

# Abasto futuro de agua potable, análisis espacial y vulnerabilidad de la ciudad de San Luis Potosí, México

Abastecimento futuro da água potável abate, análise espacial e da vulnerabilidade da cidade de San Luis Potosi, México

Future Drinking Water Supply, Spatial Analysis and Vulnerability of the City of San Luis Potosi, Mexico

Carlos Contreras Servín\*

María Guadalupe Galindo Mendoza\*\*

Universidad Autónoma de San Luis Potosí, México

## Resumen

En el presente artículo se analizan y se presentan las circunstancias físicas, sociales y económicas que en conjunto afectan al panorama y a la problemática actual del abastecimiento de agua potable de la zona metropolitana de la ciudad de San Luis Potosí. Entre los temas que se abordan se encuentra la relación entre la disponibilidad del agua y el incremento de la población, así como la evolución de la extracción de aguas subterráneas. Por otra parte, la investigación muestra un diagnóstico de la situación en que se encuentra actualmente el abasto de agua potable en la ciudad de San Luis Potosí y en las áreas aledañas; también plantea el probable escenario del futuro inmediato.

**Palabras clave:** abasto de agua, análisis espacial, San Luis Potosí, vulnerabilidad, acuíferos.

## Resumo

O presente artigo discute e apresenta as condições físicas, sociais e econômicas que afetam a imagem global e os problemas atuais respeito ao abastecimento de água potável da região metropolitana de San Luis Potosi. Entre os temas a abordar está a relação entre disponibilidade hídrica e aumento da população, bem como a evolução de extração de águas subterrâneas. Além disso, a pesquisa mostra um diagnóstico da situação atual de abastecimento de água potável em San Luis Potosi e áreas circunvizinhas, bem como o cenário provável em um futuro próximo.

**Palavras-chave:** abastecimento de água, análise espacial, San Luis Potosi, vulnerabilidade, aquífero.

## Abstract

This paper discusses and presents the physical, social and economic circumstances that affect the overall picture and the current issues that involve the drinking water supply for the metropolitan area of San Luis Potosi. The relationship between water availability and increasing population, as well as the evolution of the groundwater extraction, are among the topics addressed here. Additionally, this research shows a diagnosis of the current situation of the drinking water supply in San Luis Potosi and the surrounding areas, as well as the likely scenario in the near future.

**Keywords:** water supply, spatial analysis, San Luis Potosi, vulnerability, aquifer.

RECIBIDO: 2 DE ABRIL DEL 2008. ACEPTADO: 2 DE MAYO 2 DEL 2008.

Artículo de investigación sobre reorganización económica y transformaciones espaciales en México.

\* Dirección postal: Av. Industrias, 101-A, Fracc. Talleres, San Luis Potosí, SLP, 78494, México.  
Correo electrónico: coser@uaslp.mx

\*\* Correo electrónico: ggm@uaslp.mx

## Introducción

En el transcurso del siglo xx el planeta, y particularmente México, ha experimentado un gran desarrollo económico y una acelerada urbanización. La necesidad de buscar un desarrollo urbano sustentable y equitativo ha obligado al Gobierno Federal, desde la década de los años setenta del siglo pasado, a poner en marcha diversos programas: regulación de uso de suelo y administración urbana; de suelo urbano y reservas territoriales; de vialidad y transporte; de aspectos ambientales y de renovación urbana de los centros de las ciudades. Para identificar los centros de población urbanos más importantes se establecieron prioridades por programa con base en criterios demográficos, económicos, de localización geográfica y de condiciones urbanas especiales (Chávez de Ortega 1998). En este sentido, se fueron seleccionando ciudades medias, como es el caso de la ciudad de San Luis Potosí, que pasó de tener una población de 300 mil habitantes en 1970 a cerca de un millón de habitantes en el año 2000. Sin embargo, el desarrollo industrial y el surgimiento de nuevas tecnologías, en el caso de las ciudades medias, se tradujeron en diferentes formas de apropiación territorial que dieron origen a procesos de metropolización (Hiernaux 1999). Por esa razón, la ciudad de San Luis se convirtió en la décima área urbana del país.

Por otro lado, su localización en la región Centro-Norte reviste gran importancia geoestratégica. La ciudad de San Luis Potosí está atravesando un período de crecimiento económico e industrial, gracias a su posición geoestratégica entre los tres grandes polos de desarrollo

del país (Monterrey, Guadalajara y México). Además, la ciudad es lugar de tránsito de los principales ejes carreteros que comunican al país, como la autopista del TLC. Por otra parte, la dinámica de crecimiento, la densidad de población alcanzada, así como el modelo urbano seguido en la ciudad, manifiestan signos de agotamiento que se traducen en un crecimiento desordenado e innecesario, congestión vial, deterioro urbano y contaminación ambiental, en particular, de los recursos acuíferos que abastecen la ciudad. Por ejemplo, del total del agua utilizada para el desarrollo de la ciudad de San Luis Potosí, un 92% proviene de fuentes subterráneas, mientras que tan solo el 8% de ella tiene un origen superficial. La explotación de los mantos acuíferos se realiza entre los 180 m y 350 m en promedio, pero el abatimiento de los niveles freáticos ha llevado a hacer perforaciones más profundas en algunas zonas de la ciudad, que alcanzan los 700 m y 1.000 m. No obstante, los trabajos para abastecer de agua potable a la población enfrentan un doble problema: la calidad del agua en la red y la cantidad suficiente para satisfacer todas las necesidades. Los acuíferos someros, de los que la ciudad se abastecía antaño, están contaminados por la infiltración de aguas residuales. Si bien estas aguas no tienen un uso doméstico, son empleadas para el riego de hortalizas para los mercados urbanos. Las aguas residuales municipales e industriales constituyen otro grave peligro de contaminación de los mantos acuíferos profundos que abastecen a la zona conurbada de San Luis Potosí y son también una amenaza para la flora y fauna de la región. Por lo antes expuesto, la presente investigación

muestra un panorama general en el que se inscribe la problemática actual sobre el abasto de agua potable, el escenario futuro y las alternativas que pueden existir para resolver dicho problema.

## Metodología

En la primera parte de este trabajo se ha recurrido a un marco teórico que permite comprender de forma general la problemática del abasto del agua en la ciudad de San Luis Potosí. La segunda parte del estudio se centra en plantear alternativas de solución a la vulnerabilidad del abasto futuro de agua en dicha ciudad. Desde el punto de vista metodológico, el trabajo se centra en la disposición espacial de los fenómenos (análisis locacional) (Abler; Adams y Gould 1971; Haggett, Ciff y Frey 1977; Pooler 1977), metodología habitual en las teorías sobre las distribuciones espaciales. Con respecto al agua hay tres aspectos muy importantes: en primer lugar, hay una incertidumbre sobre su disponibilidad para atender a las necesidades de una población creciente y a los diversos usos de una economía local en expansión; en segundo lugar, hay nuevas maneras de formular los problemas, con nuevos valores asociados y nuevas formas de plantear las soluciones acerca del manejo de las aguas; en tercer lugar, hay cambios profundos en las relaciones políticas derivados de la incertidumbre, de los nuevos modelos conceptuales y de la forma de implementar en la práctica tales modelos (Cirelli 1998). Por ese motivo, la primera parte del estudio se refiere a la forma en que el problema del abasto de agua potable se ha resuelto.

En la segunda parte se muestra de forma general cómo los acuíferos

profundos han sido considerados reservas inagotables de agua, eran poco estudiados en su estructura, características y funcionalidad. Su uso extensivo para el abastecimiento poblacional, industrial y agrícola, ha traído como consecuencia que en la actualidad se encuentren sobreexplotados (Melvilla 2001). Finalmente, es a través de estos primeros dos aspectos como se definen las siguientes propuestas o estrategias para una mejor gestión de los recursos hídricos en la ciudad de San Luis Potosí.

### El medio natural del área de estudio

El acuífero del valle de San Luis Potosí, objeto de nuestro estudio, está situado dentro de las zonas áridas y semiáridas del estado de San Luis Potosí, las mismas que ocupan el 70% de su extensión territorial. Los municipios de estas zonas pertenecen al altiplano potosino y a la zona centro del estado, perteneciente a la región hidrológica n.º 37, denominada El Salado. Esta región hidrológica pertenece al Desierto Chihuahuense y está asentada en el límite sur de este.

El acuífero de San Luis se localiza en la parte suroccidental del estado de San Luis Potosí, cubre un área aproximada de 1.980 km<sup>2</sup> y su forma se asemeja a un cuadrado, con uno de los vértices truncados. Está compuesta de numerosas subcuencas de diferentes formas y áreas. Comprende parcialmente los municipios de San Luis Potosí, Soledad de Graciano Sánchez, Mexquitic de Carmona, Cerro de San Pedro y Zaragoza. La zona conurbada de San Luis Potosí y Soledad de Graciano Sánchez se ubica en el centro de la cuenca hidrológica, que queda enmarcada por las coordenadas geo-

gráficas 22° 28' 15" de latitud norte y 101° 13' 44" de longitud oeste (figura 1). Desde el punto de vista físico, pertenece a la porción austral de la provincia fisiográfica denominada Mesa Central (Raisz 1959), y corresponde en forma local a una cuenca limitada en sus alrededores por la sierra de San Miguelito al Oeste y Suroeste; por la sierra de Álvarez en porción oriental; al Norte por el conjunto de cerros denominados Alto la Melada; así como por lomeríos de naturaleza volcánica. En su porción central, Sur, Suroeste y Sureste, es surcado por los ríos Paisano, Santiago, Mexquitic y los arroyos San Antonio, Calabacitas, La Virgen, Paraíso y Portezuelo, que se pierden en el valle, pero que en tiempo de lluvias forman las lagunas de Santa Rita y Laguna Seca, esta última descarga hasta los llanos de la Tinaja (Martínez 1998).

La recarga del acuífero es producto de procesos naturales en donde la vegetación y las condiciones del suelo juegan un papel primordial. Cuando uno o todos los factores son modificados se producen alteraciones en los patrones de recarga del acuífero, que tienen reper-

cusiones en el sistema económico y natural. Desafortunadamente, los tiempos de respuesta en las secuelas económicas se generan en el corto plazo, mientras que los tiempos de respuesta de los mecanismos naturales para restablecer los equilibrios son de mediano y largo plazo. Más aún, la articulación de componentes del sistema ecológico (suelo-vegetación-fauna) refleja, a largo plazo, la acumulación exponencial de todos los efectos negativos de las alteraciones producidas. Por otra parte, la recarga natural del acuífero somero es muy limitada, debido a la presencia de una capa de caliche en la parte superior del relleno del valle. Esta se debe principalmente a la infiltración tanto de las precipitaciones como de las corrientes superficiales intermitentes (los ríos y arroyos Santiago, Paisano y Española, al poniente del valle, y San Antonio, San Pedro y Portezuelos, al Este respectivamente); asimismo por las fugas de la red de agua potable (42%) equivalentes a 34.43 millones de m<sup>3</sup>/año (Interapas 2004). También es importante la infiltración de las aguas residuales de origen urbano e industrial de los canales, tanques de

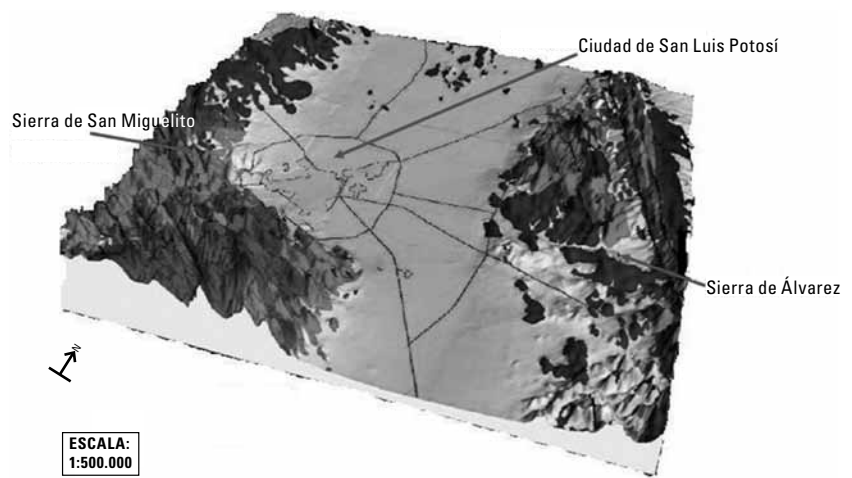


Figura 1. Ubicación del área de estudio. Fuente: Carrillo-Rivera *et al.* (1996).

sedimentación y área de riesgos. En efecto, son estas las que se infiltran en una gran superficie, todas provienen de la mancha urbana y de la zona industrial. La recarga más importante en el acuífero somero es la inducida de tipo difusa, ocasionada por las fugas de agua potable, drenaje y retorno de riego.

El acuífero profundo tiene dos zonas principales de recarga: una, en la parte alta y baja de la sierra de San Miguelito, una porción de los alrededores de la presa San José, y la otra, en los límites con la subcuenca de Villa de Reyes, en las proximidades del tanque Las Pilas y la presa San Carlos. La zona de recarga en la parte oeste de San Luis Potosí se mantiene en la sierra de Álvarez. La profundidad del nivel freático alcanza los 180 m en la ciudad de San Luis Potosí, y disminuye en todas las direcciones hasta alcanzar 115 m en la parte este del acuífero; 140 m en la parte sur, cerca de la sierra de San Miguelito; 80 m en la parte norte, cerca de Peñasco; 95 m en la parte noreste.

La recarga del acuífero semiconfinado del valle de San Luis a través de la cuenca de Villa de Reyes está siendo la más importante; también se registran infiltraciones provenientes de las serranías circundantes a la cuenca, a través de fallas y fracturas existentes en las rocas. El gasto que proporciona el acuífero libre en el valle de San Luis Potosí va de los 15 lt/s a 75 lt/s, con un promedio de 40 lt/s.

Los datos preliminares de edad del agua del acuífero profundo indican que esta tiene un tiempo de residencia de más de 1.000 años, lo que implica que la recarga actual del acuífero es nula. El aporte principal al acuífero profundo se lleva a cabo por medio de flujos laterales.

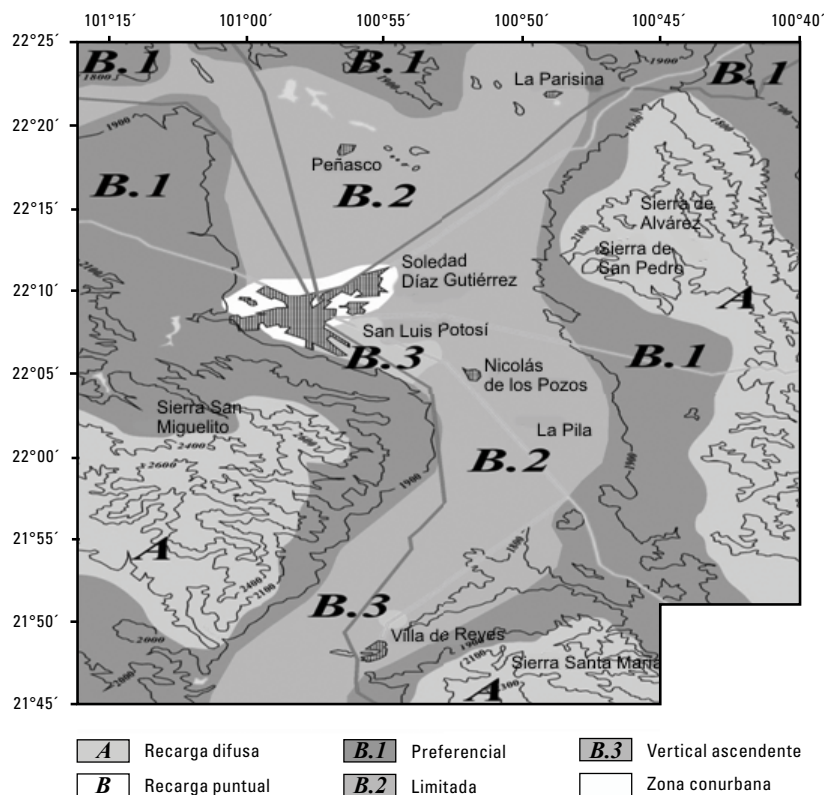


Figura 2. Mapa de zonas de recarga del acuífero profundo del valle de San Luis.

Fuente: Carrillo-Rivera, 2003.

Según Gallegos (2002), las regiones de recarga se encuentran en las partes altas y bajas de la sierra de San Miguelito, al oeste del valle de San Luis, y en la sierra de Álvarez al Este y por los arroyos que bajan. Otra publicación encontrada (Eco-Fin 2002) considera que las zonas propicias para promover un incremento de la recarga natural en la relación suelo-vegetación (más que al sistema acuífero de la cuenca de San Luis Potosí-Villa de Reyes) son las sierras de San Miguelito y Santa María del Río, debido a la permeabilidad que manifiestan las rocas que las conforman, la magnitud de su superficie y las condiciones de precipitación (400 mm/año). Esto puede hacerse mediante la construcción de presas de gavión en barrancas y

cauces (figura 2), así como con trabajos de reforestación.

### Geología del acuífero

El área de estudio se caracteriza por la presencia de dos sierras principales: la sierra de San Miguelito, al poniente y surponiente, y la sierra de Álvarez al Oriente, las cuales encierran parcialmente a la planicie denominada valle de San Luis Potosí, que se une al Sur con el de Villa de Reyes, separados únicamente por un pequeño parteaguas (Jaral de Berrios-Villa de Reyes) en la porción del poblado de la Pila; al Norte, este valle se encuentra separado del de Villa de Arista, por una serie de cerros y lomeríos denominados "El Alto de la Melada".

El valle está formado por fallas normales orientadas hacia el

Norte, que se rellenaron con flujos piroclásticos, flujos de lava y abanicos aluviales con una distribución regional. La morfología de la región corresponde a una fosa tectónica que se desarrolló durante el período Cenozoico por fallas N-S ocasionadas por fuerzas tectónicas tensionales (Carrillo-Rivera 1996). Las rocas más antiguas que afloran en esta zona corresponden a calizas del Cretácico, en la parte oriental (sierra de San Pedro), junto con una intrusión de rocas ácidas del Terciario, que forman el basamento hidrogeológico de la región (Carrillo-Rivera 1992; figura 3).

**Vegetación y recarga**

En la cuenca de San Luis Potosí-Villa de Reyes, de manera general, se han distinguido tres zonas de vegetación, relacionadas con las condiciones geológicas, topográficas y climáticas del territorio, así como por los procesos antrópicos que se han

desarrollado. En las partes altas de las sierras y mesetas que circundan a la cuenca, se cuenta con una vegetación de alta a mediana densidad, que inhibe una parte de los escurrimientos clasificados como vegetación de densidad media, constituida por bosque bajo-abierto (Inegi 1985). El Inegi (1985) estimó las superficies dedicadas al sector agrícola, localizadas principalmente en la planicie de los valles. La importancia de esta zona estriba en la recarga inducida al sistema acuífero por los retornos de riego. En la clasificación de baja densidad, quedan englobadas la vegetación de desierto arenoso, matorral desértico y vegetación gipsófila distribuidas en las zonas de piedemonte de la cuenca de San Luis Potosí-Villa de Reyes.

En las zonas semiáridas del país, el papel de la vegetación y su relación con el estado y estructura del suelo y la infiltración de agua al acuífero son de vital importancia.

La interacción de esos factores determina las condiciones del paisaje y el hábitat particular para las especies silvestres en el área.

A juzgar por los relictos de vegetación que aún quedan en partes de la sierra y por reportes de personas que alcanzaron a ver restos de pino piñonero, incluso en partes bajas de la ciudad, se sabe que hay un alto grado de deforestación de estas zonas de recarga.

El cambio de uso del suelo para fines agrícolas se observa también de manera generalizada en la cuenca, principalmente en las partes bajas y planas. Prácticamente todas las laderas de las serranías que rodean la cuenca se observan muy alteradas; en muchos casos, desprovistas de vegetación, o bien con la presencia de herbáceas que aparecen mejor representadas en la época de lluvias, pero que finalmente, no son suficientes para retener el suelo y evitar la erosión.

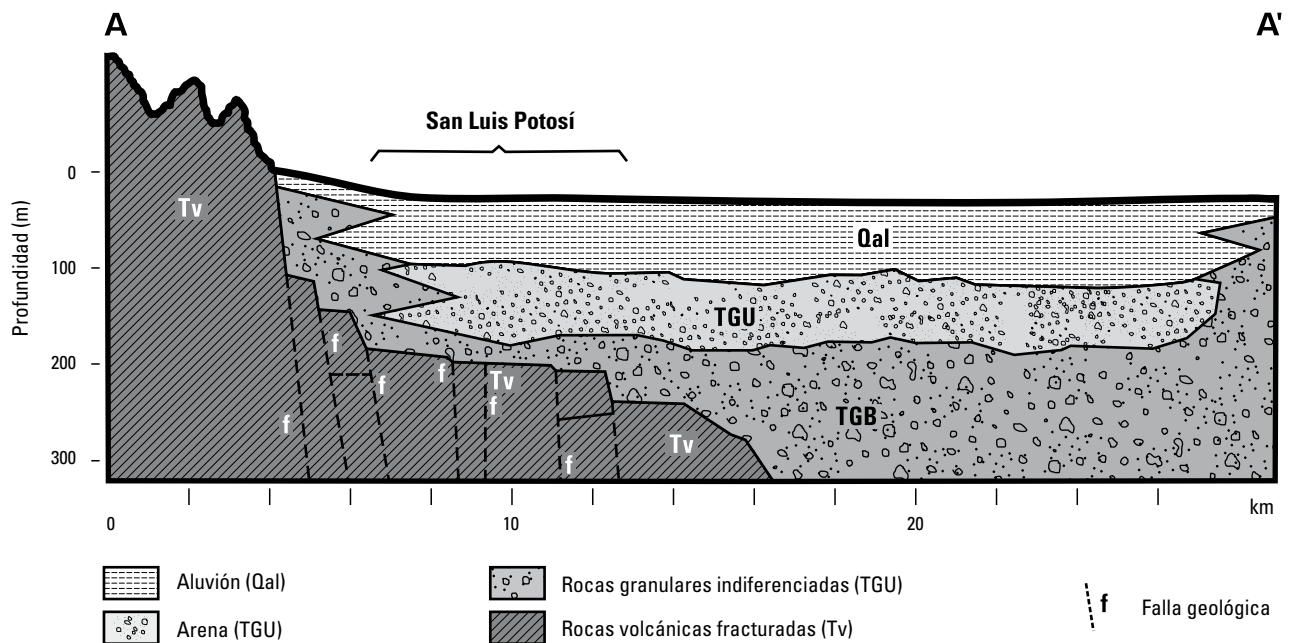


Figura 3. Perfil geológico de la zona. Fuente: Carrillo-Rivera, 1992.

**Hidrogeología**

Se reconocen dos acuíferos en la cuenca de San Luis Potosí, uno somero y otro profundo (Streeta y Arenal 1964; Labarthe y Tristan 1978a y 1978b; Labarthe y Tristan 1983; Carrillo 1996). El acuífero libre, también denominado superior, es el más superficial, representado por material aluvial con un espesor máximo aproximado de 250 m, con un gasto del orden de 20 lt/s a 30 lt/s, con niveles estáticos entre los 3 m y los 36 m de profundidad. El semiconfinado o profundo se encuentra a una profundidad de entre 150 m y 300 m, y está controlado por fallas regionales de rumbo N-S y NO-SE. En este último, los pozos presentan gastos del orden de los 100 lt/s y temperatura a la descarga entre 30°C y 40°C (Castillo 2003). Según los datos de la CNA, en el valle se extraen 125,6 millones de metros cúbicos por año, de los cuales 5 se extraen del acuífero supe-

rior mediante norias y pozos, y los restantes 120,6, del manto acuífero profundo, por medio de 370 pozos. La recarga de este manto proviene de las áreas del Sur y del Occidente del valle, y tiene un valor de 78 millones m<sup>3</sup>/año (CNA 2002). Respecto a estos valores hay que señalar que el Gobierno del estado indica, para la zona geohidrológica de San Luis una extracción de 110 millones m<sup>3</sup>/año, y una recarga de 62 (Gob. del estado 2004).

Para el año de 1995, se desarrolla un gran cono de abatimiento en la ciudad de San Luis Potosí, y la recarga principal del acuífero se efectúa en el flanco oriental del valle de San Luis Potosí, principalmente al norte y poniente de la sierra de San Miguelito hacia el valle de Escalerillas.

Considerando la evolución del nivel freático para el período 1995-2001, se observa que, durante el lapso de seis años, la profundidad del nivel estático aumentó hasta 25 m

en el centro del cono y se desarrolló hacia la parte norte. Sin embargo, hubo zonas en las que no hubo abatimiento de los niveles (figura 4).

Para el balance de 1995, se indica un volumen de extracción de 110,273 millones m<sup>3</sup>/año, una recarga estimada de 73,6 millones m<sup>3</sup>/año y un déficit de 36,66 millones m<sup>3</sup>/año, (Ruiz 1995). Para el balance del 2002 (CNA), se utilizó un volumen de extracción de 120,6 millones m<sup>3</sup>/año, una recarga total de 78,1 millones m<sup>3</sup>/año (incluye recarga natural, artificial y flujo subterráneo) y un déficit de 42,5 millones m<sup>3</sup>/año. En el 2003 se observa que predomina el cono de abatimiento de la ciudad de San Luis Potosí. Dicho cono ha profundizado 60 m de 1971 a 1995 (CNA 2000).

**Dinámica demográfica**

Según el XII Censo General de Población y Vivienda (2000) efectuado por el Inegi, la población

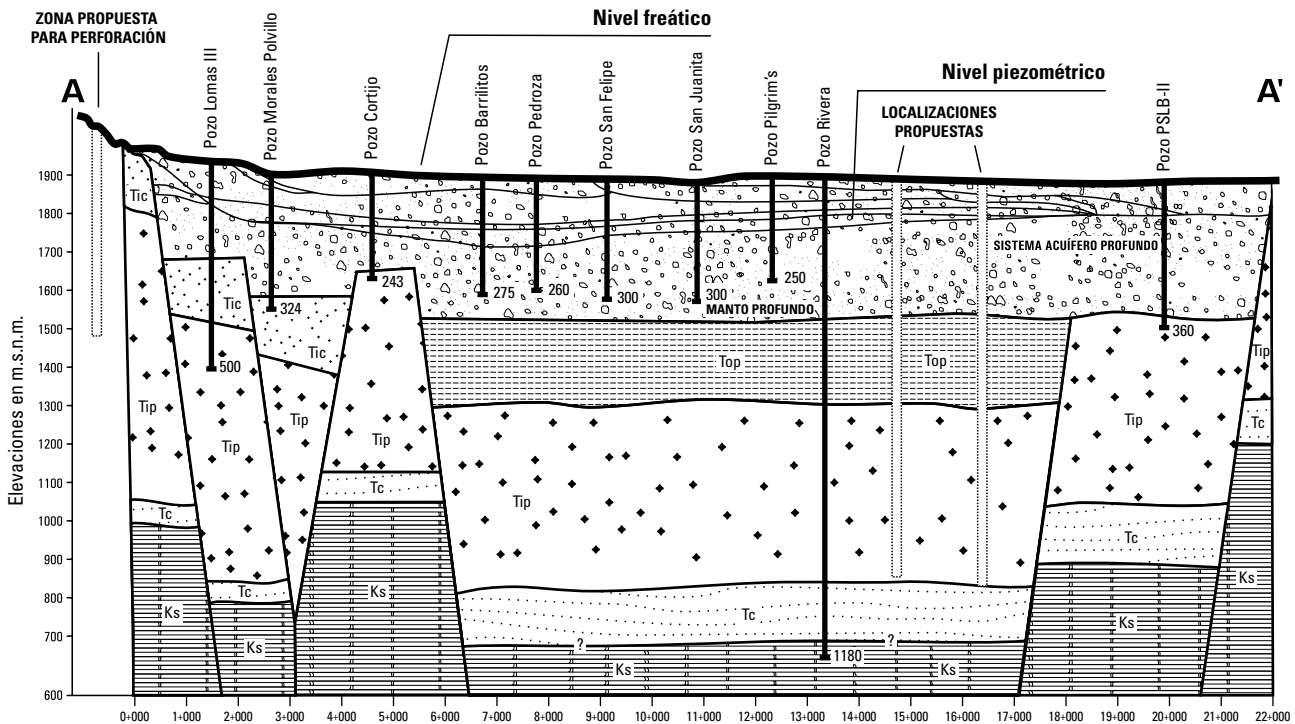


Figura 4. Niveles freáticos y piezométricos en la zona.



total del municipio es de 670.532 habitantes, de los cuales 320.344 son hombres y 350.188 son mujeres. Esto hace que la población total del municipio represente al 29,16% de la población total del estado. Su densidad de población es de 495,47 habitantes por kilómetro cuadrado. San Luis Potosí, capital del estado, con 489.238 habitantes y Soledad Díez Gutiérrez con 123.943 habitantes (Kaiser 2002). Entre los años 1990 y 2000, la diferencia es de 38.533 hombres y 76.266 mujeres, por lo que el crecimiento absoluto en esa década fue de 114.799 habitantes (tabla 1).

Actualmente, el acuífero de San Luis Potosí da abasto a las necesidades de las poblaciones que se ubican en los municipios de San Luis Potosí, con una población de 670.532 habitantes; Soledad de Graciano Sánchez, con una población de 180.296 habitantes; cerro de San Pedro, con una población de 3.404 habitantes; Mexquitic de Carmona, con una población de 48.392 habitantes, y Villa de Zaragoza, con una población de 21.962 habitantes. De modo que una población total de 924.586 habitantes, según datos del censo de Inegi del año 2000, depende de dicho acuífero. El suministro de agua a la población se estima en 79,98 millones de metros cúbicos anuales.

Este ritmo de crecimiento poblacional en unión con el desarrollo industrial, además de las necesidades agrícolas y ganaderas, demandan un consumo mayor del recurso hídrico. Para satisfacer la demanda de agua, una de las acciones realizadas ha sido la perforación de pozos profundos ubicados en diferentes puntos de la ciudad capital, de los cuales se extrae agua subterránea que abastece a más del 92% de la población de los municipios que se

Tabla 1. Población total y tasa de crecimiento intercensal.

Año	Población	Tasa de crecimiento	Año	Población	Tasa de crecimiento
1857	10.678	--	1940	104.481	--
1861	26.841	--	1950	162.446	--
1877	34.000	--	1960	206.261	2,20
1895	69.050	--	1970	301.896	3,22
1900	61.019	--	1980	471.047	4,11
1910	68.022	--	1990*	525.733	2,55
1921	57.353	--	1995*	625.466	3,46
1930	74.003	--	2000*	670.532	1,40

Fuente: Inegi (1994) e Inafed (2002).

abastecen del acuífero, San Luis Potosí y Soledad de Graciano Sánchez, los cuales han registrado un crecimiento demográfico acelerado en la segunda mitad del siglo XX. En el caso del municipio de San Luis Potosí, por ejemplo, se ha registrado un crecimiento poblacional promedio anual de 30% de 1960 a 1970 y de más de un 50% de 1970 a 1980, para registrar más de 700.000 habitantes (Inegi 2000). Sin embargo, aún más significativo es el crecimiento de los municipios de San Luis Potosí y Soledad de Graciano Sánchez, y la concentración de la población en ambas cabeceras, lo que ha originado la conurbación de las dos ciudades y, con esto, el incremento vertiginoso de la demanda de servicios de agua de una sola mancha urbana (Inegi 2000).

Debido al crecimiento de la zona metropolitana de San Luis Potosí, las necesidades de agua de la población tendrían un consiguiente aumento y, con esto, problemas de orden humano más que técnico. La dinámica de crecimiento, la densidad de población alcanzada (tasa de crecimiento de San Luis Potosí: 2,48; de Soledad de Graciano Sánchez: 3,11), así como el modelo urbano seguido, manifiestan signos de agotamiento, que se traducen en

un crecimiento desordenado e innecesario del área urbana, congestionamiento vial, deterioro urbano, indisponibilidad de agua para la población y contaminación ambiental, en particular de los recursos acuíferos que abastecen la ciudad.

#### Disponibilidad de agua subterránea

Según las conclusiones de la CNA, resultó que no existe volumen disponible para nuevas concesiones en el acuífero San Luis Potosí. La disponibilidad se obtiene según la NOM-011-CNA-2000: disponibilidad = recarga total media anual - descarga natural comprometida - volumen de agua concesionada e inscrito en el REPDA.

A partir de los años cincuenta y sobre todo a partir de los años setenta, la superficie urbana se multiplicó con rapidez. De 1.760 h, en 1960, pasó a 14 mil h, en el 2000 (Inegi 2000). A ese fenómeno contribuyó el éxito de la diversificación e intensificación industrial que experimentó la ciudad, así como la implantación durante las dos últimas décadas de diversas empresas de servicios. A esta expansión contribuyó también el cambio de su patrón de crecimiento, de radial concéntrico a polinu-

**Tabla 2.** Extracción y uso del agua de los acuíferos superior (somero) e inferior (profundo) en el valle de San Luis Potosí, 1998.

Usos	Acuífero Superior		Acuífero Inferior		Totales		
	N.º aprov.	Vol. ext millones m <sup>3</sup> /año	N.º aprov.	Vol. ext millones m <sup>3</sup> /año	N.º aprov.	Vol. ext millones m <sup>3</sup> /año	%
Público - urbano	4	0,030	153	84,389	157	84,419	67,22
Agrícola	158	3,640	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	0,250	12	0,661	34	0,911	0,70
Dom-abrevadero	51	0,164	0	0	51	0,164	0,10
Múltiples	7	0,174	3	0,235	10	0,409	0,30
No especificado	2	0,006	0	0	0	0,006	0
Subtotales	282	4,969	370	120,609	650	125,578	100,00

clear, debido principalmente a la decisión que se tomó de acondicionar zonas industriales para fomentar la llegada de inversión al sector (Moreno-Mata 1992).

Por otro lado, en la medida que las nuevas empresas se fueron instalando, la ciudad aumentó su capacidad de atraer nuevas familias que buscaban trabajo, y, por lo tanto, se estimuló la creación de vivienda, bajo el formato de fraccionamientos y venta de lotes para construcción de vivienda popular (Moreno-Mata 1992). Esto se ve reflejado en la proliferación de colonias para trabajadores a partir de los años setenta (particularmente entre los setenta y a mediados de los noventa) y en la aparición de nuevas zonas habitacionales para las clases media y media alta.

Ese crecimiento de la población y de la superficie urbana significó un cambio radical en el abasto del agua. La ciudad pasó del aprovechamiento de aguas superficiales y del acuífero somero, antes de 1950, a la dependencia creciente y acelerada del acuífero profundo. A finales del siglo XIX, las redes de abasto seguían

dependiendo fundamentalmente de las aguas superficiales. Durante la primera mitad del siglo XX, una parte de la población se abastecía directamente de las norias que eran utilizadas simultáneamente para el riego de huertas y uso doméstico. Para 1960, de cada 100 lt disponibles de la red de agua potable, 59 lt provenían de aguas superficiales y 41 lt del acuífero (COTAS-CNA 1960). Actualmente, 92 lt de cada 100 lt de la red urbana son de aguas subterráneas y solo 8 lt provienen de aguas superficiales. El crecimiento de la superficie urbana de San Luis Potosí es un fenómeno vigente que acusa un renovado dinamismo en la última década.

El mayor volumen de extracciones, como podemos observarlo en la tabla 2, se destina a usos urbanos (consumo doméstico, funcionamiento de la red municipal, usos industriales y abastecimiento de comercios y servicios). Como se puede apreciar, a partir de datos de 1998, el 67% del agua extraída se destina al abasto poblacional, seguido, en orden de importancia por el uso agrícola (19%), el industrial

(casi 8%), servicios (4,5%) y, finalmente, los usos pecuario y doméstico, 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 (CNA 2002).

## Conclusiones

La dinámica de crecimiento, la densidad de población alcanzada y el modelo urbano seguido manifiestan signos de agotamiento que se traducen en un crecimiento desordenado e innecesario del área urbana, congestión vial, deterioro urbano y contaminación ambiental, en particular de los recursos acuíferos que abastecen la ciudad. Una comparación entre el total de habitantes censados en el año 2000 y los calculados con la proyección para los años 2010 y 2020 permite estimar que entre los años 2000 y 2010 habrá un crecimiento total de 194.546 habitantes en la zona en estudio, lo que significa un incremento poblacional medio anual de alrededor de 19.454 habitantes.



En tanto que para el período 2010-2020, se estima un crecimiento total de 200.842 habitantes (aproximadamente 20.084 habitantes por año).

La sobreexplotación se debe principalmente a un mal manejo y distribución del líquido, la concentración de pozos en áreas pequeñas produce abatimiento de estos, lo que propicia una ascensión de flujos regionales de origen regional, de agua termal con fluoruro (Cardona 1997). Los pozos de extracción iniciaron la explotación del acuífero en los años veinte a una profundidad de 90 m; en los años setenta los niveles de extracción eran del orden de 200 m; en los ochenta empezaron a hacerse extracciones de hasta 400 m (Cirellí 2004). Las actuales perforaciones han llegado hasta cerca de los 1.000 m y en promedio se requieren más de 300 m de profundidad para un gasto de 50 lt/s.

Las zonas industriales se abastecen por medio de 30 pozos, de los cuales 26 están localizados en diferentes empresas; dos controlados por el Organismo Municipal Metropolitano de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento (Interapas) y dos operados por la Comisión Estatal del Agua.

Según estudios realizados, se encontraron 9.093 fugas en colonias, 14.000 tomas irregulares y una pérdida por fugas de 35,0 mi-

llones m<sup>3</sup>/año (41% del gasto total producido) (Interapas 2004). Las pérdidas por fuga en la red de distribución se atribuyen a la antigüedad de la tubería, mala construcción, utilización de materiales de poca calidad, deterioro de las redes de distribución y a la operación de 14 mil tomas irregulares. Por otra parte, la ciudad de San Luis Potosí enfrenta un doble problema: la calidad del agua en la red y de disposición final de las aguas de desecho. Los acuíferos someros, de los que la ciudad se abastecía de antaño, están contaminados por la infiltración de aguas residuales; y si bien estas aguas no son utilizadas para uso doméstico, son empleadas para el riego de hortalizas para los mercados urbanos.

El 61,5% de los pozos profundos de abastecimiento de la ciudad de San Luis Potosí presentan altas concentraciones de flúor, fuera del límite máximo permisible de 1,5 mg/l, normado en la NOM-127-SSA1-1994, para consumo humano (Gallegos 2002). Las altas concentraciones de flúor de 1,5 a 4,0 mg/l se localizan al Oeste del valle colindante con la sierra de San Miguelito. La zona se ubica al oeste y sureste de la mancha urbana. En esta zona es donde se encuentra la mayor cantidad de pozos con altas concentraciones de flúor.

Si bien el agua de origen industrial representa un bajo porcentaje del total del efluente, su impacto sobre el ambiente es más negativo. Numerosas empresas poseen pozos de absorción de residuos líquidos, tóxicos y orgánicos, que incrementan los niveles de contaminación de la cuenca (Gob. del estado 2004).

En San Luis Potosí se tienen contempladas ocho plantas de tratamiento, sumadas las privadas y las municipales. Las tres principales, que son Tenorio, El Morro y la Norte, tienen comprometida la mayor parte de su agua para riego. Un gran porcentaje de los usuarios de agua doméstica tienen temor de utilizar agua tratada por miedo a infecciones.

La presión por la demanda del recurso ha generado, desde el comienzo de la gestión, la competencia por su uso y por su asignación, otro de los problemas presentes en el valle de San Luis. Entre estos conflictos está la competencia entre la distribución del agua para uso doméstico y para uso industrial. Para atender el crecimiento poblacional hasta el año 2010, se necesitan 20 millones de metros cúbicos adicionales, este volumen se podría obtener si se redujeran las actuales fugas a la mitad, sin necesidad de ampliar la explotación del acuífero.

### **Carlos Contreras Servín**

Doctor en Geografía de la UNAM. Profesor-investigador de la Coordinación de Ciencias Sociales y Humanidades y del Posgrado Multidisciplinario en Ciencias Ambientales de la Universidad Autónoma de San Luis Potosí.

### **María Guadalupe Galindo Mendoza**

Doctora en Geografía de la UNAM. Profesora-investigadora de la Coordinación de Ciencias Sociales y Humanidades y del Posgrado Multidisciplinario en Ciencias Ambientales de la Universidad Autónoma de San Luis Potosí.

## Referencias

- Abler, Ronald, John Adams y Peter Gould. 1971. *Spatial Organization: the Geographer's View of the World*. Englewood Cliffs: Prentice-Hall.
- Bennett Viviente. 1996. *The Politics of Water: Urban Protest, Gender and Power in Monterrey, México*. Pittsburgh: University of Pittsburgh Press.
- Cardona, B. et al. 1997. *Wastewater Contamination Affecting Local Flow Systems: Implications on Intermediate and Regional Systems Used for Water Supply, San Luis Potosí*. México: UASLP - CNA - SLP - UNAM
- Carrillo-Rivera, Joel. 1992. *The Hydrogeology of the San Luis Potosi Area, Mexico*. Tesis de doctorado. Universidad de Londres.
- Carrillo-Rivera, Joel, A. Cardona y D. Moss. 1996. *Importance of the Vertical Component of Groundwater Flow: a Hydrogeochemical Approach in the Valley of San Luis Potosi*. México: J. Hydrol.
- Carrillo-Rivera, Joel, A. Cardona, y W. Edmunds. 2003. *Use of Abstraction Regime and Knowledge of Hydrogeological Conditions to Control High-Fluoride Concentration in Abstracted Groundwater: San Luis Potosi Basin*. México: J. Hydrol.
- Castillo, A. 2003. *Modelo hidrogeológico conceptual de la zona de San Luis Potosí-Villa de Reyes y su relación con la química del agua subterránea*. San Luis Potosí: Universidad Autónoma de San Luis Potosí.
- Chávez de Ortega, E. 1998. *Urbanismo en ciudades medias y pequeñas*. México: Programa Universitario de Estudios de la Ciudad, Hito Graphics, S. A.
- Cirellí, Claudia. 1998. *Agua desechada, agua aprovechada: cultivando en las márgenes de la ciudad*. San Luis Potosí: El Colegio de San Luis.
- Comisión Nacional del Agua. 2000. *Condiciones geohidrológicas del sistema acuífero del Valle de San Luis*. San Luis Potosí: Gerencia Estatal de San Luis Potosí.
- Comisión Nacional del Agua. 2002. *Determinación de la disponibilidad de agua en el acuífero San Luis Potosí, estado de San Luis Potosí, México*. México: CNA.
- Cotas y Comisión Nacional del Agua. 2004. *Estudio técnico para la reglamentación, uso y aprovechamiento de las aguas subterráneas y modificación de la veda del acuífero de San Luis Potosí en el estado de San Luis Potosí*. San Luis Potosí: CNA.
- Cotas y Comisión Nacional del Agua. 2005. *Estudio técnico para la reglamentación, uso y aprovechamiento de las aguas subterráneas y modificación de la veda del acuífero de San Luis Potosí en el estado de San Luis Potosí*. México: CNA.
- Eco-fin. 2002. *Plan estratégico para el manejo integral y eficiente del recurso hídrico en la cuenca de San Luis Potosí-Villa de Reyes: conservación de los recursos naturales, identificación de mecanismos de recarga natural y viabilidad de la recarga artificial en la cuenca de San Luis Potosí*. Vol. 1. <http://www.conagua.gob.mx/conagua07/publicaciones/vertientes/vertientes159>.
- Gallegos, Yolanda. 2002. *Una interpretación hidrogeoquímica del acuífero del Valle de San Luis Potosí: información para una estrategia de abastecimiento*. Tesis de grado. UASLP.
- Gobierno del Estado. 2004. *San Luis Potosí Comunicación Social: curso para el manejo de aguas residuales a organismos operadores municipales*. San Luis Potosí: Gobierno del estado.
- Haggett, Peter, A. Ciff y A. Frey. 1977. *Locational Analysis in Human Geography*. Londres: Edward Arnold.
- Hiernaux, Daniel. 1999. *Los senderos del cambio: sociedad, tecnología y territorio en los albores del siglo XXI*. México: Plaza y Valdés.
- Inafed. 2002. *Sistema Nacional de Información Municipal*. México: Inafed.
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (Inegi). 1985. *Síntesis geográfica del estado de San Luis Potosí*. México: Inegi.
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (Inegi). 1994. *Históricas de México I*. México: Inegi.
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (Inegi). 2000. *XII Censo General de Población y Vivienda, estado de San Luis Potosí*. México: Inegi.
- Interapas 2004. *Registros internos: resultados de análisis de muestra de agua de pozos*. México: Interapas.
- Jacobo, M. 2004. *La gestión del agua en México: los retos para el desarrollo sustentable*. México: Miguel Ángel Porrúa Editores.
- Kaiser, Arnoldo. 1972. *Breve historia de la ciudad de San Luis Potosí*. San Luis Potosí: Editorial A. Kaiser.
- Labarthe, H. y G. Tristán. 1978a. *Cartografía geológica, hoja San Luis Potosí*. Folleto Técnico n.º 59. San Luis Potosí: Inst. Geol. Metal. - UASLP.
- Labarthe, H. y G. Tristán. 1978b. *Cartografía geológica, hoja San Francisco, S. L. P.* Folleto Técnico n.º 68. San Luis Potosí: Inst. Geol. Metal. - UASLP.
- Labarthe, G. y M. Tristán. 1983. *Estudio geohidrológico de la hoja Melchor, estados de San Luis Potosí y Guanajuato*. San Luis Potosí: Universidad Autónoma de San Luis Potosí - Inst. Geol. Metal.
- Lugo, Héctor. 2006. *Planeación del agua, un enfoque social y sistémico: agua, un derecho social*. México: Instituto Politécnico Nacional.

- Maderey, Laura. 2005. *Principios de hidrogeografía: estudio del ciclo hidrológico*. México: UNAM.
- Marié, Michel. 2004. *Las huellas hidráulicas en el territorio: la experiencia francesa*. San Luis Potosí: El Colegio de San Luis - Instituto Mexicano de Tecnología del Agua.
- Martínez, Víctor y Comisión Nacional del Agua. 1995. *Determinación de la disponibilidad de agua en el acuífero San Luis Potosí, estado de San Luis Potosí*. Documento inédito.
- Martínez, Víctor. 1998. *Condiciones geohidrológicas actuales del Valle de San Luis Potosí*. Folleto Técnico n.º 15. San Luis Potosí: Inst. Geol. Metal. - UASLP.
- Melvilla, R. 2001. *Cambio, organización y conflicto: el horizonte social del agua para el siglo XXI*. San Luis Potosí: El Colegio de San Luis - Ciesas.
- Monroy M., J. Blanco, A. Espinosa y R. Montejó. 1992. *La ciudad de San Luis Potosí 1592-1992*. México: Edición Especial de Artes México.
- Moreno A. 1992. Condiciones de vida y medio ambiente en la zona metropolitana de San Luis Potosí. En *Las ciudades medias de México*. Morelia: Ayuntamiento de Morelia.
- Murcia A. 1976. *Aguas subterráneas: prospección y alumbramiento para riegos*. Madrid: Ministerio de Agricultura.
- Pooler, J. 1977. The Origins of the Spatial Tradition in Geography: an Interpretation. *Ontario Geography* 11: 56-83
- Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo 2005. 2006. *Informe sobre el desarrollo humano San Luis Potosí*. México: ONU.
- Raiz, E. 1959. Landform of Mexico. Cambridge, MA. Map and text. Scale 1:3000 000.
- Roemer, Andrés. 2000. *Derecho y economía: políticas públicas del agua*. México: Miguel Ángel Porrúa Editorial.
- Santacruz de León, Germán. 2004. *El uso industrial del agua en la ciudad de San Luis Potosí: su impacto en el ambiente y la sociedad*. San Luis Potosí: El Colegio de San Luis.
- Santos, José. 2004. *Acción pública organizada: el agua del servicio de agua potable en la zona conurbada de San Luis Potosí*. México: Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Iztapalapa.
- Stretta, C, J. Martínez y R. del Arenal. 1964. Geoquímica y radioactividad de las aguas de Lourdes, municipio de Santa María del Río, San Luis Potosí.
- Texas Water Development Board. 2005. *The Texas Manual on Rainwater Harvesting*. Austin. <http://www.twdb.state.tx.us/publications/reports>.
- Tortajada, Cecilia. 2004. *Hacia una gestión integral del agua en México: retos y alternativas*. México: Miguel Ángel Porrúa - Centro del Tercer Mundo para el Manejo del Agua.