoyo piezométrico y/o de criterio de interpolación en el trazo de las curvas correspondientes a las diferentes fechas, y por otro, a que el intervalo entre curvas lo amplió (20 o más metros).

En vista de lo anterior, para definir la evolución de los niveles de agua en el espacio de registro (1981 – 1996), se compararon los valores de las curvas de igual profundidad correspondientes a los años inicial y final, sólo en las áreas donde ambas representaciones tienen mayor apoyo – los resultados así obtenidos (P. Antares, S. A. de C. V.) indican que en el lapso referido se detectaron abatimientos de 20 a 40 m en el área de San José Iturbide y Dr. Mora y, de 20 a 50 m en la porción noroccidental de la zona estudiada.

5.5 Hidrogeoquímica y calidad del agua subterránea

A partir de los resultados de los análisis de laboratorio realizados se determinaron las características físico químicas del agua en el subsuelo de la zona de interés, mismas que se describen en el primer inciso; posteriormente, estas fueron interpretadas con criterio hidrogeoquímico, como se indica en el segundo apartado.

Finalmente, en el apartado tres, se presentan algunas consideraciones respecto a la calidad del agua, en relación con los principales usos y, en el último apartado, se presentan conclusiones generales respecto a la contaminación del recurso.

Características físico-químicas del agua. - En este inciso se describen las características físicoquímicas del agua, con apoyo en los resultados de los análisis de laboratorio efectuados a las muestras de agua obtenidas en las captaciones previamente seleccionadas.

Sólidos totales disueltos (STD).- Como un indicador general de la calidad del agua funciona la salinidad total, expresada en términos de su contenido de sólidos totales disueltos o de su conductividad eléctrica. En el subsuelo de la zona en cuestión, la salinidad del agua varía entre menos de 300 y más de 500 partes por millón (ppm). Tiene una tendencia creciente en general de las áreas montañosas hacia las bajas de los valles. Las zonas con menores concentraciones, se encuentran en la porción sur de la zona de estudio. Con cálculo promedio de 300 ppm, coincidiendo estas con las zonas de recarga del acuífero, las concentraciones aumentan de los poblados de San José Iturbide y Dr. Mora hacia la porción occidental, alcanzando valores de 500 ppm.

Concentración iónica. - Con el objeto de obtener de una forma rápida e ilustrada, los diferentes tipos o familias de aguas, de acuerdo al catión y anión predominante, se utilizó el diagrama de Piper, el cual consta de dos triángulos equiláteros y un rombo central. En el triángulo de la izquierda se dibujan, en porcentaje de miliequivalentes/litro (me/l), los principales cationes y, en el triángulo de la derecha, los principales aniones, en los vértices de estos triángulos se definen aguas cálcicas, magnésicas y bicarbonatadas.

Se muestran los diagramas de Piper correspondientes a las muestras de agua obtenidas y analizadas como parte del presente estudio. Puede observarse que los tipos más comunes de agua son mixto bicarbonatada y bicarbonatada – sódicas.

Bicarbonato. - Las curvas de igual contenido de bicarbonato disuelto (P. Antares, S. A. de C. V.), presentan una concentración de variaciones espaciales que van de 200 a 400 ppm. Los valores más bajos se localizan en la porción oriental de la cuenca, cerca de las zonas de recarga, en las inmediaciones de los poblados San José Iturbide, Begoña y Dr. Mora; los valores más altos de bicarbonato aparecen en la porción de la zona de estudio, con valores de 300 a 400 ppm.

Sodio. - El sodio disuelto en el agua subterránea de Laguna Seca alcanza valores de 20 a 100 ppm; tiene una distribución semejante a la del bicarbonato, ya que los valores menores se presentan en la porción sur de la cuenca, a la altura de la comunidad Buena Vistilla y va creciendo hacia la porción norte donde alcanza los valores máximos de 80 a 100 ppm.

Aspectos hidrogeoquímicos. - Al ser correlacionadas las características físico - químicas del agua con el marco geológico regional, se puede deducir lo siguiente:

a) Debido a que el recorrido del agua subterránea, dentro de la cuenca, es relativamente corta, no se acumulan grandes concentraciones de STD; por otra parte, las zonas de recarga están constituidas por rocas fracturadas, de tal forma que existe un contacto menos íntimo entre la roca y el agua, por lo tanto, el aporte de sales es menor o más lento.

b) El procedimiento del anión bicarbonato en el agua subterránea, confirma que se trata de un agua recientemente filtrada, ya que este elemento procede de CO₂ atmosférico o del subsuelo.

Otra fuente es la disolución de las calizas ayudada con el CO₂ y/o ácidos naturales. En este caso se presenta en la Sierra de Pozos, constituida por calizas; el agua ahí muestreada presenta los valores más altos del bicarbonato.

c) El sodio proviene de la disolución de la mayoría de las rocas y los suelos. Se encuentra también en salmueras, agua de mar, desperdicios industriales y drenajes. Grandes combinaciones con el cloro producen un sabor salado. Así mismo, cantidades fuertes limitan el uso del agua para la agricultura.

La calidad del agua en relación con su uso.- Al ser referidas las características químicas y bacteriológicas del agua a las normas correspondientes a los usos a que se destina, se define la calidad del agua.

Uso agrícola. - Para conocer la calidad del agua con respecto al uso agrícola, se utilizó la clasificación de WILCOX, en la cual, por medio de la conductividad eléctrica (CE) y en la relación de absorción del sodio (RAS) se obtiene la clase de agua para riego. Los valores de CE y RAS, son graficados en el monograma de clasificación obteniéndose de esta manera, la clase de agua para riego, en ellas se interpreta que los tipos dominantes son C₂ – S₁. Con base a la clasificación se concluye que, en términos generales, el agua subterránea es apta para la agricultura en la zona de la Laguna Seca.

Consumo humano y doméstico. - De acuerdo a las normas mexicanas de calidad para agua potable, se considera agua potable a toda aquella cuya ingestión no cause efectos nocivos a la salud, será inodora y de sabor y temperatura agradables, además, deberá corresponder a los valores permisibles. De no poderse cumplir con las condiciones anteriores, se admitirán aquellos caracteres físicos que sean tolerables para los usuarios, siempre que no sean resultado de restricciones objetables desde el punto de vista bacteriológico y químico.

Desde el punto de vista bacteriológico, el agua está libre de gérmenes patógenos procedentes de la contaminación fecal humana.

Se considera que un agua está libre de estos gérmenes cuando la investigación bacteriológica de cómo resultado final: Menos de (20) organismos de los grupos coli y coliforme por litro muestra; Menos de doscientos (200) colonias bacterianas por centímetro cúbico de muestra.

A excepción de los pozos agrícolas marcados con los números: 15, 131. 902 y 1138, que rebasan el contenido permitido de bicarbonato, se concluye que el agua extraída por las captaciones muestreadas es apta para consumo humano, desde el punto de vista físico – químico.

Abrevadero.- El agua usada en granjas y ranchos ganaderos, normalmente debe cumplir con los mismos requisitos que el agua potable.

Industrial.- La clase de agua requerida para la industria depende del tipo de instalaciones utilizadas.

Una forma rápida de catalogar el tipo de agua para la industria es conociendo su dureza. Esta, normalmente se reporta en concentraciones de carbonato de calcio (CaCO_3).

Contaminación del agua subterránea. - Se evaluó de manera simplificada, la vulnerabilidad del acuífero a la contaminación, de acuerdo a la metodología establecida por la organización panamericana de la salud. Una forma científica de evaluar la vulnerabilidad de un acuífero a la contaminación sería tratar cada contaminante (nutrientes), patógenos, metales pesados individualmente, sin embargo, en nuestro país y toda América Latina no existe información suficiente para alcanzar este objetivo.

En consecuencia, se han desarrollado métodos simplificados basados en datos disponibles o fácilmente cuantificables tales como:

- a) Profundidad al nivel freático o al techo del acuífero confinado.
- b) El tipo de acuífero.
- c) Las características, en términos de litología y grado de consolidación, de los estratos encima de la zona saturada.

Considerando los factores anteriores, la organización panamericana de la salud (O.P.S.) ha desarrollado una manera empírica que involucra la indexación de estos parámetros en las tres fases distintas de estos parámetros en las tres fases distintas.

Una vez evaluado los componentes anteriores, se obtendrá el producto de los índices, el cual representa, en términos cuantitativos, la vulnerabilidad del acuífero a la contaminación:

En este caso se aplicó dicho método, haciendo las consideraciones subsecuentes.

A escala regional. El acuífero es de tipo libre en toda la cuenca.

El acuífero está constituido, en su mayoría, por material granular y tobas volcánicas.

La profundidad a los niveles del agua se obtuvo de las mediciones realizadas en el presente estudio.

Existiendo dos zonas que presentan mayor riesgo la primera se encuentra al noreste de San José Iturbide y la otra al sur del mismo; la alta vulnerabilidad se asocia con la escasa profundidad al nivel freático – menos de 20 m y la presencia de materiales granulares, de alta permeabilidad, que constituyen la zona no saturada.

La vulnerabilidad del acuífero decrece hacia la porción occidental, en proporción directa con la profundidad al nivel del agua subterránea. Es moderada en la zona de Dr. Mora, San José Iturbide y Begoña, y baja, en toda la porción centro y norte de la cuenca.

6. CENSO DE APROVECHAMIENTO E HIDROMETRÍA

El último recorrido que se hizo fue en el año de 1996, se censaron 1,411 captaciones de agua subterránea, dentro de la zona considerada, de las cuales son 1,377 pozos y 34 norias. De los cuales 1,050 son aprovechamientos activos y 361 inactivos.

El análisis del censo reveló la existencia de 1,050 aprovechamientos activos y 361 inactivos.

A partir de los datos recabados en el censo de captaciones, fue estimada la extracción actual. El resultado de la estimación indica que en la zona se extraen en total 398 millones de metros cúbicos por año ($\text{hm}^3/\text{año}$), distribuidos de la siguiente forma: sector agropecuario demanda $381 \text{ hm}^3/\text{año}$, es decir el 96% de la extracción total; enseguida, el público urbano $14 \text{ hm}^3/\text{año}$, el uso doméstico y abrevadero con $2 \text{ hm}^3/\text{año}$, y finalmente, el industrial con $1 \text{ hm}^3/\text{año}$.

En lo que al bombeo de los pozos agrícolas se refiere, este se estimó con base en datos de caudales y tiempos de operación aportados por los usuarios; la mayoría de los gastos fueron aforados durante la inspección del aprovechamiento; como complemento, se utilizó información de superficie y láminas de riego.

7. BALANCE DE AGUAS SUBTERRÁNEAS

Para evaluar la potencialidad del acuífero se utiliza el balance de aguas subterráneas. Este método consiste en medir o estimar, durante un intervalo de tiempo seleccionado, las descargas naturales o artificiales; cubicar el cambio de almacenamiento subterráneo en el mismo intervalo y, deducir la recarga respectiva, considerándola como una incógnita en la ecuación de balance, que expresada su forma más simple:

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

La recarga está integrada por los siguientes parámetros:

E_h = Recarga por flujo subterráneo horizontal –La cuantificación del flujo subterráneo fue de la siguiente manera:

Cuantificación del flujo subterráneo

Tabla 2. Cálculo de entradas por flujo subterráneo

CELDA	LARGO (km) L	ANCHO (km) B	GRADIANTE HIDRAULICO	TRANSMISIVIDAD (m ³ /s)	CAUDAL m ³ /s	VOLUMEN (Mm ³ /año)
1	2000	15500	0.005	1 X 10 ⁻³	0.078	2.4
2	3500	6500	0.006	5 X 10 ⁻³	0.186	5.9
3	1500	8000	0.013	1 X 10 ⁻³	0.107	3.4
4	2250	7000	0.009	3 X 10 ⁻³	0.187	5.9

El volumen que entra subterráneamente al acuífero es del orden de 280 hm³, en el periodo analizado.

Recarga vertical (Rv)

Y en la descarga se consideran las subsecuentes variables:

S_h = Salidas por flujo subterráneo horizontal

D_m = Descargas por manantiales

ETR = Evapotranspiración

B = Extracción por bombeo

Para evaluar la recarga del acuífero de Laguna Seca, se realizaron las consideraciones subsiguientes:

Con objeto de obtener un dato más representativo de la recarga, a largo plazo, se seleccionó el periodo 1981-1996, para el balance de aguas subterráneas.

Las entradas subterráneas fueron únicamente de 280 millones de metros cúbicos, en el periodo analizado.

La elevación del nivel estático promedio, para el periodo en cuestión, no muestra salidas subterráneas hacia cuencas vecinas. Ya que no hay manantiales ni corrientes perennes dentro de la cuenca, se confirma que no hay descargas naturales del acuífero.

Por la profundidad a la que se encuentran los niveles del agua subterránea, se infiere, que desde hace varias décadas dejaron de existir salidas por Evapotranspiración; por lo tanto, no serán consideradas.

Con la información recabada del presente estudio y de trabajos previos, se estableció la extracción por bombeo, resultando de 4,210 hm³ para el periodo de 16 años, con una media aritmética de **263.12 hm³**.

Del plano de evolución del nivel estático 1981-1996, se calculó el cambio de almacenamiento, considerando un coeficiente de almacenamiento medio de 0.06, dando como resultado **2,152 hm³**.

Tomando en cuenta las consideraciones anteriores, la ecuación de balance (7) se reduce a la posterior expresión:

$$R_v = B - E_s + \Delta v \quad (7)$$

Donde:

R_v = Recarga vertical,

B = Bombeo,

E_h = Recarga por flujo subterráneo horizontal

Δv = Cambio de almacenamiento en el periodo analizado (16 años)

Es decir que:

$$B_{16} = 4,210.0 \text{ hm}^3$$

$$E_{h16} = 280.5 \text{ hm}^3$$

$$\Delta v_{16} = -2152.0 \text{ hm}^3.$$

Sustituyendo los valores en la ecuación (7), la recarga vertical media es:

$$R_{v16} = 110.9 \text{ hm}^3/\text{año}$$

La recarga de 110.9 hm³/año comparada con el bombeo medio en la zona, determina que existe un déficit de agua de 152 hm³/año (media de 16 años), y al ser comparada con la extracción de 1996, muestra que el déficit es de 287 hm³. (Censo de 1996) Todo ello indica que el acuífero de Laguna Seca está tomando agua de su almacenamiento.

La posición geográfica del acuífero de la Laguna Seca es una de las causas principales de su deterioro acelerado, pues al estar en el parteaguas de la vertiente del Golfo y del Pacífico, las posibilidades de recarga, a través del flujo subterráneo, son insignificantes; la precipitación pluvial es muy reducida, siendo la más baja del estado; además de tener un área de captación muy limitada. Estos factores conjugados con el bombeo "indiscriminado", han traído como consecuencia el abatimiento de los niveles del agua, con un promedio de 2 metros por año y, a su vez, pozos con gasto y rendimiento mermados y costos elevados de bombeo.

8. DISPONIBILIDAD

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

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

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, corresponde con la suma de todos volúmenes que ingresan al acuífero, en forma de recarga natural más la recarga inducida, que para el acuífero Laguna Seca es de **128.5 millones de metros cúbicos por año** (hm³/año).

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 de ser sostenidas para no afectar a las unidades hidrogeológicas adyacentes.

Para el acuífero Laguna Seca la descarga natural comprometida se considera prácticamente **nula**. Por lo tanto, **DNC=0.0**.

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 (REPGA), 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 **156,517,710 m³ anuales**, que reporta el Registro Público de Derechos de Agua (REPGA) de la Subdirección General de Administración del Agua, a la fecha de corte del **30 de diciembre de 2022**.

8.4 Disponibilidad 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.

$$\begin{aligned} \text{DMA} &= R - \text{DNC} - \text{VEAS} \\ \text{DMA} &= 128.5 - 0.0 - 156.517710 \\ \text{DMA} &= -28.017710 - \text{hm}^3/\text{año}. \end{aligned}$$

El resultado indica que no existe un volumen disponible para otorgar nuevas concesiones; por el contrario el déficit es **28,017,710 m³ anuales**

9. BIBLIOGRAFÍA

Servicios de Prospección y Levantamientos Geológicos y Geofísicos de la zona San Luis de la Paz, Guanajuato. (Contrato GZA-79-6-ED Estudios Geotécnicos, S. A. Dic. 1979.

Diagnóstico de las Condiciones Geohidrológicas Actuales y de las alternativas de Operación del Acuífero de la Cuenca Alta Río de La Laja, Estado de Guanajuato (Contrato No. CNA-GRLB-034/92) Elaborado por Consultores en Geología, S. A. de C. V.

Actualización del Estudio Geohidrológico de la Cuenca de La Laguna Seca, Guanajuato bajo contrato GAS-011-96 y realizado por Proyectos Antares, S. A. de C. V.