

SUBDIRECCIÓN GENERAL TÉCNICA

GERENCIA DE AGUAS SUBTERRÁNEAS

**ACTUALIZACIÓN DE LA DISPONIBILIDAD MEDIA ANUAL DE
AGUA EN EL ACUÍFERO SAN LUIS POTOSÍ (2411), ESTADO DE
SAN LUIS POTOSÍ**

CIUDAD DE MÉXICO, 2024

Contenido

1. GENERALIDADES	2
Antecedentes.....	2
1.1 Localización.....	2
1.1. Situación administrativa del acuífero.....	4
2. FISIOGRAFÍA.....	4
2.1 Provincia fisiográfica	4
2.2 Clima	4
2.3 Hidrología.....	5
2.4 Geomorfología	5
3. GEOLOGÍA.....	6
3.1 Estratigrafía.....	7
3.2 Geología estructural.....	7
3.3 Geología del subsuelo	8
4. HIDROGEOLOGÍA.....	10
4.1 Tipo de acuífero.....	10
4.2 Parámetros hidráulicos.....	11
4.3 Piezometría.....	13
4.4 Comportamiento hidráulico	13
4.4.1 Profundidad al nivel estático.....	13
4.4.2 Elevación del nivel estático.....	14
4.4.3 Evolución del nivel estático	14
4.5 Hidrogeoquímica y calidad del agua subterránea	15
5. CENSO DE APROVECHAMIENTOS	17
6. BALANCE DE AGUAS SUBTERRANEAS	18
7. DISPONIBILIDAD.....	25
7.1 Recarga total media anual (R)	25
7.2 Descarga natural comprometida (DNC)	25
7.3 Volumen de extracción de aguas subterráneas (VEAS).....	26
7.4 Disponibilidad media anual de agua subterránea (DMA).....	26
8. BIBLIOGRAFIA.....	28

1. GENERALIDADES

Antecedentes

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

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

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

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

1.1 Localización

El acuífero San Luis Potosí, definido con la clave 2411 por la Comisión Nacional del Agua, se localiza en la porción centro-occidental del estado de San Luis Potosí, entre las coordenadas geográficas 21° 56' y 22° 30' de latitud norte y 100° 37' y 101° 12' de longitud oeste, cubriendo una superficie de 2,061 km². Limita al norte con el acuífero Villa de Arista, al noreste con Villa Hidalgo, al sureste con San Nicolás Tolentino y Santa María del Río, al sur con Jaral de Berríos-Villa de Reyes, al suroeste con Villa de Arriaga y al noroeste con el acuífero Aqualulco, todos ellos pertenecientes al estado de San Luis Potosí (figura 1).

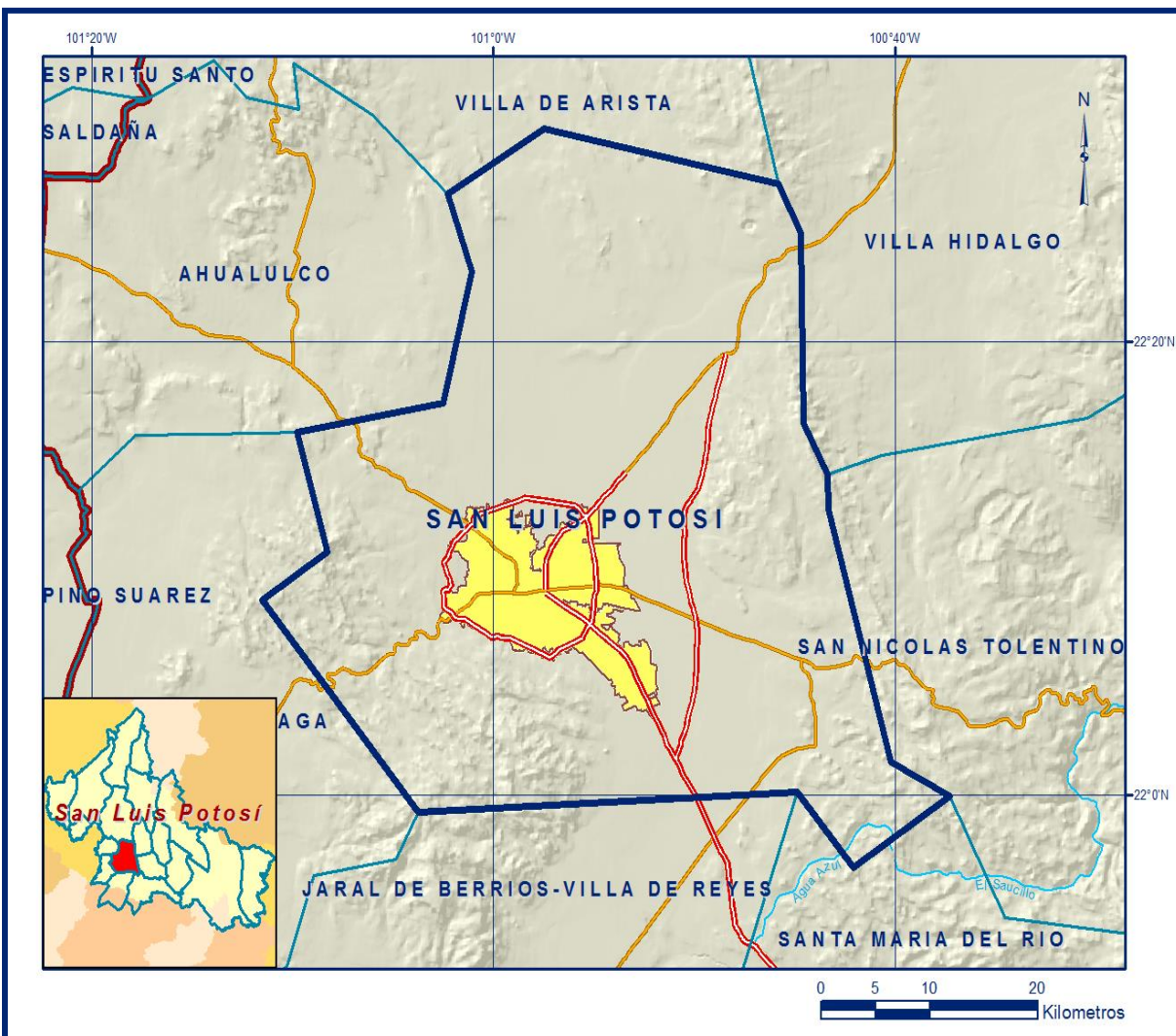


Figura 1. Localización del acuífero

Abarca la totalidad del municipio de Soledad de Graciano Sánchez, la mayor parte de los municipios de San Luis Potosí y Cerro de San Pedro, así como una pequeña fracción de los de Mexquitic de Carmona, Ahualulco y Villa de Zaragoza.

De acuerdo a varios análisis realizados en el Plan Maestro para el Mejoramiento de los Servicios de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento de San Luis Potosí, Soledad de Graciano Sánchez y Cerro de San Pedro, la población estimada para 1999 es de 840,500 habitantes.

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 2411 SAN LUIS POTOSI							
VERTICE	LONGITUD OESTE			LATITUD NORTE			
	GRADOS	MINUTOS	SEGUNDOS	GRADOS	MINUTOS	SEGUNDOS	
1	101	3	43.3	21	59	13.3	
2	101	11	29.1	22	8	35.2	
3	101	8	15.4	22	10	43.4	
4	101	9	47.0	22	16	0.7	
5	101	2	28.0	22	17	17.2	
6	101	1	4.4	22	23	6.4	
7	101	2	15.1	22	26	30.6	
8	100	57	27.1	22	29	24.1	
9	100	45	46.6	22	26	58.5	
10	100	44	41.7	22	24	49.3	
11	100	44	32.3	22	16	25.8	
12	100	43	22.0	22	14	8.9	
13	100	43	18.3	22	12	35.2	
14	100	40	12.7	22	1	26.8	
15	100	37	15.7	21	59	57.9	
16	100	42	3.7	21	56	48.6	
17	100	44	51.6	22	0	6.5	
1	101	3	43.3	21	59	13.3	

1.1. Situación administrativa del acuífero

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

2. FISIOGRAFÍA

2.1 Provincia fisiográfica

La región analizada forma parte de la provincia fisiográfica de la Mesa Central y corresponde a una cuenca endorréica con elevación promedio en la zona del valle de 1840 msnm, la cual queda limitada en su porción occidental, meridional y septentrional por sierras de topografía escarpada de hasta 2700 msnm, y al oriente, con elevaciones de 2200 msnm.

2.2 Clima

De acuerdo con la clasificación de Köppen, modificada por Enriqueta García en 1964 para las condiciones de la República Mexicana, en la mayor superficie del acuífero prevalece el clima semiárido semiseco templado con verano cálido y templado con verano cálido, BSOKw"(e)g y BS1Kw"(e). Para la determinación de las variables climatológicas se utilizó la información de las estaciones climatológicas con influencia en el área del acuífero. Se determinaron los valores medios anuales de precipitación, temperatura y evaporación potencial de **402.6 mm**, **17.5 °C** y **2038.7 mm**, respectivamente.

2.3 Hidrología

La zona geohidrológica de San Luis Potosí se ubica dentro de la Región Hidrológica N° 37 denominada El Salado, caracterizada por cuencas de drenaje endorréico. Corresponde a la Subregión hidrológica N° 37.

La zona geohidrológica comprende la cuenca del río Santiago, su principal colector y se forma a partir de los escurrimientos que proceden de una serie de pequeñas sierras situadas al W y SW de la Ciudad de San Luis Potosí. Sobre él se han construido dos presas para control de avenidas denominadas San José y El Peaje. En la tabla 2 se presentan las obras de aprovechamientos superficiales.

Tabla 2. Aprovechamientos superficiales.

NOMBRE DE LA OBRA	COORDENADAS GEOGRAFICAS		Corriente Superficial	Área Drenada km ²	Cap. en hm ³ del Almacenamiento		Periodo de Construcción
	LONG. (W)	LAT. (N)			INICIAL	ACTUAL	
P. El Peaje	101°05'55"	22°05'30"	A. Grande o Azul	81	8.0	6.65	1949 – 1950
P. San José	101°03'15"	22°09'00"	Río Santiago	265	8.2	4.56	1905
P. El Potosino	101°04'40"	22°05'57"	Río El Potosino	57	0.76	0.76	1985 – 1988
P. A.Obregón (Mexquitic de C.)	101°06'52"	22°16'01"	Río Mexquitic	66	4.0	3.58	1935 – 1939
P. Cañada del Lobo	100°57'59"	22°05'44"	Río Española	13	0.8	0.8	1986 – 1987
P. San Antonio	100°55'52"	22°05'44"	Arroyo S. Antonio	14.5	0.57	0.4	1875
P. San Carlos	100°55'52"	22°03'31"	Arroyo los Palillos	17.4	0.55	0.50	1952
Tanque Tenorio (Aguas Residuales)	100°55'21"	22°02'05"	-----	----	----	----	----

2.4 Geomorfología

Dentro de la zona se distinguen las siguientes topofomas: valle tectónico y sierras de elevación intermedia. El valle tectónico es una depresión rectangular que se prolonga hacia el graben de Villa de Reyes al sur, y Villa de Arista, al norte, está limitado por fallas de gran ángulo de rumbo N-S., se considera que el colapsamiento alcanzó hasta 500 m.

Las sierras de elevación intermedia, al occidente y suroccidente, el valle es bordeado por la Sierra de Alvarez que es un pilar tectónico formado por rocas volcánicas de relieve abrupto a moderado con laderas que tienen inclinaciones entre 15 y 45%, el drenaje es de tipo rectangular.

Al oriente, el valle queda limitado por la Sierra de Álvarez, que es también un pilar tectónico conformado por rocas calcáreas de edad cretácica intensamente plegadas con su eje orientado de NW a SE, el drenaje en esta zona es de tipo dendrítico. Al norte, el valle queda separado de la zona geohidrológica de Villa de Arista por otro pilar vulcano-tectónico denominado Alto “La Melada”.

3. GEOLOGÍA

Existen numerosos trabajos de carácter regional y local que describen los aspectos geológicos del área con diferente grado de detalle. En el presente estudio se intenta efectuar mediante un resumen una descripción general de las características litológicas y estructurales que tienen mayor influencia en el funcionamiento geohidrológico del valle (figura 2).

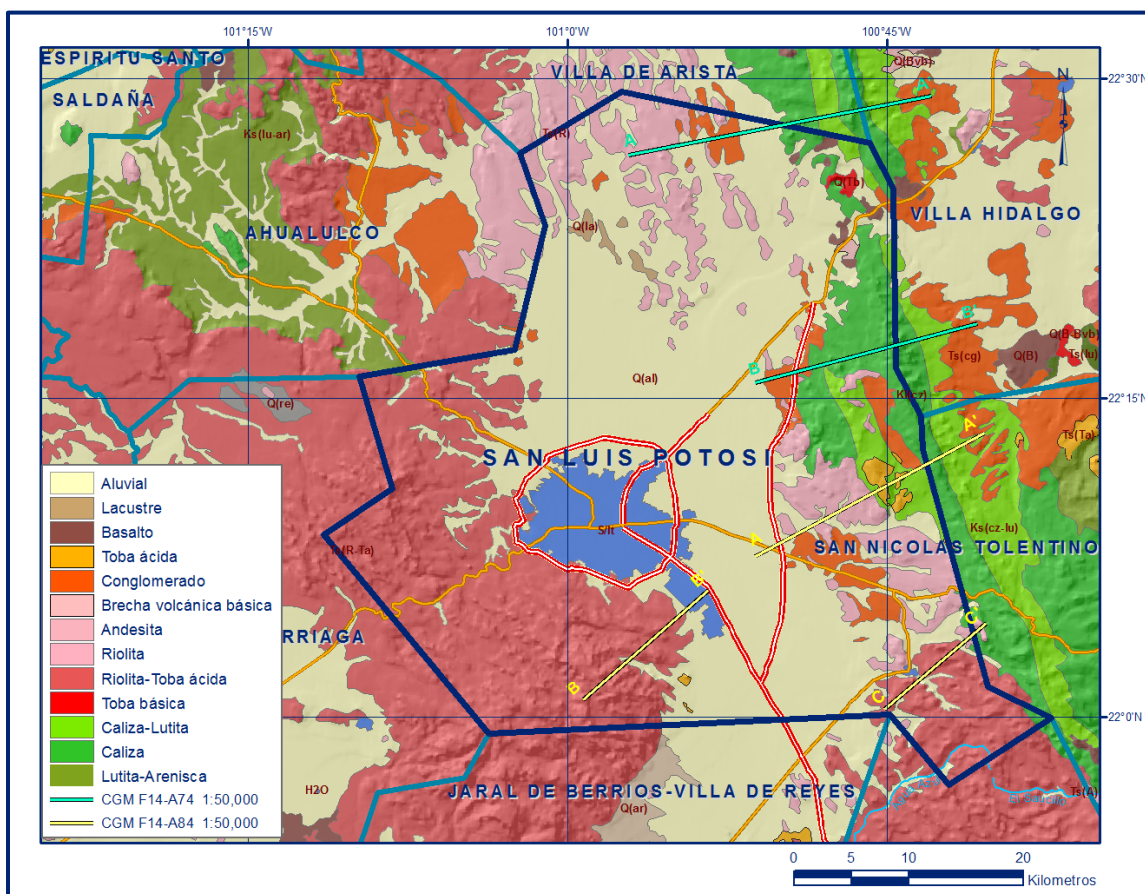


Figura 2. Geología general del acuífero.

El valle de San Luis fue originado por una fosa tectónica limitada por fallas escalonadas de gran ángulo, con rumbo preferencial N-S, la cual fue rellenada por sedimentos aluviales, lacustres y material piroclástico; la emisión de esta última no modificó las características principales del relieve, persistiendo las cuencas hidrográficas formadas a principios del Terciario.

El zócalo rocoso es formado por derrames lávicos y/o ignimbritas de edad terciaria (Latita Portezuelo, y/o Ignimbrita Cantera).

3.1 Estratigrafía

Las rocas que conforman las sierras que bordean al valle, son predominantemente de tipo efusivo de edad terciaria y material piroclástico que incluye ignimbritas, tobas y brechas de composición riolítica. Alcanzan su máxima expresión en la porción central y suroeste de la Sierra de San Miguelito que constituye el límite occidental de la cuenca.

Esta secuencia cubre a rocas sedimentarias marinas del Cretácico superior (Formaciones Caracol, Soyatal y Cárdenas), las cuales se hallan expuestas únicamente en la frontera oriental (Cerro de San Pedro) y en algunos pequeños afloramientos, en forma de lomeríos al noreste del valle, que a su vez sobreyacen a calizas del Cretácico inferior (Formaciones Cuesta del Cura y La Peña), también expuestas en la margen oriental del valle.

La tectónica cortante se manifiesta por fallas longitudinales que constituyen un sistema con orientación preferencial N40°W así como uno normal al anterior que originaron pilares y fosas tectónicas.

Basados en cortes litológicos de pozos y exploraciones geofísicas se asigna un espesor a los materiales granulares que rellenan el graben de 50 a 300 m, con la mayor potencia en el centro del valle, en tanto que el espesor del material volcánico fluctúa entre 400 y 500m.

3.2 Geología estructural

El valle de San Luis corresponde con una fosa tectónica limitada por fallas normales escalonadas de gran ángulo, con rumbo preferencial N-S, la cual fue rellenada por sedimentos aluviales, lacustres y material piroclástico (tabla 3).

Tabla 3. Estratigrafía del acuífero.

EDAD	NOMBRE	DESCRIPCION	COMPORTAMIENTO
Q	Aluvión (Qal)	Materiales heterogéneos, arenas, gravas, limos con basaltos intercalados.	Impermeable
	Sedimentos lacustres (Ql)	Lentes de material fino, de mayor espesor en el centro del valle	Acuitardo
	Basaltos las Joyas (Qbj)	Aflora en la porción NE de la zona.	Drenados
T E R C I R I O	Basaltos Cabras (Tbc)	Pequeños afloramientos al W de la zona	Drenados
	Riolita Panalillo (Tap)	Incluye 3 miembros: El superior e intermedio compacto y tobáceo. El inferior es conglomerático .	Impermeable los miembros superior e intermedio. Miembro inferior y en zonas fracturadas se comporta como acuífero
	Ignimbrita Cantera (Tic)	Aflora en la zona SW del valle en la Sierra San Miguelito.	Impermeable. Eventualmente permeable en zonas fracturadas.
	Riolita San Miguelito (Tsm)	Aflora en la zona meridional del valle en la Sierra San Miguelito.	Impermeable
	Latita Portezuelo (Tlp)	Aflora en la porción suroriental del valle.	Acuífero termal en zonas fracturadas. Generalmente los primeros 100 m son impermeables (Fracturas selladas).
	Formación Cenicera (Tc)	Aflora en la porción suroriental del valle	Horizonte permeable de muy baja potencia.
C R E T A C I C O	Formación Cárdenas (Kcd)	Aflora en el flanco N-E del anticlinal de la S. de Alvarez	Forma una barrera impermeable y piso rocoso del acuífero.
	Formación Soyatal (Kss)	Aflora en el flanco N-E del anticlinal de la S. de Alvarez	Forma una barrera impermeable.
	Formación Indidura (Ksi)	Aflora en el flanco N-E del anticlinal de la S. de Alvarez	Forma una barrera impermeable.
	Formación Doctor (Kid)	Aflora en el flanco N-W del anticlinal de la S. de Alvarez	Está rodeada por unidades impermeable.
	Formación Cuesta del Cura (Kcc)	Aflora en el núcleo del anticlinal de la S. de Alvarez y C° de San Pedro	Forma una barrera impermeable.
	Formación La Peña (Kip)	Aflora en el núcleo del anticlinal de la S. de Alvarez y C° de San Pedro	Forma una barrera impermeable.

3.3 Geología del subsuelo

Las rocas ígneas se distribuyen en la mayor parte del subsuelo del valle de San Luis Potosí. Las rocas ígneas no actúan generalmente como confinantes, presentando en sus exposiciones un sistema de fracturamiento vertical bien desarrollado, característica que debe mantener en el subsuelo, además de un sistema de fracturas horizontales, normal al primero, que le permite actuar como acuífero. En la tabla 4 se muestran los estudios geofísicos realizados en el área del acuífero estudiada.

Tabla 4. Estudios geofísicos realizados en el área de estudio.

Institución / Año	Método empleado	Zona estudiada	Unidades geoelectricas	Comentarios sobre los resultados
Consultores, S.A. (1977)	Arreglo Wenner	6 perfiles con 48 SEV en total:	Se definen 3 unidades resistivas:	* Interpretación de tipo cualitativa por el método empleado
		1.- Cd. de San Luis Potosí (N-S).	• Capa superficial de aluvión.	* La UASLP, menciona que los cortes de los pozos que sirvieron de apoyo no concuerdan con los hechos por la SARH.
		2.- Ojo Zarco (Nw-SE).	• Secuencia de r. volcánicas.	
		3.- Cándido Navarro (E-w).	• Rocas volcánicas y sedimentarias fracturadas.	
		4.- Palma de la Cruz (NE-Sw).		
		5.- La Libertad (E-w).		
		6.- El Jaralito (Nw-SE).		
Tecnología y Sistemas (1984)		2 secciones en la porción meridional del valle de San Luis, cerca de los límites con el de Villa de Reyes	Se determinan 5 unidades geoelectricas, las 3 más superficiales se correlacionaron con el relleno, con espesores conjuntos de 100 a 470 m; y las dos inferiores con rocas ígneas a las que se les confirió por sus propiedades acuíferas.	• Se infiere un espesor de los materiales de relleno de 400 m.
UASLP (1986)		5 perfiles orientados 4 de ellos E-w, cortando transversalmente el valle, y otro orientado N-S, con 26 SEV's en total (separados estos últimos 2 km entre sí):	Se definen 4 unidades geoelectricas descritas enseguida:	
			• U1: Aluvión y relleno granular reciente, con valores resistivos de 40 a 450 Ω m, con predominio de valores altos, por la ausencia de un electrolito conductor; a profundidad muestra una reducción en el rango de las resistividades (15-50 Ω probablemente por efecto de la saturación. El espesor de estos materiales es de 200 m en promedio, 600 m máximo.	
			• U2: presenta resistividades bajas a medias (15-50 Ω y se correlaciona con rocas ígneas muy alteradas y fracturadas, en ocasiones no diferenciable del Aluvión.	
	Tetraelectrónico tipo Schlumberger, con potencia suficiente para investigar hasta los 1500 a 2000 m de profundidad			
			• U3: Propiedades resistivas similares a U2, de acuerdo al apoyo de cortes litológicos se asocia a depósitos piroclásticos de poca cohesión.	
			• U4: Resistividad comparativamente mayor, si bien es muy heterogénea (75-500 Ω m). Se asocia a rocas riolíticas muy heterogéneas y fracturadas. Los valores altos son poco frecuentes, atribuible al intenso fracturamiento y, en menor grado, a la alteración que persiste a profundidad.	

Esta apreciación se hace al correlacionar los valores resistivos de los SEV con los cortes de las perforaciones de los pozos que han atravesado estas rocas. Las discordancias entre las diferentes unidades litológicas del paquete ígneo favorecen frecuentemente el flujo horizontal del agua subterránea. Los valores resistivos en materiales aluviales y rocas ígneas alteradas son muy semejantes, no pudiendo establecerse con precisión la diferencia entre estos.

No se detectaron fronteras naturales en el subsuelo que comprueben la independencia geohidrológica de los acuíferos de los valles de San Luis y Villa de Reyes, por el contrario, parece existir un canal de flujo en el subsuelo, constituido por un fallamiento longitudinal. En el valle de San Luis Potosí, el espesor del material aluvial es muy variado, coincidente con las irregularidades del relieve sepultado, alcanza espesores máximos en su porción centro oriental (420 m). Existe un solo acuífero que funciona como libre (en la parte norte) y semiconfinado (ciudad y parte sur).

4. HIDROGEOLOGÍA

4.1 Tipo de acuífero

El acuífero es heterogéneo y anisotrópico tanto en sentido vertical como horizontal; en general de tipo libre a semiconfinado, granular-fracturado con doble porosidad y de continuidad regional entre rocas volcánicas y sedimentarias. Está conformado por dos medios: uno granular y otro fracturado, con interconexión hidráulica entre ellos, constituido, de manera general, en su porción superior por un medio granular compuesto por depósitos aluviales y fluviales de granulometría variable y conglomerados polimícticos, y en su porción inferior por una secuencia de rocas volcánicas, calcáreo-arcillosas y calizas que presentan permeabilidad secundaria por fracturamiento y disolución en el caso de las rocas calcáreas.

El medio volcánico fracturado presenta gran espesor, con marcadas propiedades heterogéneas y anisotrópicas debido al patrón y grado de fracturamiento que determina la ocurrencia y distribución del agua subterránea, afectado en su conjunto por tectonismo, cuyas fallas normales generan un sistema de fosas y pilares tectónicos.

De manera local, la presencia de sedimentos lacustres y rocas arcillosas interestratificadas con rocas calcáreas pueden ocasionar condiciones de semiconfinamiento.

4.2 Parámetros hidráulicos

Se analizaron las pruebas de bombeo del acuífero profundo del Valle de San Luis (tabla 6), efectuadas en varios estudios, considerando que, de acuerdo a los cortes litológicos de los pozos, el acuífero funciona como libre y semiconfinado, teniéndose antecedentes de que, en la etapa inicial de la explotación, existieron zonas donde se encontraba confinado. Los resultados de estas interpretaciones indican que las transmisividades en la zona varían de 5.38×10^{-5} a $3.035 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$.

Tabla 6. Parámetros de las pruebas de bombeo.

Fecha/ Duración	Pozo	R.	N.E. (m)	Q (LPS)	Abatimiento (m)	Prof. (m)	Método	T (m ² /s)	K (m/d)
19/10/84 (390 min)	ZA-381 El Mezquite	1	88.23	9.0	3.72	350	Semiconfinado Theis	9.28×10^{-4}	0.30
29/10/84 (330 min)	416 Tecnológico	1	102.7	10.0	11.52	200	Semiconfinado Theis	2.03×10^{-4}	0.20
22/10/84 (300 min)	ZA-447 La Pila	1	115.43	5.0	12.59	150	Semiconfinado Theis	1.27×10^{-4}	0.30
18/10/86 (480 min)	ZA-605 El Camerón	1	94.71	3.0	6.93	220	Semiconfinado Theis	2.16×10^{-3}	1.4
22/10/84 (360 min)	ZA-700 Emb.AGA	1	92.47	6.0	10.24	250	Semiconfinado Theis	1.57×10^{-4}	0.08
18/10/84 (300 min)	15B-ZA Fracc. Nogalia	1	92.48	16.0	33.61	92.5	Semiconfinado Theis	1.33×10^{-4}	0.07
11/10/84 (600 min)	PNG-2 Los Gómez	1	83.25	6.0	25.02	----	Semiconfinado Theis	5.38×10^{-5}	0.03
16/10/84 (240 min)	ZA-359 Rancho La Palma	1	96.39	23.0	22.55	300	Semiconfinado Theis	3.92×10^{-4}	0.16
13/01/87 (360 min)	1006 Tlaxcala Paisanos	2	119.65	44.0	4.84	-----	Semiconfinado Theis	3.03×10^{-3}	1.04

Actualización de la Disponibilidad de Agua en el Acuífero San Luis Potosí, estado de San Luis Potosí

12/10/84 (480 min)	ACU116 Ejido las Moras	1	80.1	35.8	7.60	250	Theis ac. Libre con corrección de Jacob	1.13×10^{-3}	0.5
13/10/84 (360 min)	ZA-5A Ejido Peñasco	1	71.70	20.0	25.41	200	Semiconfinado Theis	3.19×10^{-4}	0.2
30/10/84 (270 min)	ZA-343 Rancho La Virgen	1	23.0	10.2	2.68	63	Theis ac. Libre con corrección de Jacob	1.72×10^{-3}	3.72
23/10/84 (450 min)	ZA-652 Rancho La Esperanza	1	115.5	12.0	12.08	200	Semiconfinado Theis	3.98×10^{-4}	0.5
20/10/84 (390 min)	ZA-939 Cigarrera La Moderna	1	101.65	20.8	11.52	360	Theis ac. Libre con corrección de Jacob	7.06×10^{-4}	0.23
26/07/77 (480 min)	345 Rancho San Agustín	3	12.93	7.2	6.94	20	Theis ac. Libre con corrección de Jacob	5.37×10^{-4}	6.64
04/09/77 (420 min)	ZA-358 Rancho La Palma	3	21.36	13.71	6.57	70	Theis ac. Libre con corrección de Jacob	5.06×10^{-4}	0.87
12/01/87 (140 min)	ZA-923 Palma de la Cruz	2	102.90	16.0	4.69	-----	Semiconfinado Theis	3.37×10^{-4}	
20/10/77 (270 min)	PFM-1 Palma de la Cruz	3	90.75	12.0	3.39	-----	Semiconfinado Theis	1.14×10^{-4}	
21/09/77 (390 min)	PSLB-12 Ojo de Pinto	3	67.02	23.4	41.32	-----	Semiconfinado Theis	1.25×10^{-4}	
15/09/77 (450 min)	ZA-608 Alimentos Campi	3	96.81	11.5	24.95	-----	Semiconfinado Theis	2.01×10^{-4}	

27/07/77 (450 min)	535 Rancho La Virgen	3	12.55	8.7	24.95	32.0	Theis ac. Libre con corrección de Jacob	1.09x10 ⁻³	
16/07/77 (120 min)	525	3	21.96	5	1.25	-----	Theis ac. Libre con corrección de Jacob	1.23x10 ⁻³	
05/08/77 (420 min)	519 Rancho Valle	3	23.63	9	1.49	-----	Theis ac. Libre con corrección de Jacob	1.07x10 ⁻³	
01/08/77 (420 min)	ZA-438 Granja las Mercedes	3	88.05	35	3.39	-----	Semiconfinado Theis	4.18x10 ⁻³	
31/07/77 (360 min)	416 Tecnologico Regional N°1	3	97.87	9.3	9.91	-----	Semiconfinado Theis	2.05x10 ⁻³	
24/09/87 (390 min)	ZA-396(A) Rancho El Jaralito	3	87.0	9.9	31.56	-----	Semiconfinado Theis	1.8x10 ⁻³	

Realizó: 1.- Tecnología y Sistemas 2.- Laboratorio de Hidráulica de la UASLP 3.- Consultores, S.A.

4.3 Piezometría

La red de monitoreo incluye 74 pozos profundos que interceptan el acuífero profundo. Con los datos obtenidos en 1995 y 1998, tomados en el primer trimestre de cada año durante el período de estiaje, así como con el registro que se tenía hasta 1986, se elaboraron los hidrógrafos correspondientes, para detectar datos erróneos o influenciados por abatimientos residuales. Con los datos validados a partir de los hidrógrafos de pozo, se elaboraron las configuraciones de profundidad, elevación y evolución del nivel estático.

4.4 Comportamiento hidráulico

4.4.1 Profundidad al nivel estático

En general, de enero a marzo de 1998 se observa que la profundidad de niveles es dependiente en forma directa de la magnitud de la explotación local, encontrándose en un rango de 95 a 155 m (existe un dato puntual en el pozo Jacarandas de 180 m).

Los niveles más someros se registraron en los bordes oriental del valle y en la parte norte de la mancha urbana, zonas que presentan la menor densidad de pozos y constituyen áreas con un menor volumen de extracción.

4.4.2 Elevación del nivel estático

La red de flujo original se ha distorsionado por completo presentando en 1998 un patrón de flujo de tipo radial convergente, con líneas de corriente que se dirigen hacia el centro de la mancha urbana. El diferente grado de explotación, ha creado gradientes hidráulicos muy desiguales, siendo notable el observado en la zona de Lomas-Morales, con un valor de 0.02.

Sin embargo, por las características litológicas del acuífero en esta parte, se considera que el flujo subterráneo local no es normal a las curvas isopiezométricas, sino que es controlado estructuralmente por el sistema de fracturas con orientación NW-SE. En la zona de Soledad de Graciano Sánchez, la de menor explotación y por consiguiente la menos deformada, los gradientes son del orden de 0.001; en tanto que en la zona industrial son del orden de 0.01.

4.4.3 Evolución del nivel estático

Se evaluó el período de 1995 al 1998, por ser estos años en los que se contaba con una cantidad mayor de datos de profundidad al nivel estático.

El abatimiento registrado en el nivel estático para el período 1995-1998 se encontró dentro del rango 0.5 a 4.0 m por año, siendo relativamente bajo en la porción septentrional del valle o zona Peñasco, donde se registran descensos de 0.75 a 1.25 m por año, debido a que la concentración de extracciones es menor, predominando los pozos de uso agrícola que por lo general tienen períodos de operación más cortos que los de abastecimiento público. En el resto del valle, los abatimientos varían entre 0.5 y 4.0 m siendo la porción más afectada la zona sur-occidental de la mancha urbana, con descensos de nivel de 3.0 a 4.0 m. En la zona industrial y Villa de Pozos el abatimiento que se ha detectado se encuentra entre 1 y 2 m por año.

Mediante la interpretación de estos registros se observa que las reducciones en el espesor del acuífero fluctúan entre 15 y 35 m en las últimas tres décadas, lo que implica la reducción de las reservas acuíferas, incrementos en los costos operativos.

4.5 Hidrogeoquímica y calidad del agua subterránea

Con base en el análisis de 61 muestras de agua distribuidos en la cuenca de San Luis Potosí, la UASLP (1986) realizó la siguiente caracterización de la química del agua subterránea en los acuíferos de esta zona geohidrológica (tabla 7), empleando para ello los métodos de análisis para aguas de la WPCF en su Laboratorio de Geoquímica de la Facultad de Ingeniería. Los parámetros analizados fueron los siguientes:

Tabla 7. Caracterización de la química del agua subterránea.

Propiedad o parámetro	Significado y método empleado	Resultados
TEMPE-RATURA	El termalismo en esta región se asocia a la circulación a través de rocas volcánicas que contienen elementos radiactivos.	La parte central del valle manifiesta temperaturas normales a ligeramente termales, patentizando mezcla de aguas que fluyen en materiales aluviales y rocas ígneas. Los valores elevados están muy localizados en la zona W y SW de la ciudad, con temperaturas del orden de 35° C, también se detectaron valores de ese orden al NE de la cuenca cerca de sus límites.
CONDUCTIVIDAD ELECTRICA	Capacidad de una sustancia para conducir electricidad, determinada por un conductímetro es una medida de la cantidad de sales disueltas en el agua.	Rango de valores 210 a 490 mmhos/cm
		Valores más bajos (210 mmhos/cm) en el centro del valle. Valores relativamente altos en La Florida y Los Gómez (350 mmhos/cm), en el sur (490 mmhos/cm) y en la zona de la mancha urbana (328 mmhos/cm).
ALCALINIDAD	Mide la capacidad del agua para neutralizar ácidos, se obtuvo por el método de titulación con una solución de HCL 0.05 N.	Las curvas de igual alcalinidad muestran un patrón concéntrico con un mínimo de 60 ppm en Soledad de G.S. incrementándose hacia el N de la cuenca y al suroeste hacia la zona urbana a 150 ppm.
DUREZA	Capacidad del agua para consumir jabón. Efectuada por titulación con EDTA 0.01 M. El agua que contiene una dureza inferior a 50 ppm se considera suave; con 50 a 150 ppm, poco duras; y duras las de contenido mayor a 200 ppm.	Rango de valores entre 40 y 150 ppm de CaCO ₃ .
		Valores mínimos en la zona media del valle, al N de la mancha urbana, incrementando hacia el N hasta 150 ppm.
		En la zona industrial la dureza es de 90 ppm y varía hacia el oriente hasta 120 ppm en el poblado de los Gómez y la Florida.
CO₃-HCO₃	Iones originados por la disolución de CO ₂ atmosférico, materia orgánica o rocas carbonatadas en presencia de CO ₂ y ácidos naturales: Obtenido por titulación con HCL al 0.05N como alcalinidad a la fenoftaleína y alcalinidad al anaranjado de metilo respectivamente. Las concentraciones para agua dulce varían de 50 a 350 ppm, es despreciable cuando el valor es mayor de 8.3.	Varía de 70 a 190 ppm. Se considera debida a la disolución de CO ₂ atmosférico.
		Concentración mínima en la zona de Soledad García Gutiérrez y al NE de la misma, aumentando hacia las zonas urbana e industrial al suroeste y hacia el E de la cuenca hasta 190 ppm. Los contenidos varían hacia el N y S de la zona entre Cándido Navarro-Enrique Estrada y Palma de la Cruz.
Cl	Presente en todas las aguas naturales, su concentración varía	Se asocia a la circulación del agua subterránea a través de rocas ígneas.

	entre 10 a 250 ppm para agua dulce. Determinación realizada por titulación con AgNO ₃ al 0.01 N	<p>Concentración menor de 3.6 ppm en el pozo El Jaralito.</p> <p>La distribución tiene un mínimo en el centro de la cuenca en una zona triangular con vértices en los pozos de Rinconada, el ACU67 de Soledad de G.S., y el ZA1006 al N de la ciudad.</p> <p>Las concentraciones aumentan hacia el N de la cuenca hasta 48 ppm; hacia la zona urbana de San Luis hasta 15 ppm y al E hasta 16 ppm.</p>
SO₄	Proviene de la disolución de yeso o anhidrita, en menor proporción por concentración en el suelo por agua de lluvia. Determinado por turbidimetría con un espectrofotómetro con longitud de onda de 440 nanómetros. Concentración normal para aguas dulces de 2 a 15 ppm.	<p>Existen 2 zonas con ausencia de este ión: una al N y NE de Soledad D.G. y la otra al NE de la cuenca en Cándido Navarro y Pozo de Luna.</p> <p>De la parte oriental de la cuenca hacia Los Gómez los valores aumentan hasta 23 ppm, y del norte de Soledad hacia la mancha urbana de San Luis alcanzan 33 ppm; al igual que otros iones hacia el N de la cuenca se incrementan alcanzando valores de hasta 45 ppm.</p>
Ca-Mg	Sales de solubilidad media a alta, resultado de la disolución de calzas, dolomías ataque a feldespatos y otros silicatos. Le confieren la dureza al agua. Obtenido por titulación con EDTA 0.01 M. Para el agua dulce las concentraciones de Ca van de 10 a 250 ppm; para el Mg de 1 a 100 ppm.	<p>En el valle de San Luis, el ión Ca varía de 7 a 52 ppm.</p> <p>La concentración más baja se presenta en la zona urbana de Soledad y al NW de la misma.</p> <p>Este ión aumenta a 30 ppm hacia la zona industrial y a 20 ppm hacia la zona urbana. Hacia la parte N de la cuenca alcanza valores de 52 ppm.</p> <p>Tiene una distribución muy parecida a la de los HCO₃.</p>
Na-K	Proviene de la alteración de los feldespatos, concentración de agua de lluvia, cambio de bases con arcillas, etc. Determinación realizada con Fotómetro de llama. El Na se encuentra en concentraciones de 150 ppm, y el K, entre 0.1 y 100 ppm.	<p>Varía entre 11.5 y 68 ppm.</p> <p>Los mínimos se presentan en la zona de Soledad D.G. con incrementos hacia la zona urbana hasta 68 ppm</p> <p>Se observa un incremento de NA en la porción S de la cuenca hacia la zona de Jassos, Santa Rita y Villa de Pozos.</p>
F	El Flúor es el más electronegativo de todos los elementos químicos y posee la característica de ser altamente radioactivo. Combinado en forma de fluoruros, el flúor ocupa el 17° lugar en orden de abundancia en la naturaleza, razón por la que no es raro encontrarlo en fuentes de abastecimiento de agua potable, especialmente en provincias volcánicas donde el valor de fondo es más alto. Se halla frecuentemente en concentraciones de 0.1 a 1 ppm, llegando hasta 10 ppm en aguas sódicas, se ha determinado que concentraciones por encima de 1.0 mg/l se encuentran asociadas a la fluorosis dental. En el valle de San Luis Potosí, se tiene detectada una amplia zona del acuífero profundo donde se rebasa el límite permisible de acuerdo a la NOM, las concentraciones de Flúor varían entre 2 y 11 ppm de acuerdo a monitoreos realizados durante 1995 por la CNA, esta zona queda comprendida al sur de la mancha urbana, entre el campo de los pozos termales y la zona industrial, con el valor más elevado en el pozo de Aceros San Luis.	

Con la elaboración de estos diagramas (UASLP,1986) se obtuvieron 3 familias de aguas: Sódicas Bicarbonatadas (en 21 sitios); Mixtas Bicarbonatadas (12 sitios) y Cállicas Bicarbonatadas (2 sitios), que definieron por su distribución espacial 3 dominios. El dominio de las aguas Sódico-Bicarbonatadas localizado hacia el S y SW del valle (Jassos, Villa de pozos, zonas industrial y urbana de S.L.P. y hacia el N de Los Moreno, Maravillas, Rancho Nuevo y El Jaralito. La zona de aguas mixtas, mezcla de aguas cálcicas y sódicas corresponde a una franja angosta en el centro del valle.

Del análisis de los diagramas del Valle de San Luis (UASLP, 1986) se deduce que las aguas de los pozos muestreados corresponden al mismo acuífero (se trata del acuífero profundo), ya que presentan casi en todos los casos características similares.

Los casos en que no ocurre así se atribuyen a la intercepción de aguas del acuífero colgado (superior), las clases más representativas son la sódica bicarbonatada, que ocupa el borde occidental del valle y la cálcica bicarbonatada, hacia el oriente, existiendo una zona de mezcla en la porción central del valle. La escasez de muestras de la familia cálcica se interpreta que es debida al poco o nulo aporte de agua de las calizas.

5. CENSO DE APROVECHAMIENTOS

Durante el período 1995-1996 se efectuó la actualización del censo de aprovechamientos de aguas subterráneas, en el que se tuvo particular empeño en precisar la información respecto a las obras de captación del acuífero inferior, por lo que numerosas norias de uso doméstico no fueron registradas, debido a que su extracción es poco significativa dentro del total. En total, se registraron 866 aprovechamientos subterráneos, de los cuales 453 fueron pozos y 413 norias; 370 pozos se encuentran activos y 83 inactivos; de las norias 282 fueron activas y 131 inactivas.

Las norias proporcionan gastos entre 1 y 14, con 4 lps en promedio, no sosteniendo su caudal, generalmente, por más de 6 horas; el área de mayor potencial de producción con este tipo de obras, es la zona de Soledad de Graciano Sánchez, donde se ubican la mayoría de uso agrícola y pecuario. El caudal de los pozos fluctúa entre menos de 4 lps y 85 lps, y 25 lps en promedio, con variaciones notables de producción entre pozos localizados en una misma área, tanto por factores de índole geohidrológica, como de profundidad de penetración y características constructivas. La cuantificación de los volúmenes extraídos de aguas subterráneas se hizo con base en varios procedimientos y su posterior cotejo para determinar la congruencia de resultados.

El uso público-urbano se estimó con base en aforos pitométricos y volumétricos realizados en los pozos por la empresa DEMM (1998), el uso agrícola fue calculado aplicando láminas de riego de acuerdo al método de Blanney-Criddle para la superficie y tipos de cultivo declarados por los usuarios y comparando con los gastos que aporta cada aprovechamiento, la extracción por los sectores industrial y de servicios se calcularon comparando las declaraciones de pago de derechos contra el régimen de operación consignado en el censo de aprovechamientos; finalmente, el consumo correspondiente a los usos doméstico-abrevadero y pecuario, se calculó considerando las personas, cantidad y especies de animales servidos.

Basados en estas operaciones se estima que la extracción del acuífero asciende a los 125.6 hm³ anuales, aproximadamente, y se encuentra distribuida como se muestra en la tabla 8.

USOS	ACUIFERO SUPERIOR		ACUIFERO INFERIOR		T O T A L E S		
	NO. APROV.	VOL. EXT (hm ³ /año)	NO. APROV.	VOL. EXT (hm ³ /año)	NO. APROV.	VOL. EXT (hm ³ /año)	%
• PUBLICO-URBANO	4	0.03	153	84.389	157	84.419	67.22
• AGRICOLA	158	3.64	122	20.449	280	24.089	19.18
• INDUSTRIAL	5	0.096	49	9.650	54	9.746	7.76
• AGROINDUSTRIAL	3	0.157	1	0.027	4	0.184	0.10
• SERVICIOS	30	0.452	30	5.198	60	5.650	4.49
• PECUARIO	22	0.25	12	0.661	34	0.911	0.7
• DOM-ABREVADERO	51	0.164	0	0	51	0.164	0.1
• MULTIPLES	7	0.174	3	0.235	10	0.409	0.3
• NO ESPECIFICADO	2	0.006	0	0	0	0.006	0
SUBTOTALES	282	4.969	370	120.609	650	125.578	100

Tabla 8. Distribución de la extracción de agua del acuífero.

Como puede apreciarse, el 67% del agua extraída se destina al abasto poblacional, seguido en orden de importancia el uso agrícola (19%), el industrial (casi 8%), servicios (4.5%) y finalmente los usos pecuario y doméstico abrevadero que en conjunto apenas representan el 1.2%. Es notable, también, que el 96% del volumen total es aportado por el acuífero inferior, y solo un 4% proviene del acuífero superior.

6. BALANCE DE AGUAS SUBTERRANEAS

El balance de agua subterránea se planteó en una superficie que corresponde a la zona donde se cuenta con información piezométrica y en la que se localiza la mayoría de los aprovechamientos subterráneos. La diferencia entre la suma total de las

entradas (recarga) y la suma total de las salidas (descarga), representa el volumen de agua perdido o ganado por el almacenamiento del acuífero en el periodo de tiempo establecido. La ecuación general de balance, de acuerdo a la ley de la conservación de la masa es la siguiente:

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

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

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

Haciendo las siguientes consideraciones, en 1972 ambos acuíferos en equilibrio:

Acuífero superior

No existen niveles someros que puedan constituir salidas por evapotranspiración, por lo tanto:

Salidas = bombeo + descarga hacia el acuífero inferior

Bombeo = 5 hm³/año

Descarga hacia el acuífero inferior = Sh = T i a

Donde:

- T** Transmisividad (varía de 0.7 a 6.6 x 10⁻³ m²/s).
- i** Gradiente hidráulico (i = 10/2000 = 0.005)
- a** Ancho de la sección transversal al flujo (a = 7 km)

$$\text{Volumen anual} = Q (365) (86400) = (3.65 \times 10^{-3}) (5 \times 10^{-3}) (7 \times 10^{-3}) (365) (86400)$$

$$\text{Volumen anual} = 4.03 \text{ hm}^3$$

$$\text{Salidas} = B + Sh = 5 \text{ hm}^3/\text{año} + 4.0 \text{ hm}^3/\text{año} = 9.0 \text{ hm}^3/\text{año}$$

$$E = \text{Recarga} = \text{Salidas} = 9.0 \text{ hm}^3/\text{año}$$

Acuífero inferior

Bombeo ≈ Recarga, considerando que en este año se invalida la salida subterránea en su porción sur. (En años anteriores con extracciones ligeramente más pequeñas, persistía esta descarga).

$$R \approx B \approx 30.6 \text{ hm}^3/\text{año}$$

$$\text{Recarga total al sistema} = 9.0 \text{ hm}^3/\text{año} + 30.6 \text{ hm}^3/\text{año} \approx 40 \text{ hm}^3/\text{año}$$

Se considera que la recarga inducida por retornos de riego era del orden de $3 \text{ hm}^3/\text{año}$, en la zona de Peñasco, principal zona agrícola. En el área de Soledad de Graciano Sánchez se considera poco significativa por el pequeño volumen que era utilizado para agricultura y la poca capacidad del acuífero superior para recibir volúmenes adicionales de agua.

Y que en 1999:

- Bombeo en el sistema = $125.6 \text{ hm}^3/\text{año}$
- Bombeo acuífero superior = $5.0 \text{ hm}^3/\text{año}$
- Bombeo acuífero inferior = $120.6 \text{ hm}^3/\text{año}$

Diferencia en volumen de bombeo (1972 – 1998)

- Acuífero superior = $0.0 \text{ hm}^3/\text{año}$
- Acuífero inferior = $90.0 \text{ hm}^3/\text{año}$

A partir de 1970, la perforación de pozos en el valle de San Luis aumenta rápidamente y mediante su construcción se crea una recarga inducida hacia el acuífero inferior a través de los filtros de grava de las captaciones.

Por otra parte, el acuífero superior tiene ingresos de agua adicionales por pérdidas en el sistema de agua potable por retornos de riego de aguas negras, así como por el riego con norias de la zona de Soledad de Graciano Sánchez y pozos en la zona de Peñasco.

$$RR = (\text{Vol. riego de aguas negras}) (CI1) + (\text{Vol. Riego aguas blancas Z. Peñasco}) (CI2) + (\text{Riego en norias}) (CI3) = (58 \times 0.07) + (18 \times 0.07) + (6 \times 0.1) = 4.06 + 1.26 + 0.6 = 5.92 \text{ hm}^3/\text{año}.$$

donde: CI1, CI2 Y CI3 son coeficientes de infiltración.

$$\text{Recarga Vertical} = RV = \text{Precipitación (m)} * \text{Área (m}^2) * CI4 = 0.4 * 165 \times 10^6 * 0.07 = 4.62 \text{ hm}^3/\text{año}.$$

Para evaluar en forma gruesa las fugas en la red del sistema de agua potable, se determinó el volumen requerido para sufragar la demanda de la población, considerando una dotación de 250 lhd y con la cobertura del sistema, se estimó un volumen servido.

Restando el volumen calculado por lecturas de medidores, medición de caudales y regímenes de operación, etc. al primero, se obtiene el volumen de las pérdidas:

Población zona conurbada	≈ 740 000 habitantes (Proyección conteo 1995)
Dotación media	= 250 lhd
Vol. bombeado	= 84.4 hm ³ /año
Cobertura	= 90 %
Fugas en la red	= 35%
Volumen servido	= 84.4 hm ³ /año x (1-0.35) = 54.6 hm ³ /año

Pérdidas en la red = Vol. Bombeo de pozos de agua potable – Vol. Servido

Pérdidas en la red = 84.4 hm³/año – 54.6 hm³/año = 29.8 hm³/año

Ahora, considerando una incorporación del 80% de este volumen al sistema acuífero se tiene:

$$29.8 \text{ hm}^3/\text{año} \times 0.80 = 23.84 \text{ hm}^3/\text{año}$$

Por lo tanto, considerando que la recarga inducida al acuífero superior es equivalente a su descarga inducida hacia el inferior, se tiene:

ΔR = Recarga inducida al acuífero superior = Descarga inducida hacia el acuífero inferior

ΔR = Retorno de riego + infiltración por fugas en el sistema de agua potable

$$\Delta R = 10.5 \text{ hm}^3/\text{año} + 23.8 \text{ hm}^3/\text{año} = 34.3 \text{ hm}^3/\text{año}$$

$$R = \text{Recarga Natural} + \text{Recarga inducida} = 34.3 + 40.0 \text{ hm}^3/\text{año} = 74.3 \text{ hm}^3/\text{año}$$

Se hizo el intento, así mismo, de determinar el monto de la recarga con el empleo de otra metodología, y así (en caso de lograr una aproximación) tener otra base de apoyo.

El valor de coeficiente de almacenamiento se obtuvo planteando dos ecuaciones de balance, correspondientes a 2 períodos de explotación.

En este procedimiento no se utilizaron los datos conseguidos en el presente trabajo por ser diferente el área de balance y algunas de las formas para cuantificar el volumen bombeado de estudios anteriores, optando por escoger 2 de las ecuaciones que se utilizaron para el balance efectuado en el Estudio Geohidrológico de Evaluación en el Valle de San Luis Potosí para el Abastecimiento de Agua en Bloque para la Ciudad de San Luis Potosí, S.L.P. (Tecnología y Sistemas, S.A., 1984)

En el estudio, las ecuaciones del balance se plantean como:

$$Eh + Rv - B = A (\pm b) S$$

Eh = Entradas horizontales

Rv = Recarga vertical

B = Bombeo

A = Área de Balance

b = Evolución media de los niveles piezométricos en el período

S = Coeficiente de almacenamiento

Las ecuaciones de balance son:

$$(1) \quad 5.0 + Rv - 30.5 = 500 (1.6) S \quad (\text{Hidrotec, 1971-72})$$

$$(2) \quad 6.5 + Rv - 54.6 = -500 (1.0) S \quad (\text{Consultores, S.A., 1976-77})$$

$$(3) \quad 7.1 + Rv - 98.0 = -500 (1.85) S \quad (\text{Tecnología y Sistemas, 1983-1984})$$

La primera ecuación se considera errónea, ya que un incremento medio de 1.6 metros promedio en los niveles piezométricos en un acuífero en régimen estable no puede ser representativa de las condiciones geohidrológicas mencionadas; sin embargo, tomando como nulo el cambio de almacenamiento para este período y que el área de balance es menor (400 km²), se tiene para las ecuaciones (1) y (2) modificadas:

$$(1) \quad 5.0 + Rv - 30.5 = 400 (0) S$$

$$(2) \quad 6.5 + Rv - 54.6 = -400 (1.0) S$$

De dónde:

$$S = 22.5 / 400 = 0.056$$

Por otra parte, se tiene, para las ecuaciones (2) y (3) modificadas:

$$(2) \quad 6.5 + Rv - 54.6 = -400 (1.0) S$$

$$(3) \quad 7.1 + Rv - 76 = -400 (1.85) S \quad *$$

*Nota: para esta ecuación el bombeo se calculó modificando el volumen extraído para agua potable, bajo el mismo criterio utilizado en cálculos anteriores

Población zona conurbada \approx 497,600 habitantes (1984)

Dotación media	=	250 lhd
Vol. total requerido	=	45.6 hm ³ /año
Cobertura	=	80 %
Volumen servido	=	45.6 hm ³ /año x 0.80 = 35.6 hm ³ /año

Extracción para uso Público-Urbano = 35.6 + Pérdidas en la red = 35.6 + (35.6*.35) = 48.06 hm³/año

Y sin modificar los volúmenes destinados a otros usos:

Bombeo = B. Agua Potable + B. Agrícola + B. industrial = 48 + 20 + 8 = 76 hm³/año

De (2) y (3)

$$S = 20.8 / (400 * 0.85) = 0.061$$

Valor ligeramente mayor a los anteriores.

Si se toman las ecuaciones (1) y (3) modificadas.

$$(1) \quad 5.0 + Rv - 30.5 = 400 (0) S$$

$$(3) \quad 7.1 + Rv - 76.0 = -400 (1.85) S$$

De dónde:

$$S = 43.4 / (400*1.85) = 0.058$$

Cabe hacer notar la congruencia de estos valores con el tipo de acuífero y la litología que lo constituye, si bien debe tomarse como un coeficiente global.

Se descartaron, los valores de coeficiente de almacenamiento conseguidos en las pruebas de bombeo, por la significativa influencia de las características constructivas de los pozos en que se efectuaron (pozos parcialmente penetrantes), incongruencia con el tipo de acuífero (libre y semiconfinado), además de que dichos resultados no

pueden ser extrapolados por la heterogeneidad y anisotropía del acuífero. Para objeto del balance geohidrológico global se utilizará un valor del coeficiente de almacenamiento igual a 0.06. Enseguida se evalúa el volumen drenado del acuífero utilizando las curvas de evolución piezométrica del período de observación 1995-1998, multiplicando las áreas afectadas por su correspondiente abatimiento (tabla 9).

Este volumen multiplicado por el coeficiente de almacenamiento igual a 0.06 calculado mediante el procedimiento de ecuaciones simultáneas, da por resultado el volumen extraído del almacenamiento subterráneo, es decir, el volumen deficitario.

Tabla 9. Volumen drenado anual del acuífero profundo de San Luis Potosí (período 1995-1998).

Nº	AREA (km ²)	ABATIMIENTO (m)	VOL. DRENADO (m ³)
1	23.075	0.75	17.306
2	147.300	1.0	147.300
3	92.675	1.5-2.0	162.180
4	49.537	2.0-2.5	111.458
5	21.012	2.5-3.0	57.783
6	5.537	3.0	16.611
7	3.012	4.0	12.048
8	33.062	1.0-0.75	28.929
9	0.350	2.0	0.700
10	19.380	1.5	29.070
11	1.550	2.0	3.100
12	19.987	1.0-2.0	29.981
13	43.263	0.5-1.1	34.610
14	11.800	1.0-1.5	14.750
15	9.000	1.5-0	11.250
16	3.850	1.25	4.813
17	9.400	1.0-1.25	10.575
18	17.725	1.0-0.75	15.509
TOTAL	507.515	1.39	707.973

Coeficiente de almacenamiento = 0.06

Volumen drenado = 707.973 m³ * 0.06 = 42.5 hm³/año

Entradas-Salidas = ∇Almacenamiento

Recarga total – Bombeo = ΔV

Recarga total = Bombeo + ΔV = 120.6 hm³/año + (-42.5 hm³/año) = 78.1 hm³/año

BALANCE GEOHIDROLOGICO DEL ACUIFERO PROFUNDO DE SAN LUIS POTOSÍ

$E - S = \pm \Delta S \cdot S$ <p>E = Entradas S = Salidas $\Delta S \cdot S$ = Cambio de almacenamiento</p>	<p>$S = 0.06$ (Coeficiente de almacenamiento considerado)</p>
$E = S \pm \Delta V$ $\Delta V = -42.5 \text{ hm}^3/\text{año}$ $E = 120.6 - 42.5 = 78.1 \text{ hm}^3/\text{año}$ $E = 78.1 \text{ hm}^3/\text{año}$	

7. DISPONIBILIDAD

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

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

Donde:

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

7.1 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, su valor es de **78.1 hm³/año**.

7.2 Descarga natural comprometida (DNC)

La descarga natural comprometida se determina sumando los volúmenes de agua concesionados de los manantiales y del caudal base de los ríos que está

comprometido como agua superficial, alimentados por el acuífero, más las descargas que se deben conservar para no afectar a los acuíferos adyacentes; sostener el gasto ecológico y prevenir la migración de agua de mala calidad hacia el acuífero. Para este caso, su valor es de **0.0 hm³ anuales**.

7.3 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 **137,708,014 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**.

7.4 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.

$$\begin{aligned} \text{DMA} &= \text{R} - \text{DNC} - \text{VEAS} \\ \text{DMA} &= 78.1 - 0.0 - 137.708014 \\ \text{DMA} &= -59.608014 \text{ hm}^3/\text{año.} \end{aligned}$$

El resultado indica que no existe un volumen disponible para otorgar nuevas

concesiones; por el contrario el déficit es de **59,608,014 m³ anuales.**

8. BIBLIOGRAFIA

Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), Gerencia Estatal en San Luis Potosí, 1998. Monitoreo piezométrico del acuífero del valle de San Luis.

Consultores, S.A., S.A.R.H., 1977. Estudio Hidrogeológico.

DEMM CONSULTORES, S.A. DE C.V., 1998. Plan Maestro para el Mejoramiento de los Servicios de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento de San Luis Potosí, Soledad de Graciano Sánchez y Cerro de San Pedro.

Gobierno del Estado de San Luis Potosí, 1997. Censo de Población 1995.

HIDROTEC, 1972. Informe final del Estudio Geohidrológico de las Cuencas de Villa de Reyes y San Luis Potosí.

Hidrotec, S.A.R.H., 1972. Informe final del Estudio Geohidrológico de las Cuencas de Villa de Reyes y San Luis Potosí.

Tecnología y Sistemas, S.A.R.H., 1984. Estudio Hidrogeológico.

UASLP, Martínez Ruiz, Víctor J., 1984. Control Geológico Estructural del agua subterránea entre San Luis Potosí-Aguascalientes y Zacatecas.

UASLP-IMTA, 1987. Estudio Geohidrológico del Valle de San Luis Potosí.

Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), 1961. Estudio Hidrogeológico preliminar, Stretta y del Arenal.