

DOSSIER

**Conflictos socioambientales
y apropiación del agua**



Agua subterránea, un recurso oculto El caso del acuífero del Valle de San Luis Potosí

Groundwater, a hidden resource The case of the San Luis Potosí Valley aquifer

Briseida López Álvarez

El estado actual de los recursos hídricos subterráneos es de explotación intensiva y deterioro de la calidad, toda vez que se han convertido en una alternativa de abasto de agua para los diversos sectores productivos y de la población. Si bien las condiciones climáticas e hidrogeológicas influyen en la disponibilidad natural del recurso, es el uso y manejo poco o nada eficaz lo que limita su acceso en cantidad y calidad. En el caso del acuífero del Valle de San Luis Potosí, urge una planificación posicionando a la naturaleza al centro de las decisiones, modificar los modelos de desarrollo capitalista que sobrepone el valor económico de la naturaleza sobre aspectos tan vitales para el ser humano como lo cultural y tradicional, lo emocional o lo estético.

Palabras clave: sobreexplotación de agua subterránea, contaminación de agua subterránea, minado, vulnerabilidad hídrica, Valle de San Luis Potosí.

The current state of underground water resources is of intensive exploitation and deterioration of quality, since they have become an alternative of water supply for the various productive sectors and the population. Although climatic and hydrogeological conditions influence the natural availability of the resource, it is the use and poor or not effective management that limits its access in quantity and quality. In the case of the San Luis Potosí Valley aquifer, planning is urgent needed, placing nature at the center of decisions, modifying capitalist development models that overlap the economic value of nature over aspects as vital to human beings as cultural and traditional, emotional or aesthetic.

Key words: groundwater overexploitation, groundwater pollution, mining, water vulnerability, San Luis Potosí Valley.

Fecha de recepción: 10 de abril de 2020

Fecha de dictamen: 29 de junio de 2020

Fecha de aprobación: 28 de septiembre de 2020

INTRODUCCIÓN

En la actualidad, factores como el crecimiento urbano y poblacional, el cambio en los patrones de una sociedad de consumo y la industrialización han generado una demanda excesiva de recursos naturales. El modelo de desarrollo económico implantado en el mundo genera un aprovechamiento desmedido y desigual del agua, del suelo, de los bosques y de los alimentos que se producen. Hoy más que nunca se cuestiona la capacidad de los sistemas naturales para sostener tantas y tan aceleradas perturbaciones a sus ciclos vitales. En el caso del agua, su ciclo es un proceso de circulación a través de la hidrosfera, en el cual cambia de estado físico, atraviesa distintas capas de la Tierra, transporta sólidos y gases, permanece a diferentes tiempos y estados tanto en la superficie como al interior de la Tierra, interactúa y es aprovechada por los ecosistemas. Sin embargo, este ciclo que de forma natural toma cientos, quizás miles de años completarse y mantener equilibrios sistémicos, no coincide con los procesos sociales, económicos o políticos que son de menor tiempo.

Las alteraciones del ciclo hidrológico con el desvío y represamiento de cauces de ríos, con la extracción intensiva de agua subterránea, con los cambios de uso de suelo y disminución de la cobertura vegetal natural y desarrollos industriales (mineros, turísticos, energéticos, urbanos) han propiciado diferentes impactos no sólo en lo evidente, la cantidad y calidad del agua a la que hoy se puede acceder, sino también en desequilibrios ambientales. El ciclo hidrológico es un regulador climático por lo que sus variaciones trajeron consigo fenómenos como sequías prolongadas, ciclones y huracanes cada vez más intensos, olas de calor y frío, así como incendios por la falta de humedad en los suelos.

Es necesario recordar que el agua natural, que en su conjunto compone el ciclo hidrológico, no varía, lo que sí cambia es su distribución y calidad en el planeta. En ese sentido, sólo 3% es agua dulce y de ésta 70% está concentrada en los glaciales, 29% está almacenada como agua subterránea y sólo 1% fluye a través de ríos y lagos. Por lo tanto, el agua subterránea se convierte en la fuente más importante de agua dulce en la Tierra. Sin embargo, no se le ha dado la suficiente importancia ni atención para garantizar que este recurso siga ofreciendo los beneficios socioecosistémicos.

Se estima que entre 8 y 10 millones de km³ es el volumen total de agua subterránea en el planeta. La extracción mundial de este recurso en 2010 fue de 986 km³, de la cual 67.5% se usó en riego, 21.5% para uso doméstico y 11% se destinó a la industria (Smith *et al.*, 2016:17). Las aguas subterráneas abastecen de agua potable por lo menos al 50% de la población mundial (The Groundwater Association, 2016). Los continentes con mayor extracción de agua son América del Norte y Asia, donde se encuentran países altamente industrializados (Cuadro 1). En este mismo sentido, en 2010, entre

los 15 países con las mayores extracciones anuales estimadas de agua subterránea, se encontraba México (Cuadro 2).

En el Cuadro 2, se pueden establecer comparaciones interesantes, por ejemplo, países como India, con casi 9% menos de población que China, extraía 95% más de agua subterránea que China. En la comparación entre Estados Unidos y China con una extracción similar, Estados Unidos tenía casi 79% menos de población que China. Entre estos tres países, India destinaba más agua subterránea para la agricultura, seguido de Estados Unidos. China, por su parte, es el país que mayor volumen de agua usaba para la industria. En el caso particular de Estados Unidos y México, podemos observar que el primero extraía 78% y el segundo 21% del total del agua subterráneas de América del Norte, con una diferencia poblacional de 63% y una distribución de usos prácticamente igual (cuadros 1 y 2).

En general, la extracción global de las aguas subterráneas al menos se ha triplicado en los últimos 50 años y va en aumento a una tasa anual de entre 1 y 2% (Smith *et al.*, 2016:18). El estado actual de este recurso es de explotación intensiva y deterioro de la calidad, toda vez que se han convertido en una alternativa segura de abasto de agua para los diversos sectores de la población y de forma importante en las regiones áridas y semiáridas, donde representa la principal e incluso la única fuente de suministro de agua para una población creciente y la expansión de la agricultura de regadío.

En México, existen grandes variaciones espaciales y temporales de la disponibilidad natural del recurso hídrico debido al relieve topográfico accidentado, a la hidrogeología y una gran variedad de climas que hacen, en general, una distribución heterogénea del agua al interior de las 13 Regiones Hidrológico-Administrativas (RHA), donde se han definido 37 regiones hidrológicas y que, a su vez, éstas se componen de 757 cuencas hidrológicas (Conagua, 2018a:23). Los contrastes en la disponibilidad natural de agua dan origen a que para las regiones de Tabasco y Chiapas (RHA XI) sea de 19 078 m³/hab/año, mientras que en la región del Valle de México (RHA XIII) sea de 150 m³/hab/año (CNDH-UNAM, 2018:35).

La realidad hoy es que, entre 2008 y 2017 se ha incrementado el grado de presión en las RHA del país. Por arriba del 60% de presión están las regiones XIII Aguas del Valle de México (con una dependencia al agua subterránea de 67%), II Noroeste (con una dependencia al agua subterránea de 81%), I Península de Baja California (con una dependencia al agua subterránea de 80%) y VI Río Bravo (con una dependencia al agua subterránea de 85%), ubicadas en las regiones climáticas con precipitaciones por debajo de los 500 milímetros anuales (Cuadro 3). En otras palabras, las regiones con niveles de precipitación bajo son las que se encuentran en mayor presión hídrica, pero además dependen de forma importante del agua subterránea.

CUADRO 1
Estimaciones de la extracción global de agua subterránea

Continente	Extracción de agua subterránea				Comparación con la extracción total		
	Riego km ³ /año	Doméstico km ³ /año	Industrial km ³ /año	Total km ³ /año	Total %	Total extracción de agua km ³ /año	Parte de agua subterránea %
América del Norte	99	26	18	143	15	524	27
América Central y el Caribe	5	7	2	14	1	149	9
América del Sur	12	8	6	26	3	182	14
Europa (incluida la Federación Rusa)	23	37	16	76	8	497	15
África	27	15	2	44	4	196	23
Asia	497	116	63	676	68	2257	30
Oceanía	4	2	1	7	1	26	25
Mundial	666	212	108	986	100	3831	

Fuente: Smith *et al.* (2016:17).

CUADRO 2
Las 15 naciones con las mayores extracciones anuales estimadas de agua subterránea

País	Población en 2010 (miles)	Estimación de extracción de agua subterránea en 2010	Extracción de agua subterránea		
			Extracción para riego (%)	Extracción para uso doméstico (%)	Extracción para la industrial (%)
India	1 224 614	251.00	89	9	2
China	1 341 335	111.95	54	20	26
Estados Unidos	310 384	111.70	71	23	6
Pakistán	173 593	64.82	94	6	0
Irán	73 974	63.40	87	11	2
Bangladesh	148 692	30.21	86	13	1
México	113 423	29.45	72	22	6
Arabia Saudita	27 448	24.24	92	5	3
Indonesia	239 871	14.93	2	93	5
Turquía	72 752	13.22	60	32	8
Rusia	142 985	11.62	3	79	18
Siria	20 411	11.29	90	5	5
Japón	12 636	10.94	23	29	48
Tailandia	69 122	10.74	14	60	26
Italia	60 551	10.40	67	23	10

Según datos del Registro Público de Derechos de Agua (Repda), en los últimos años se han registrado variaciones en el número de concesiones de 2008 a 2017 según el origen del agua concesionada. Las regiones que presentaron un mayor incremento en títulos de concesión de aguas superficiales son la IX Golfo Norte, XII Península de Yucatán y V Pacífico Sur. En agua subterránea incrementaron las regiones XII Península de Yucatán, VIII Lerma-Santiago-Pacífico y XI Frontera Sur. En ambos tipos de fuentes, hubo una disminución de concesiones en la RHA II Noreste y se mantuvo prácticamente en la misma cifra en once años la región V Pacífico Sur (Cuadro 4). Las causas de los cambios en el número de concesiones otorgadas pueden ser variadas; sin embargo, es un hecho que la expansión urbana, la industrialización, los cambios en los usos de suelo y las variaciones climáticas, generan presiones sobre este recurso alterando la tasa de renovación de aguas subterráneas.

Se estima que México recibe 1 449 471 Millones de m^3 por año ($Mm^3/año$) de agua en forma de precipitación de la cual se infiltra aproximadamente 6.3% al subsuelo de forma natural para recarga de los acuíferos. Así, 3% del volumen total concesionado para los distintos usos consuntivos (34 380 $Mm^3/año$) procede de agua subterránea y 61% de superficial (53 548 $Mm^3/año$). Pero un problema importante es la extracción intensiva que se hace sobre todo en las últimas décadas, en 1975 se reportaron 32 acuíferos en una condición de sobreexplotación, 80 en 1985, 101 en 2008 y 105 en 2017. Desde el 2002, la Comisión Nacional del Agua (Conagua) realiza estudios para determinar la disponibilidad media anual de agua de los acuíferos del país, y para el 2010, se afirmaba que de los acuíferos sobreexplotados se extraía 58% del agua subterránea para todos los usos; sin embargo, esta cifra no ha sido actualizada a la fecha, pero al incrementarse en 16% el promedio de la demanda de este recurso en las RHA, es de esperar que la extracción en acuíferos sobreexplotados también ha ido en incremento.

En una investigación realizada por Ethos (2019) en relación con las vedas impuestas a 333 acuíferos, se pudo demostrar que, aunque se prohibió otorgar nuevos títulos de concesión en acuíferos vedados o con déficit de agua, no se restringió a los antiguos poseedores de los permisos de explotación la posibilidad de traspasar sus derechos para explotar sus recursos. Esta puerta que se dejó abierta ocasionó, por ejemplo, que el agua de uso agrícola la utilizaran grandes industriales o inmobiliarias. La consecuencia de esto fue que los acuíferos vedados perdieron 38% de su recurso disponible estimado y pasaron de 13.1 mil Mm^3 en 2013 a 8.1 mil Mm^3 en 2018 (Ethos, 2019).

CUADRO 3
Grado de presión sobre el recurso hídrico por Región Hidrológico-Administrativa entre 2008 y 2017

Regiones Hidrológico-Administrativas	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)	(g)	(h)	(i)	(j)	(k)	(l)
I Península de Baja California	154 279	4 858	4.60	29.80	1 057	149.9	3 951	75.9	Fuerte	81.30	Alto	7.1
II Noroeste	196 326	8 274	2.92	14.90	2 837	471.1	7 007	91.4	Fuerte	84.70	Alto	-7.3
III Pacífico Norte	152 007	26 747	4.59	30.20	5 823	690.3	10 811	40.70	Fuerte	40.40	Alto	-0.7
IV Balsas	116 439	21 668	12.04	103.40	1 799	1059.1	10 874	49.40	Fuerte	50.20	Alto	1.6
V Pacífico Sur	82 775	30 836	5.12	61.90	6 017	1353.7	1 579	4.10	Escaso	5.10	Sin estrés	24.4
VI Río Bravo	390 440	12 844	12.61	32.30	1 019	435.1	9 680	77.40	Fuerte	75.40	Alto	-2.6
VII Cuencas Centrales del Norte	187 621	8 024	4.65	24.80	1 725	361.5	3 824	48.60	Fuerte	47.70	Alto	-1.9
VIII Lerma-Santiago-Pacífico	192 722	35 071	24.72	128.30	1 419	849.1	15 845	41.50	Fuerte	45.20	Alto	8.9
IX Golfo Norte	127 064	28 655	5.38	42.30	5 329	789.8	6 055	18.60	Moderado	21.10	Medio	13.4
X Golfo Centro	102 354	94 363	10.73	104.80	8 796	1760.8	6 069	5.20	Escaso	6.40	Sin estrés	23.1
XI Frontera Sur	99 094	147 195	7.84	79.10	18 776	1986.7	2 547	1.40	Escaso	1.70	Sin estrés	21.4
XII Península de Yucatán	139 897	29 647	4.77	34.10	6 212	1313.9	4 793	8.00	Escaso	16.20	Bajo	102.5
XIII Aguas del Valle de México	18 229	3 401	23.55	1292.00	144	451.4	4 808	132.30	Fuerte	141.40	Muy Alto	6.9

(a) Superficie continental (km²)

(b) Agua renovable a 2017 (Mm³/año)

(c) Población medida a 2017 (millones de hab)

(d) Densidad de población (hab/km²)

(e) Agua renovable per cápita (m³/hab/año)

(f) Precipitación anual (mm) (20017)

(g) Volumen concesionado 2017 (Mm³)

(h) Grado de presión 2008 (%)

(i) Clasificación del grado de presión 2008

(j) Grado de presión 2017 (%)

(k) Clasificación del grado de presión 2017

(l) Variación en el grado de presión entre 2008 y 2017 (%)

CUADRO 4
*Cambio en los títulos de concesión inscritos
en el Registro Público de Derechos de Agua en 2008 y 2017*

Regiones Hidrológico-Administrativas	Títulos en 2008		Títulos en 2017		Cambio en los títulos de concesión (%)	
	Sup.	Sub.	Sup.	Sub.	Sup.	Sub.
I Península de Baja California	2 382	9 650	2 472	9 451	3.6	-2.1
II Noroeste	4 599	19 004	3 973	18 268	-15.8	-4.0
III Pacífico Norte	12 417	12 678	12 184	14 077	-1.9	9.9
IV Balsas	15 229	12 500	14 857	14 634	-2.5	14.6
V Pacífico Sur	8 509	16 509	10 461	20 158	18.7	18.1
VI Río Bravo	6 484	36 488	6 117	37 762	-6.0	3.4
VII Cuencas Centrales del Norte	3 561	26 772	3 705	28 764	3.9	6.9
VIII Lerma-Santiago-Pacífico	18 605	47 251	19 216	60 707	3.2	22.2
IX Golfo Norte	7 606	12 917	9 724	15 379	21.8	16.0
X Golfo Centro	12 250	16 728	13 246	20 056	7.5	16.6
XI Frontera Sur	24 434	7 700	25 470	9 856	4.1	21.9
XII Península de Yucatán	174	22 568	220	33 856	20.9	33.3
XIII Aguas del Valle de México	1 098	2 188	1 165	2 441	5.8	10.4

Fuente: elaboración con datos de Conagua (2010:122 y 2018b:142).

Pero el problema del agua subterránea no es sólo la explotación intensiva que se ha incrementado en las últimas décadas, sino también se suman procesos de contaminación antropogénica. La Red Nacional de Monitoreo de Calidad del Agua (RNMCA) tiene 5 028 sitios, sólo 1 118 (22%) son para monitorear el agua subterránea (Conagua, 2018a:58). El monitoreo evalúa parámetros fisicoquímicos y microbiológicos (aguas superficiales), pero no existe un monitoreo sistemático de contaminantes como metales pesados, principalmente en corrientes superficiales que reciben descargas de aguas de origen industrial o minero.

En la agricultura, distintos procesos de contaminación tienen lugar, por ejemplo, en la infiltración de las aguas de riego con contenidos de pesticidas, el exceso de agua de los campos irrigados se filtra al agua subterránea y puede producir el arrastre y concentración de sales o elevación de la capa freática, contribuyendo a procesos de salinidad; con la extracción excesiva, el nivel piezométrico desciende y propicia que los flujos subterráneos cambien y su composición química se desplace y mezcle con aguas de menor calidad o en el caso de acuíferos costeros se presenta la intrusión salina.

En las zonas urbanas, las fuentes potenciales de contaminación son las tuberías del drenaje de aguas municipales, ductos y depósitos de combustibles o sustancias químicas con fugas que pueden contaminar los acuíferos, así como la infiltración de los lixiviados de los basureros municipales. Un problema importante en algunas zonas urbanas del país es la presencia natural de ciertos componentes químicos como el arsénico y el fluoruro, que afecta a la salud de las personas que consumen el agua subterránea. Aunque se hable de contaminación “natural” no debe minimizarse que la presencia de arsénico, flúor, nitratos o de sólidos disueltos totales en el agua para distintos usos, se debe a la acción humana.

En el norte y centro de México existen valles de origen aluvial de edades que van del Cenozoico al Cuaternario, donde el clima es árido a semiárido con un promedio de precipitación pluvial anual de entre 400 a 800 milímetros. Muchas de estas planicies aluviales presentan problemas de arsénico en sus aguas subterráneas, tal es el caso de los estados de Coahuila y Durango (Comarca Lagunera), Chihuahua, Sonora y San Luis Potosí. En la Comarca Lagunera, los problemas de salud por arsénico como la melanosis, queratosis y cáncer de piel, han sido reportados desde la década de 1960 (Conagua/Semarnat, *s/f*:4). La presencia de flúor en el centro, norte, noroeste y parte del noreste del país da origen a zonas con alta prevalencia de fluorosis dental y esquelética (Huízar *et al.*, 2016:42).

La contaminación natural, cuyas repercusiones son directamente en la salud humana, deben ser atendidas con programas de monitoreo y protección de la salud pública. En el caso del monitoreo del agua subterránea, es vital incluir en la medición no sólo a los Sólidos Totales Disueltos, como se hace actualmente en la RNMCA, sino también la presencia de elementos como arsénico y flúor, especialmente en donde existen evidencias científicas de su presencia y de los daños en la salud de las personas desde hace varias décadas. Gun (2012:5) denomina a la contaminación progresiva, inherente a los estilos de vida actuales, como una “revolución silenciosa”, ya que se han generado tensiones en los sistemas de agua subterránea con un aumento considerable en los riesgos –a la salud– e incertidumbre por la disponibilidad futura y cumplimiento de la calidad.

Este trabajo tiene la finalidad de presentar un panorama general de la situación que guarda el agua subterránea y en particular en el acuífero de San Luis Potosí a partir de una revisión de diversas fuentes documentales que abordan problemáticas relacionadas con la calidad y cantidad del agua subterránea en detrimento de los habitantes del Valle de San Luis Potosí y del medioambiente.

ACUÍFERO DE SAN LUIS POTOSÍ

El acuífero del San Luis Potosí comprende parcial o totalmente los municipios de San Luis Potosí (SLP), Soledad de Graciano Sánchez (SGS), Mexquitic de Carmona, Cerro de San Pedro y Zaragoza y tiene una concesión de 154.52 Mm³/año (Conagua, 2020:7). El acuífero subyace, en lo que se conoce como Valle de San Luis Potosí (VSLP), donde se encuentra, en su porción central, la población de los municipios de SLP y SGS formando la Zona Metropolitana (ZM). En la zona, la temperatura media anual es de 17 °C, la precipitación es de 275 mm por año y una evaporación potencial de 1 900 mm anuales.

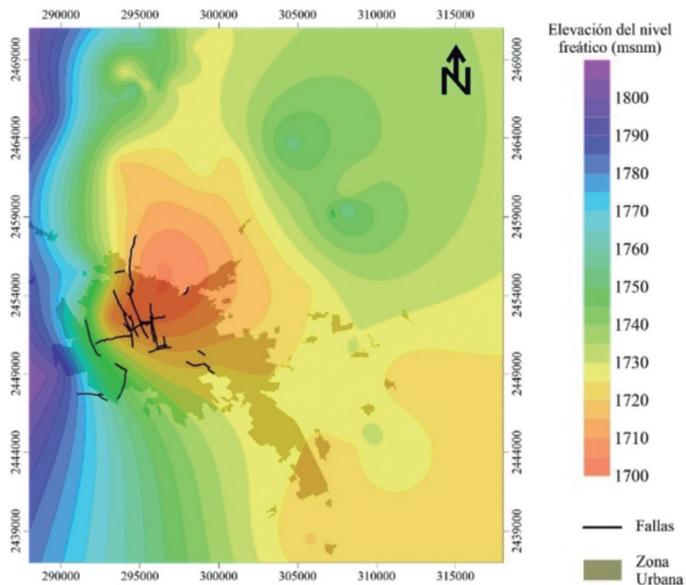
Este sistema acuífero está definido por una unidad somera formada por material de relleno (granular) y una unidad profunda constituida por roca volcánica fracturada (Ramos, 2007:36; Noyola *et al.*, 2009:401). Debido al origen y procesos geológicos de formación, las edades del agua subterránea en el medio granular van de 1 300 a 3 300 años, mientras que para el medio volcánico fracturado van de 5 300 a 6 500 años (Cardona *et al.*, 2006:24). Esta característica del sistema acuífero del VSLP hace que los procesos de tránsito y recarga sean muy lentos, es decir, se extrae más agua de la que el propio sistema tiene la capacidad para recargar.

La extracción intensiva del agua subterránea en las últimas décadas ha producido descensos importantes en los niveles freáticos, entre 1997 y 2007 se registró una disminución de 199 metros, dando lugar a un descenso generalizado que se extendía hacia la parte sur de la ciudad (López *et al.*, 2014:159). Además, la combinación entre el abatimiento del agua subterránea, la geometría del acuífero (asociados con procesos tectónicos) y la compactación diferencial del suelo, propicia la aparición de fisuras en el terreno urbano, incluso colapsos del suelo en el centro de la ciudad. En el Mapa 1 se muestran las fallas que siguen parcialmente los contornos de los niveles piezométricos, mismas que causan daños a la infraestructura urbana como calles, drenajes, edificios y viviendas (López *et al.*, 2014:293).

En 2006, del total del agua subterránea extraída, se destinaba 78% para consumo humano; para uso agrícola 19.8% y para la industria 7.7%. En 2019, según los datos del Repda (consultados en diciembre de 2019), 63% del agua que se extrae es para uso público-urbano, para la agricultura 20% y para la industria 10%. En general, las necesidades de abasto de agua para los distintos usos en el VSLP, son atendidas en más del 90% con agua subterránea (López *et al.*, 2013:13) y las condiciones actuales de sobreexplotación de este sistema acuífero lo ponen en un déficit de 76.42 Mm³/año para el 2018 (Conagua, 2020:2).

MAPA 1

Combinación de crecimiento urbano, reducción de niveles de agua subterránea y fallas en la superficie del Valle de San Luis Potosí



Fuente: López *et al.* (2014:294).

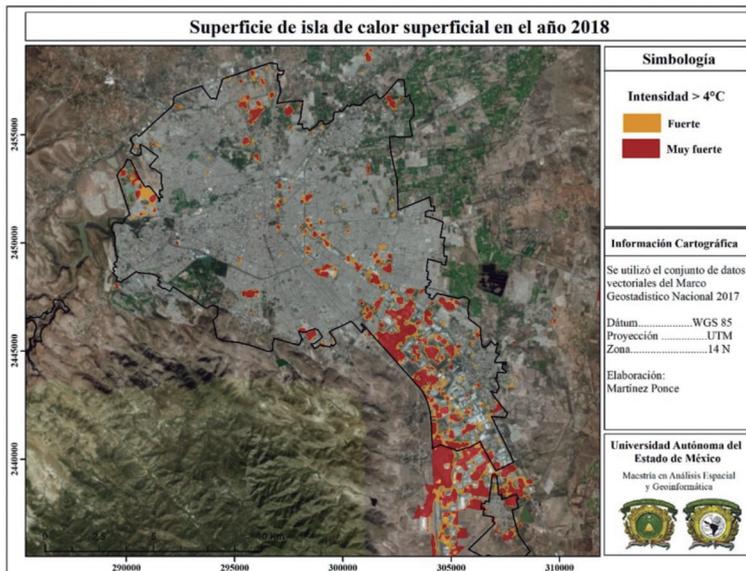
Por otro lado, las transformaciones urbanas en el Valle han dado lugar a cambios en los usos de suelo, áreas que tenían inicialmente una cobertura vegetal natural o bien eran de uso agrícola, se han incorporado a la mancha urbana, ya sea en zonas habitacionales o industriales. Entre 1970 y 1993 que se cuadruplicó la extensión del área urbana, esto como resultado del acelerado crecimiento de las ciudades manufactureras del interior del país. Según el Plan Centro de Población Estratégico, la proyección para el 2025 del crecimiento de la superficie urbana en el VSLP era de 25 300 hectáreas; sin embargo, para 2017 ya había alcanzado aproximadamente 23 600 hectáreas, es decir, 93.2% de lo planeado (Ayuntamiento de Soledad de Graciano Sánchez, 2003:10).

Además, en 2015, la población asentada en la ZM representaba 41.7% de la población total estatal; sin embargo, el crecimiento del suelo urbano ha sido difuso con una población dispersa próxima al límite urbano, dando lugar a la conurbación de los municipios ya no sólo de SGS sino también Cerro de San Pedro, Mexquitic de

Carmona, Zaragoza y Villa de Reyes, este último con un crecimiento industrial que hoy supera a SLP (Martínez, 2018:79).

Estos cambios en el paisaje natural han propiciado su reducción en 2.5 hectáreas por año entre 2010 y 2017 –lo que representan serias alteraciones en el ciclo hidrológico y en particular en los procesos de recarga para el acuífero de SLP. El crecimiento sobre la Sierra de San Miguelito, en la zona sur-poniente de la ciudad, ha dado lugar al incremento en la cantidad de escurrimientos cuya velocidad se ha triplicado, disminuyendo la infiltración al subsuelo (Alva y Martínez, 2017:74). Un fenómeno que se asocia con la pérdida de la cobertura vegetal natural debido a la urbanización, es lo que se conoce como islas de calor, que puede definirse como el calentamiento de la superficie terrestre por la ausencia de vegetación. En la investigación de Martínez-Ponce (2019:112) se estimó, con ayuda de la teledetección, que 29.4% de la superficie urbana de la ZM de SLP permite la formación de islas de calor, ubicando a las de mayor extensión e intensidad hacia el oriente de la ciudad, particularmente en la superficie de la zona industrial (Mapa 2).

MAPA 2
Islas de calor en la zona Metropolitana de San Luis Potosí



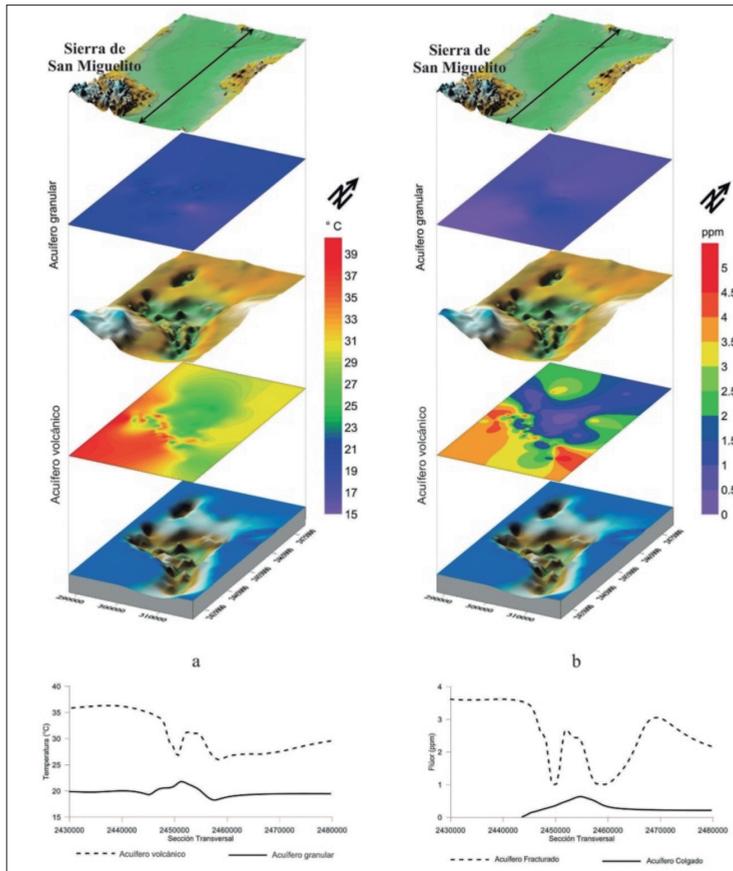
Fuente: Martínez-Ponce (2019:86).

La exposición a altas temperaturas tiene efectos severos en el medioambiente y la salud de la población. Ruiz (2014:37) advierte que con las islas de calor se generan “microambientes urbanos” con efectos en las funciones fisiológicas de las plantas, en particular con las relacionadas al desarrollo de la fotosíntesis y de regulación hídrica. Por otro lado, la Organización Mundial de la Salud (OMS), en 2018, advirtió que el aumento en la temperatura contribuye directamente a muertes por problemas cardiovasculares y respiratorios. Las altas temperaturas producen la persistencia de contaminantes en el aire y en el caso del polen y otras sustancias que provocan reacciones alérgicas, alcanzan niveles mayores con calor extremo (OMS, 2018). En el VSLP, en 2015, se registraron temperaturas máximas (atmosféricas) en mayo y junio de 34 y 30 °C respectivamente (Inegi, 2017). Con estas cifras, los lugares con escasa vegetación y presencia de pavimentación, techumbres laminadas o de concreto, producto de la extensión del suelo urbano, potencializan la formación de islas de calor.

En lo que se refiere a la calidad del agua subterránea en SLP, ésta depende principalmente de la unidad acuífera (granular o volcánica) de donde se extrae el recurso y, en el caso del acuífero granular, se adhiere la influencia antrópica. En la Figura 1 se muestran las diferencias en la temperatura y el pH del agua subterránea según la unidad acuífera. En lo relacionado con la temperatura, existen estudios donde se evidencian procesos de termalismo en la unidad volcánica fracturada (Carrillo *et al.*, 1996:27; Noyola *et al.*, 2009:339). En la Figura 1a, se muestra el rango de temperatura de entre 30 y 35 °C del agua en el medio volcánico, en contraste con la temperatura del medio granular, que es entre 15 y 23 °C. En adición a esta característica, la presencia de flúor está relacionada con el termalismo del agua que circula lateralmente por la sierra San Miguelito (Figura 1b), si bien la presencia de este elemento en el agua es por condiciones naturales, Cardona (2007:ii) afirma que la inducción de agua rica en flúor es ocasionada por el abatimiento de la carga hidráulica en el agua fría que permite que el flujo de agua termal profundo se eleve a la zona de extracción de los pozos.

Existe un tipo de contaminación que es de origen antropogénico y que está presente en el acuífero somero. En la investigación realizada por Almanza (2015:89) se presentan valores de coliformes totales y fecales, pH, sólidos totales disueltos, manganeso, nitratos, sulfatos, sodio y sustancias activas al azul de metileno que están por encima de los límites permisibles de calidad para el agua de consumo humano, los cuales están establecidos por la Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-1994. También se reporta la presencia de metales pesados principalmente en la zona industrial al sur de la ciudad, por lo que se atribuye a contaminación antropogénica por el uso del suelo. La calidad del agua para uso agrícola presenta problemas de media a alta salinidad, mientras que la calidad para uso industrial es en general buena (Moran, 2010:68).

FIGURA 1
 Diferencias hidrogeoquímicas en el sistema acuifero de San Luis Potosí



La dependencia por el agua subterráneas en el VSLP pone al sistema acuifero en una condición de vulnerabilidad debido a las características que definen la disponibilidad natural (baja precipitación y alta evapotranspiración, escasos escurrimientos, recarga limitada, hidrogeología) en combinación con el régimen de extracción, contaminación y una deficiente gestión. Según Vrba (citado en Díaz *et al.* 2013:16), la vulnerabilidad de las aguas subterráneas es una propiedad intrínseca al sistema acuifero que depende de la capacidad de éste para resistir los impactos naturales y humanos. Sin embargo, los ciclos de los sistemas naturales tienen cada vez más interrupciones y no

todos tienen la misma capacidad de reajustarse, no en los tiempos de los procesos socioeconómicos, por eso la vulnerabilidad del recurso hídrico se eleva.

REFLEXIONES FINALES

En un ejercicio de reflexión, vale la pena cuestionar si la vulnerabilidad es más bien el resultado de las formas de uso del agua subterránea como lo afirma Hernández (en Díaz *et al.* 2013:17), al decir que la vulnerabilidad hídrica es una construcción social, donde la dinámica de las formas actuales de vida revela la escasez del agua dulce disponible, una escasez diferenciada entre personas o grupos que fluctúa en tiempo y espacio.

El suministro de agua en el VSLP con un acuífero en condición de minado (Noyola *et al.*, 2009:406) y con efectos como hundimientos, extracción de agua con flúor y contaminación con metales pesados, da lugar a una competencia entre sus usos. Por un lado, está la demanda de una población creciente como producto del polo urbano comercial e industrial en que se ha convertido la ciudad de SLP y, a su vez, esta misma condición ha puesto en el mismo nivel de exigencia al uso industrial y de servicios (comerciales, hoteleros y restauranteros) que hasta hace unas décadas era menor su demanda. Por el otro, se ha puesto en el plano público que la escasez de agua en la ciudad es por condiciones naturales, cuando hay elementos que permiten cuestionar que la escasez se debe más bien a una gestión (político-jurídica) que posibilita aumentar la oferta de agua a un sector económico bien definido.

En la década de 1960, a pesar de los decretos de veda para el acuífero del VSLP, no se evitó el posicionamiento de actividades mineras, automotriz, metalmeccánico, manufacturero, alimenticio y químico. Actualmente, y con el reconocimiento de la Conagua, no ha sido un freno para que siga creciendo la industria y el suelo urbano bajo un acuífero en una condición de sobreexplotación.

Ortega Alba (citado en Cáncer 1999:45) asegura que, en la relación de las sociedades urbano-industriales, el territorio es víctima de la actividad humana. Urge una planificación posicionando a la naturaleza al centro de las decisiones, modificar los modelos de desarrollo capitalista que sobrepone el valor económico de la naturaleza sobre aspectos tan vitales para el ser humano como lo cultural y tradicional, lo emocional o lo estético. La Sierra de San Miguelito se ha convertido en un mosaico de edificaciones de alta plusvalía en vecindad con comunidades como San Juan de Guadalupe, Tierra Blanca o Escalerillas con un acceso limitado y en algunos casos nulo a servicios básicos como agua, drenaje, pavimentación, servicio de transporte. En el caso de Escalerillas, a pesar de estar en las inmediaciones de tres presas, no disponen de agua entubada.

En el caso de las periferias, se han asentado los lugares de desecho de los residuos urbanos líquidos y sólidos, donde la salud de la población está en riesgo al coexistir, por ejemplo, con las aguas residuales sin tratamiento a través del sistema de canales sin revestir que atraviesan comunidades y zonas agrícolas (antiguo camino a los Gómez, en Las Mercedes y La Libertad). O bien, a la salida del río Santiago donde intenta retomar su cauce natural, aunque en su camino vaya cargado de contaminantes a los que se exponen los agricultores de esta zona del Valle (Ejido Soledad). El caso del Valle de San Luis Potosí es el claro ejemplo de una relación desequilibrada entre la acción humana y su medio natural.

REFERENCIAS

- Almanza, O.G. (2015). “Índices de calidad del agua y vulnerabilidad acuífera de un sistema hidrogeológico: caso valle de San Luis Potosí”. Tesis de maestría. San Luis Potosí: Instituto Potosino de Investigación Científica y Tecnológica.
- Alva Fuentes, B. e Y. Martínez Torres (2017). “Crecimiento urbano y su impacto en el paisaje natural. El caso del Área Metropolitana de San Luis Potosí, México”, *Realidad, datos y espacio. Revista Internacional de Estadística y Geografía*, vol. 9, núm. 2, México: Inegi, pp. 66-77.
- Cáncer Pomar, L.A. (1999). *La degradación y protección del paisaje*. Madrid: Ediciones Cátedra.
- Cardona Benavides, A. (2007). “Hidrogeoquímica de sistemas de flujo, regional, intermedio y local resultado del marco geológico en la mesa central: reacciones, procesos y contaminación”. Tesis de doctorado. Ciudad Universitaria: Universidad Nacional Autónoma de México.
- Cardona Benavides, A., J. Martínez Hernández, R. Alcalde Alderete y J. Castro Laragoitia (2006). “La edad del agua subterránea que abastece la región de San Luis Potosí”, *Revista Universitarios Potosinos*, 2(7): pp. 20-25.
- Carrillo Rivera, J.J., A. Cardona y D. Moss (1996). “Importance of the Vertical Component of Groundwater Flow: a Hydrochemical Approach in the Valley of San Luis Potosí, Mexico”, *Journal of Hydrology*, núm. 185, pp. 23-44.
- Comisión Nacional de Derechos Humanos/Universidad Nacional Autónoma de México (CNDH/UNAM) (2018). *Estudio sobre la protección de ríos, lagos y acuíferos desde la perspectiva de los derechos humanos* [https://www.cndh.org.mx/sites/default/files/doc/Informes/Especiales/ESTUDIO_RIOS_LAGOS_ACUIFEROS.pdf], fecha de consulta: 14 de enero de 2020.
- Comisión Nacional del Agua (Conagua) (2018a). *Atlas del Agua en México* [http://sina.conagua.gob.mx/publicaciones/EAM_2018.pdf], fecha de consulta: 11 de enero de 2020.
- (2018b). *Estadísticas del Agua en México 2018* [http://sina.conagua.gob.mx/publicaciones/EAM_2018.pdf], fecha de consulta: 14 de enero de 2020.

- (2018c). *Actualización de la disponibilidad media anual de agua en el acuífero de San Luis Potosí (2411), Estado de San Luis Potosí* [https://sigagis.conagua.gob.mx/gas1/Edos_Acuiferos_18/sanluispotosi/DR_2411.pdf], fecha de consulta: 5 de enero de 2020.
- (2010). *Estadísticas del Agua en México 2010* [https://agua.org.mx/wp-content/uploads/2010/04/EAM2010_paraInternet16mzo2010.pdf], fecha de consulta: 14 de enero de 2020.
- Díaz, J.E., C.L. Rivera y J.A. Figueroa (2013). “Estudio de vulnerabilidad a la contaminación de un acuífero en el municipio de Yumbo, Valle del Cauca”, *Ingeniería y Región*, vol. 10, pp. 15-22.
- Ethos (2019). “Veda en 333 acuíferos el pasado sexenio, mermó reservas en 38%”, Ethos/ Milenio, Laboratorio de Políticas Públicas [<https://ethos.org.mx/ethos-publications/veda-en-333-acuiferos-en-sexenio-pasado-mermo-reservas-38/?fbclid=IwAR1QMGo4cwhOHMmqXkqFCvb7EgLEHI5C1fAF9Cwno1hU6Nx45PWBj7hAPr4>], fecha de consulta: 14 de enero de 2019.
- Gun, Jac van der (2012). *Groundwater and Global Change: Trends, Opportunities and Challenges*. París: United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization.
- H. Ayuntamiento de Soledad de Graciano Sánchez S.L.P. (2003). *Plan del Centro de Población Estratégico San Luis Potosí Soledad de Graciano Sánchez*, Centro de Población Estratégico San Luis Potosí-Soledad de Graciano Sánchez [https://www.municipiosoledad.gob.mx/pdf/transparencia/20_fraccionII/plan_poblacion_SLP-SGS.pdf], fecha de consulta: 20 de diciembre de 2019.
- Huízar Álvarez, R., J.J. Carrillo Rivera y F. Juárez (2016). “Fluoruro en el agua subterránea: niveles, origen y control natural en la región de Tenextepango, Morelos, México”, *Investigaciones Geográficas*, Boletín del Instituto de Geografía (90), pp. 40-58.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (Inegi) (2017). *Anuario estadístico y geográfico de San Luis Potosí 2017* [https://www.datatur.sectur.gob.mx/ITxEF_Docs/SLP_ANUARIO_PDF.pdf], fecha de consulta: 14 de enero de 2020.
- López Álvarez, B., J.A. Ramos Leal, J. Morán Ramírez, C. Cardona Benavides y G. Hernández García (2013b). “Cambios de uso de suelo y su impacto en el sistema acuífero del Valle de San Luis Potosí, aplicando modelación numérica”, *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, núm. 65, pp. 9-26.
- López Álvarez, B., J.A. Ramos Leal, J. Morán Ramírez, N. Carbajal, G. Hernández García y G. Santacruz De León (2014). “Modeling of Groundwater Flow and Water Use for San Luis Potosí Valley Aquifer System”, *Journal of Geography and Geology*, vol. 6, núm. 3, pp. 147-161.
- López Álvarez, B., J.A. Ramos Leal, G. Santacruz De León, J. Morán Ramírez, S.E. Carranco Lozada y C. Noyola Medrano (2013a). “Subsidence Associated with Land Use Changes in Urban Aquifers with Intensive Extraction”, Special Issue on Earth and Environment Sciences, *Natural Science*, 5(2A), pp. 291-295.
- Martínez Ponce, A.G. (2019). “Análisis de la isla de calor en el área metropolitana de San Luis Potosí y sus efectos en la salud de la población humana”. Tesis de maestría. México: Universidad Autónoma del Estado de México.

- Martínez, Y. (2018). “Crecimiento urbano en San Luis Potosí. Requerimientos para una ciudad emergente y sostenible”. Tesis de licenciatura. San Luis Potosí, México: Universidad Autónoma de San Luis Potosí.
- Noyola, M.C., J.A. Ramos, E. Domínguez, L.F. Pineda, H. López y N. Carbajal (2009). “Factores que dan origen al minado de acuíferos en ambientes áridos: caso Valle de San Luis Potosí”, *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, vol. 24, pp. 395-410.
- Organización Mundial de la Salud (2018). *Cambio climático y salud* [<https://www.who.int/es/newsroom/fact-sheets/detail/climate-change-and-health>], fecha de consulta: 1 de octubre de 2020.
- Ramos Leal, J.A., H. López Loera, V.J. Martínez Ruiz, J.J. Aranda Gómez (2007). “Sucesión de eventos y geometría de la parte central del acuífero del graben de Villa de Reyes (San Luis Potosí, México) inferida a partir de datos geoelectrónicos”, *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, vol. 24, pp. 31-46.
- Ruiz, J. (2014). “Microclimatología y ecofisiología de la vegetación urbana de la ciudad de Puebla, México”. Tesis de maestría. México: Universidad Nacional Autónoma de México.
- Smith, M., K. Cross, M. Padén y P. Laban (2016). *Managing Groundwater Sustainably*. Gland, Switzerland: IUCN [<https://portals.iucn.org/library/sites/library/files/documents/2016-039.pdf>], fecha de consulta: 14 de diciembre de 2019.
- The Groundwater Association (2016). *Facts About Global Groundwater Usage* [<http://futuredirections.org.au/wp-content/uploads/2016/01/global-groundwater-use-fact-sheet.pdf>], fecha de consulta: 10 de enero de 2020.

