



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE SAN LUIS POTOSÍ.



FACULTAD DE AGRONOMÍA Y VETERINARIA

EL AGUA DE SAN LUIS POTOSÍ, CONTAMINACIÓN Y SANEAMIENTO

Por:

Francisco Estrada Pérez

Trabajo Recepcional presentado como requisito parcial para obtener el título de

Ingeniero Agrónomo Zootecnista

ASESORES:

DR. JORGE ALONSO ALCALÁ JAUREGUI

DR. JOSE LUIS WOO REZA

M.C. ANTONIO BUEN ABAD DOMINGUEZ

Soledad de Graciano Sánchez, S.L.P.

Agosto de 2013

PÁGINA DE APROBACIÓN

El trabajo titulado **“El Agua de San Luis Potosí, Contaminación y Saneamiento”** fue realizado por: Francisco Estrada Pérez como requisito parcial para obtener el título de “Ingeniero Agrónomo Zootecnista” y fue revisado y aprobado por el suscrito Comité de Trabajo Recepcional.

Dr. Jorge Alonso Alcalá Jáuregui

Asesor

Dr. José Luis Woo Reza

Asesor

M.C. Antonio Buen Abad Domínguez

Asesor

Ejido Palma de la Cruz, Municipio de Soledad de Graciano Sánchez, S. L. P. a los 29 días del mes de agosto de 2013.

DEDICATORIA

El presente trabajo es en honor a las personas que día a día se esfuerzan, por mejorar y conservar los recursos naturales de los que disponemos, para poder desarrollarnos como personas, como sociedad y como planeta.

AGRADECIMIENTOS

A la Facultad de Agronomía y Veterinaria de la UASL, a su personal docente, administrativo, trabajadores de campo, laboratorio y biblioteca por haberme brindado su apoyo durante mi estancia en la institución.

Agradezco las facilidades que nos brindan nuestros gobiernos, al poner al alcance de toda la población la oportunidad de poder acudir a una institución de enseñanza superior.

A los profesores que dedican su tiempo a transmitir los conocimientos que servirán para formar verdaderos profesionales.

Agradezco el apoyo otorgado por todas las personas cercanas, que hicieron posible esto, que es uno de mis proyectos más importantes de vida.

Doy gracias a Dios, a mi familia y a nuestro México.

CONTENIDO

DEDICATORIA.....	iii
AGRADECIMIENTOS.....	iv
CONTENIDO.....	v
INDICE DE CUADROS.....	vi
INDICE DE FIGURAS.....	vii
RESUMEN.....	viii
SUMMARY.....	ix
INTRODUCCIÓN.....	1
REVISIÓN DOCUMENTAL.....	3
Hidrología Superficial, Regiones y Cuencas Hidrográficas.....	3
Hidrología Subterránea del Estado de San Luis Potosí.....	5
Zona 011 de San Luis Potosí.....	7
El Valle de San Luis.....	8
Localización.....	8
Clima.....	9
Antecedentes.....	9
Problemática.....	10
El Sistema Acuífero.....	10
Niveles estáticos del agua subterránea.....	11
Extracción de agua subterránea.....	12
Disponibilidad media anual.....	12
Balance de aguas subterráneas.....	12
Disponibilidad.....	13
Minado del Acuífero del Valle de San Luis Potosí.....	13
Crecimiento y Demanda de Agua de la Mancha Urbana.....	14
El crecimiento industrial y su demanda de agua.....	17
Calidad del Agua.....	19
Resultados de calidad del agua.....	20
Potencial de hidrógeno (pH).....	21
Temperatura.....	21

Conductividad eléctrica.....	21
Cloruros.....	21
Dureza.....	21
Nitratos.....	21
Coliformes.....	22
Flúor.....	22
Arsénico.....	22
Concentración de flúor y arsénico en la zona metropolitana.....	23
Causas de la mala la calidad del agua en el acuífero San Luís Potosí.....	24
Plan Integral de Saneamiento de las Aguas Residuales en la Zona Metropolitana de la Ciudad de San Luis Potosí y Soledad de Graciano Sánchez.....	25
Aguas Residuales.....	25
Aguas negras, agricultura periurbana y organización de regantes.....	27
Las fuentes de los sistemas de riego.....	28
Manejo Integrado y Sostenible del Agua.....	29
DISCUSION.....	35
CONCLUSIONES.....	36
LITERATURA CITADA.....	37

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro		Página
1	Zonas de Explotación del Estado.....	6
2	Registro de las estaciones meteorológicas cercanas al acuífero de San Luis.....	9
3	Crecimiento poblacional en el municipio de San Luis Potosí, S.L.P.....	15
4	Población Total Urbana (%) Rural (%).....	15
5	Plantas de tratamiento comprendidas en el Programa de Saneamiento de San Luis Potosí.....	26
6	Características de la presa el realito.....	29

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura		Página
1	Regiones hidrográficas del Estado de San Luis Potosí.....	4
2	Regiones geohidrológicas del Estado.....	7
3	Localización del acuífero del valle de San Luis.....	8
4	Localización de la zona urbana de San Luis Potosí.....	14
5	Localización de las plantas tratadoras en la zona metropolitana.....	33

RESUMEN

La hidrología de San Luis Potosí presenta dos zonas divididas por La Sierra Madre Oriental que son: La zona sur oriental, en la que existen ríos importantes, formando estos la región hidrológica 26 Panuco, así como la región hidrológica 37 El Salado en la parte noroeste del Estado, en lo que respecta a agua superficial. Siendo el agua subterránea la fuente más importante de abastecimiento en algunas zonas, en lo que respecta a estas el Estado se divide en tres provincias que son Mesa del Centro, Sierra Madre Oriental y Llanura costera del golfo, en las que podemos encontrar algunas fuentes de agua termal. El acuífero de San Luis Potosí se localiza en la parte sur occidental del estado, dentro de la zona de explotación 011, en la que las condiciones de clima son buenas, este acuífero enfrenta serios problemas de extracción, concentración de aprovechamientos y abastecimiento de agua, se estima que sufre una sobreexplotación de 2 a 1, atribuyendo tal hecho al crecimiento de la población, el incremento de la industria, así como al mal manejo del recurso, lo cual trae como consecuencia la escases de este, es por eso que en el presente trabajo se hace una revisión detallada de los principales puntos relacionados con este tema como lo son: Hidrología Superficial, Regiones y Cuencas Hidrográficas, así mismo trata lo referente a la Hidrología Subterránea del Estado San Luis Potosí, enfocando el tema de forma específica al estudio de El Valle de San Luis Potosí, conocer parte de sus condiciones climatológicas, su historia, así como los factores que causan la problemática en dicho tema. Cabe mencionar que la Calidad del Agua, en San Luis Potosí, se describe que no es la mejor, puesto que se han registrado altas concentraciones de Flúor y Arsénico. Encontramos que las autoridades competentes han implementado acciones, para hacer frente a los problemas ya mencionados, poniendo en marcha el Plan Integral de Saneamiento de las Aguas Residuales, en la zona metropolitana de San Luis Potosí y Soledad de Graciano Sánchez, del cual se hace referencia en el presente documento.

SUMMARY

The hydrology of San Luis Potosí, has two different areas divided by the Sierra Madre Oriental which are: The southeast area, where there are important rivers , forming these the Panuco hydrologic region 26, as well the region hydrologic 37 El Salado in the northwestern part of the state, with respect to surface water. Ground water being the most important source of supply in some areas, with respect to these the state is divided into three provinces and they are: Mesa Centro, Sierra Madre Oriental and Llanura Costera del Golfo, where we can find some sources thermal water. The aquifer of San Luis Potosí is located in the south western part of the state, within exploitation zone 011, where weather conditions are good, this aquifer is facing serious problems of extraction, concentration and water harvesting, is estimated to suffer overexploitation of 2 to 1, attributing this fact to population growth, increased industry and the mismanagement of the resource, which has resulted in the shortage of this, that's why the this paper is a detailed review of the main points related to this topic such as: Surface Hydrology, regions and watersheds, also is regarding the groundwater hydrology of San Luis Potosí, focusing specifically on the subject of study the Valley of San Luis Potosi, meet part of their weather conditions, its story, and the factors who cause the problem in this topic. It is noteworthy that the Water Quality issue is also considered in this work is not the best since it showed high concentrations of fluoride and arsenic. We found that the competent authorities have implemented actions to address the aforementioned problems, implementing the Comprehensive Wastewater Sanitation in the Metropolitan Area of San Luis Potosi and Soledad de Graciano Sánchez, which referred herein.

INTRODUCCIÓN

Hoy en día el mundo entero enfrenta un grave problema de escases de agua, tanto para consumo humano, animal, florístico, así como para los procesos productivos. Esta problemática se asocia a las bajas precipitaciones que se han registrado en los últimos años provocado por el cambio climático, aunado a esto el mal uso, manejo y distribución del recurso viene a intensificar su gravedad.

Por tal motivo los gobiernos en cada uno de sus niveles han tomado y seguirán tomando acciones para hacer frente a tal situación, ya que es un asunto que repercute tanto en el aspecto social, cultural, ecológico, económico y de salud.

No obstante debido a su localización geográfica el estado de San Luis Potosí, es una entidad que padece tal problema en la mayor parte del territorio, ya que su hidrología está formada por dos regiones hidrológicas que son “Región Hidrológica” Pánuco, la cual se extiende en toda la porción sur y sureste del estado, y la “Región Hidrológica” El Salado, que abarca la parte central y norte de la entidad, en lo que respecta a aguas superficiales. En la primera región se originan un buen número de escurrimientos afluentes que en cierto modo son de gran importancia para el Rio Panuco.

Región Hidrológica El Salado.

Esta región corresponde a una de las vertientes interiores más importantes del país. Se localiza en el altiplano septentrional y la mayor parte del territorio está situada a la altura del Trópico de Cáncer, está constituida por una serie de cuencas cerradas, de diferentes dimensiones y carece casi por completo de elevaciones importantes.

Esto último, aunado a las condiciones climatológicas de la región, hacen que no haya grandes corrientes superficiales por lo que la descripción del aspecto hidrográfico resulta un tanto complicado.

De los almacenamientos que sobresalen en esta región encontramos las presas San José, El Peaje y El Potosino, cuyas capacidades oscilan entre los 8 y 9 millones de m³.

Dada esta situación podemos decir que los recursos hídricos del suelo son la principal fuente de abastecimiento en el estado a pesar de su relativa potencialidad, debido a que las corrientes superficiales son limitadas y transitorias generalmente.

Ante esta panorámica que describe la disponibilidad del recurso hídrico en el estado, en particular la capital y área metropolitana de San Luis Potosí, es necesario intensificar las prácticas de saneamiento de las aguas negras que se están generando, esto con la finalidad de conservar el recurso y proteger el medio ambiente. Por tal motivo se propone como solución a esto, atribuirle un valor económico al agua, esta perspectiva, se ve concretada en los principios de “quien consume paga” y “quien contamina paga”, además de reasignar el recurso a los usuarios que hacen un uso más eficiente. Así se promueve un cambio en la valoración de este que, de un bien abundante, de buena calidad y gratuito pase a ser un bien escaso al cual habrá que aplicar un precio que refleje el costo real, incluyendo su descontaminación, otro punto clave es descentralizar el servicio de agua y saneamiento y hacer de los organismos encargados de este servicio instituciones operativa y financieramente autónomas (World Bank, 1994).

Es por eso que la CNA, tiene la facultad para otorgar concesiones que permitan el uso de las aguas que sean consideradas de propiedad nacional, al mismo tiempo se encarga de prevenir y controlar la contaminación de estas, poniendo en práctica los criterios establecidos en las normas oficiales mexicanas y en su caso con las demás condiciones particulares de descarga, a fin de reintegrar en condiciones adecuadas y permitir su utilización posterior en otras actividades o usos y mantener el equilibrio de los ecosistemas. (Ley de Aguas Nacionales y su Reglamento, junio de 2012).

El objetivo principal de este trabajo es revisar, y documentar la situación del recurso agua en el estado de San Luis Potosí, así como la problemática de contaminación ambiental, las políticas y estrategias de saneamiento.

REVISIÓN DE LITERATURA

Hidrología Superficial, Regiones y Cuencas Hidrográficas

De acuerdo al Ordenamiento ecológico de San Luis Potosí, 2010, La hidrología de San Luis Potosí presenta dos zonas divididas por La Sierra Madre Oriental:

- 1) La zona sur oriental, con climas cálidos y semicálidos tanto húmedos como subhúmedos (Planicie Costera), donde las abundantes precipitaciones contribuyen al cauce de ríos importantes como Santa María, Moctezuma y Tamaopón. Esta porción forma parte de la Región Hidrológica 26, Pánuco.
- 2) La zona occidental, donde el clima es seco y semiseco, las corrientes de agua son de carácter intermitente, por lo regular se forman en la temporada de lluvias y su curso es reducido, ya que generalmente desaparecen en las llanuras, debido a filtración y evaporación. Esta zona forma parte de la Región Hidrológica 37, El Salado; así como de una pequeña porción de la Región Hidrológica 12, Lerma-Santiago.

El marco hidrológico superficial del Estado de San Luis Potosí se describe en forma general, atendiendo a su ubicación hidrológica respecto a la clasificación por regiones. En la Figura 1, se presentan las regiones hidrográficas del Estado de San Luis Potosí.

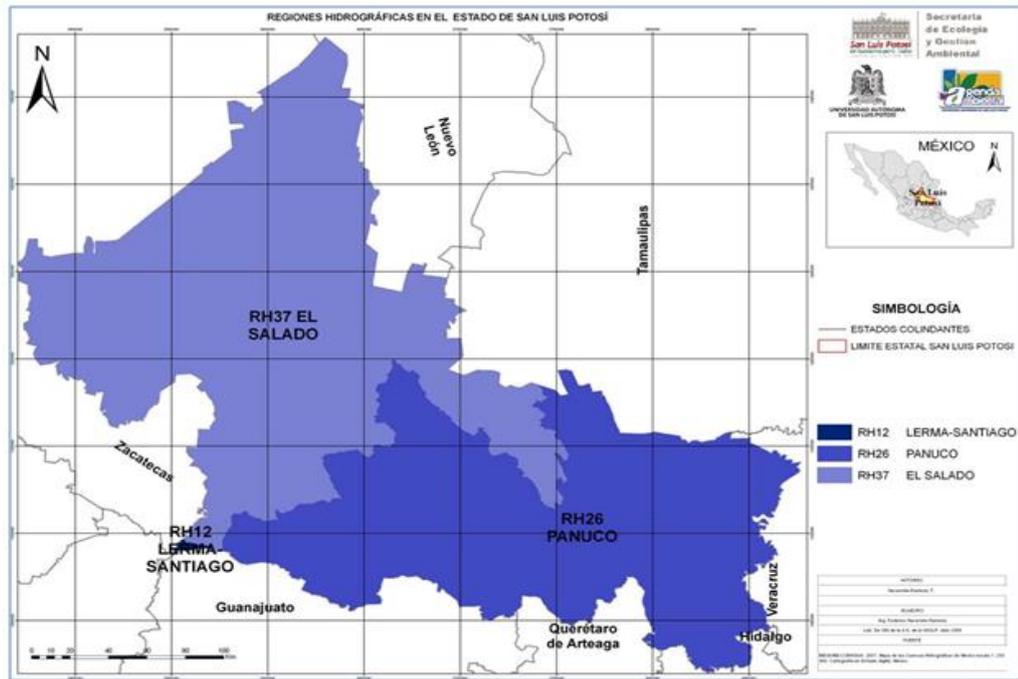


Figura 1. Regiones hidrográficas del Estado de San Luis Potosí. Fuente:
 Ordenamiento Ecológico de San Luis Potosí, 2010

Región Hidrológica 37, El Salado (RH-37). Por su extensión, corresponde a una de las vertientes interiores más importantes del país, se ubica en la altiplanicie septentrional, en toda la porción noroccidental del estado; su extensión dentro de territorio potosino corresponde a 54.2% de la superficie total. Dentro de la entidad limita al sureste con la Región Hidrológica 26, Pánuco. Está constituida por una serie de cuencas cerradas que se caracterizan por la carencia de grandes corrientes superficiales. En el estado se encuentran parte de seis cuencas que corresponden a esta región, de las que se describe solo las características de acuerdo al Ordenamiento ecológico de San Luis Potosí, 2010, por ser donde se encuentra ubicado el acuífero del valle de san Luis.

Región Hidrológica 26, Pánuco (RH-26). La Región Hidrológica 26 se divide en dos regiones: Alto Pánuco y Bajo Pánuco; comprende el 45.60% del territorio del Estado. En San Luis Potosí limita al noroeste con la Región Hidrológica 37, El Salado. Se considera la más importante por su escurrimiento, ya que en esta zona se genera una amplia red fluvial. En la entidad integran esta región cuatro cuencas.

Hidrología Subterránea del Estado de San Luis Potosí

En algunas zonas del Estado de San Luis Potosí, el clima desértico y semidesértico provoca que los recursos hidráulicos sean escasos y de disponibilidad transitoria; estas condiciones, por consecuencia, generan que el subsuelo constituya la fuente fundamental de abastecimiento de agua, condición esencial del desarrollo de los principales sectores productivos, así como a la mayoría de las poblaciones de la entidad. Los acuíferos regionales son controlados por factores estructurales y estratigráficos asociados a la topografía; ésta última es decisiva, ya que divide al Estado en tres provincias fisiográficas denominadas Mesa del Centro, Sierra Madre Oriental y Llanura Costera del Golfo Norte (Propuesta de Ordenamiento Ecológico de San Luis Potosí, 2010).

En la provincia Mesa del Centro el agua subterránea se encuentra en fosas tectónicas y en sinclinales de rocas sedimentarias. Las fosas tectónicas están rellenas con aluvión del Cuaternario y en algunos casos con sedimentos lacustres e intercalaciones de basaltos y tobas arenosas, así como ignimbritariolítica del Terciario. El aluvión es el material de mayor importancia hidrogeológica debido a su potencialidad en algunas zonas y a su permeabilidad, clasificada de media a alta.

En las provincias de la Sierra Madre Oriental y Llanura Costera del Golfo Norte, existe similitud hidrológica, ya que desde la sierra Álvarez hasta la región Huasteca, al oriente del Estado, el agua subterránea se almacena en dos sistemas hidrogeológicos: 1) rocas calcáreas y 2) rellenos aluviales. Las rocas calcáreas son calizas arrésciales de la formación El Abra, afloran desde la sierra Álvarez al poniente, hasta la sierra Cucharas al oriente, presentan permeabilidad secundaria que se califica como media. El material aluvial, constituido por sedimentos arenosos y arcillosos, rellena las partes topográficamente bajas, y por su composición granulométrica, se le asigna una permeabilidad de media a alta. En estas provincias se encuentran las siguientes zonas de explotación: Río Verde, Cedral-Matehuala-Huizache, Cerritos-Villa Juárez, San Nicolás Tolentino, Guadalcazar y Buenavista (Propuesta de Ordenamiento Ecológico de San Luis Potosí, 2010).

El Altiplano mexicano posee numerosos manantiales termales y zonas de manifestación termal, que ponen en evidencia la relación que tiene el agua al circular a través de las rocas volcánicas plutónicas, que aún conservan altas temperaturas,

para luego ascender y brotar en forma natural, o bien facilitar su explotación mediante pozos profundos. Existen en el Estado varios manantiales con caudales poco significativos, y otros de régimen permanente con buen rendimiento; entre los más conocidos destacan el de La Media Luna y el de Los Anteojitos, en el municipio de Río Verde; El Bañito, en el municipio de Ciudad Valles; El Taninul, en el municipio de Tamuín; Ojo Caliente y La Labor del Río, en el municipio de Santa María del Río; Gogorrón, en el municipio de Villa de Reyes; Jagüey de los Castillo, en el municipio de San Nicolás Tolentino; Ojo de León y Puerta del Río, en el municipio de Villa Juárez. Todos estos manantiales se utilizan con fines turísticos (Propuesta de Ordenamiento Ecológico de San Luis Potosí, 2010) .

En general, se puede mencionar que en la Zona Media y Oriente del Estado, las condiciones geológico-estratigráficas favorecen la presencia de innumerables manantiales, cuyos caudales de muchos de ellos alimentan los ríos más importantes de la región. En el Cuadro 1, se presentan las zonas de explotación del Estado de San Luis Potosí (Propuesta de Ordenamiento Ecológico de San Luis Potosí, 2010).

Cuadro 1, Zonas de Explotación del Estado, Fuente:Propuesta de Ordenamiento Ecológico de San Luis Potosí, 2010

No	Descripción	Clave
1	Vanegas – Catorce	001 Vanegas – Catorce
2	Santo Domingo	002 Santo Domingo
3	El Barril	003 El Barril
4	Salinas	004 Salinas
5	Ahualulco	005 Ahualulco
6	Villa De Arriaga	006 Villa De Arriaga
7	Cedral – Matehuala	007 Cedral– Matehuala
8	Villa De Arista	008 Villa De Arista
9	Villa Hidalgo	009 Villa Hidalgo
10	Buena Vista	010 Buena Vista
11	San Luis Potosí	011 San Luis Potosí
12	Villa De Reyes	012 Villa De Reyes
13	Matehuala – Huizache	013 Matehuala – Huizache
14	Cerritos - Villa Juárez	014 Cerritos - Villa Juárez
15	Río Verde	015 Río Verde
16	San Nicolás Tolentino	016 San Nicolás Tolentino
17	Santa María Del Río	017 Santa María Del Río
18	Huasteca Potosina	018 Huasteca Potosina
19	Tamuín	019 Tamuín

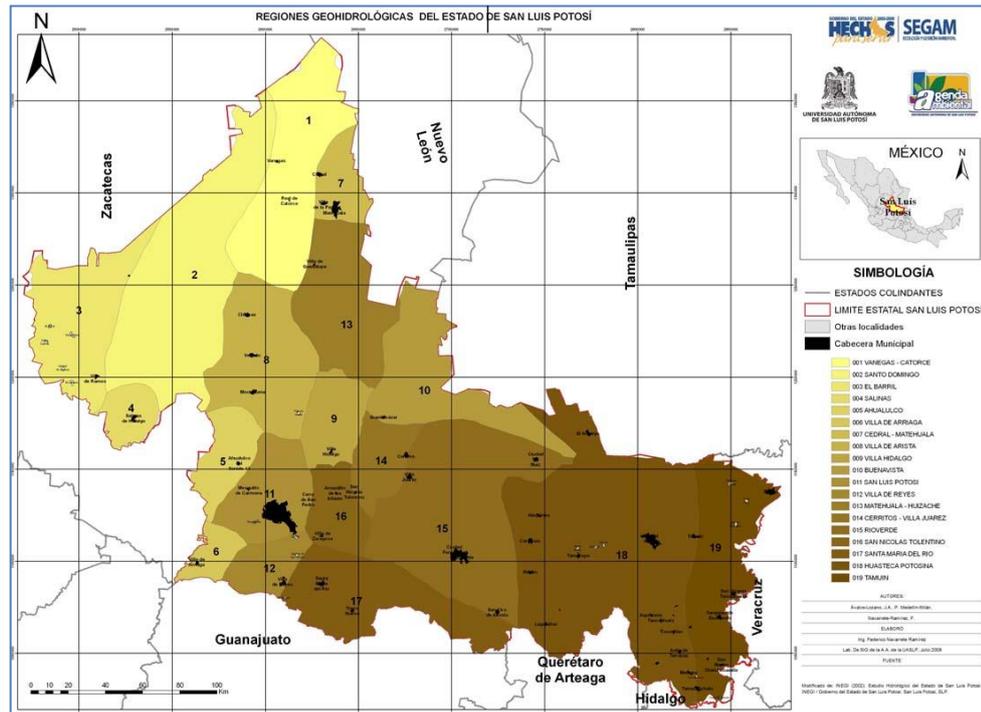


Figura 2. Regiones geohidrologicas del Estado, Fuente:Propuesta de Ordenamiento Ecológico de San Luis Potosí, 2010

Zona 011 de San Luis Potosí.

Se ubica entre la sierra de San Miguelito y la sierra Álvarez, en el suroeste del Estado. En esta zona se asienta la ciudad de San Luis Potosí, formada por un graben o fosa tectónica escalonada, delimitada por rocas volcánicas del Terciario, que sobreyacen discordantemente a rocas sedimentarias marinas del Cretácico Superior. La fosa tectónica se encuentra cubierta por material aluvial de espesor muy variable, desde 80 a 350 m y en ocasiones mayores de 400 m. (Propuesta de ordenamiento ecológico 2010).

A los sedimentos aluviales subyacen en contacto discordante, ignimbritas riolíticas y tobas arenosas del Oligoceno Superior, así como en forma concordante a latita e ignimbrita del Oligoceno Medio. La permeabilidad del material de relleno aluvial es clasificada como media alta en material no consolidado. Se han identificado tres cuerpos hidrogeológicos: un acuífero somero entre 5 y 30 m que coincide con las áreas de los cauces de ríos y arroyos; un acuífero libre que se encuentra entre los 80 a 105 m de profundidad en las regiones de recarga al occidente y oriente de la zona, y de los 140 a 180 m en el cono de abatimiento del valle de San Luis Potosí; el tercero es un acuífero profundo que se encuentra a partir de los 180 a 320 m, en donde se ha detectado agua termal. La transmisibilidad para el acuífero

profundo varía entre 0.3 y $9 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{seg}$, mientras que el coeficiente de almacenamiento varía entre 0.5 y 0.006m^3 (Propuesta de ordenamiento ecológico 2010).

El Valle de San Luis

Localización

El Acuífero San Luis Potosí, según acuerdo publicado en el Diario Oficial de la Federación del 31 de enero de 2003, se localiza en la parte sur - occidental del estado de San Luis Potosí, cubriendo un área aproximada de 1,980 Km², comprende parcialmente los Municipios de San Luis Potosí, Soledad de Graciano Sánchez, Mexquitic de Carmona, Cerro de San Pedro y Zaragoza, tal y como se muestra en la figura 3. (COTAS, et al, 2005).

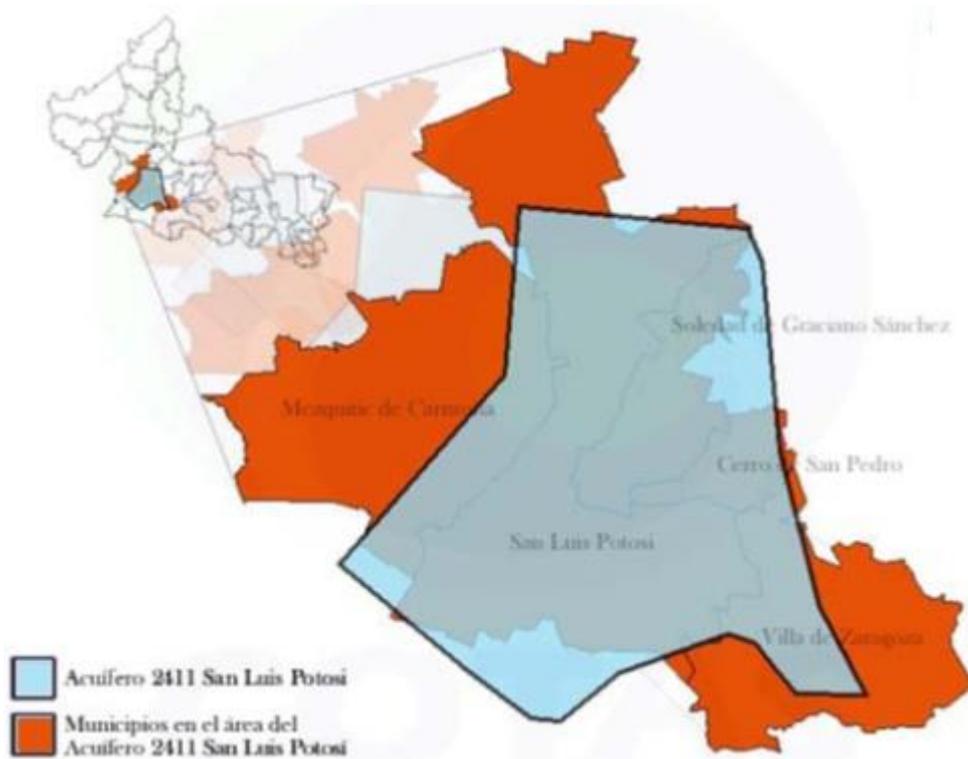


Figura 3. Localización del acuífero del COTAS, et al, 2005 valle de San Luis. Fuente Cotas, 2005

El área de estudio comprende la cuenca endorréica de San Luis Potosí, que forma parte de la Región Hidrológica N°37 “El Salado”. La zona conurbada de San Luis Potosí y Soledad de Graciano Sánchez se ubica al centro de esta cuenca hidrológica, la cual queda enmarcada por las coordenadas geográficas $21^{\circ}54'54''$ a $22^{\circ}28'15''$ de latitud norte y $101^{\circ}13'44''$ a $100^{\circ}37'08''$ de longitud oeste. La cuenca

hidrológica, que corresponde a la unidad hidrogeológica queda limitada por los siguientes rasgos orográficos: al norte corresponde al conjunto de cerros denominados “Alto La Melada”, al poniente y sur por la Sierra de San Miguelito y al oriente por la Sierra de Álvarez (COTAS, et al, 2005)

Clima

A continuación se muestra la tipificación del clima de la zona del acuífero 2411 “San Luis Potosí”.

Tipo: Templado con Verano Cálido -Semiárido

Precipitación Media Anual: 402.6 mm.

Temperatura Media Anual: 17.5 °C

Evaporación Media Anual: 2038.7 mm.

(CNA-GESLP, 2002, Citado por COTAS et al, 2005)

Los valores anteriores se calcularon utilizando los registros de las siguientes estaciones climatológicas que se presentan en el cuadro 2.

Cuadro 2. Registro de las estaciones meteorológicas cercanas al acuífero de San Luis. Fuente (CNA-GESLP, 2002, Citado por COTAS et al, 2005).

Estación	Clave de Estación	Periodo de Registro
Los Pilares	24038	1962-2000
Villa Hidalgo	24102	1962-1986
Armadillo de los Infante	24004	1961-2000
Mexquitic de Carmona	24042	1944-2000
San Luis Potosí	24111	1966-2000
El peaje	24024	1964-2000
Zaragoza	24106	1961-2000

Antecedentes

La historia del Valle de San Luis se remota al siglo XVI con el descubrimiento de yacimientos de oro y plata en el llamado Cerro de San Pedro y la presencia de cuerpos de agua en el valle. A partir de éste periodo se da inicio a los dos primeros usos de suelo (agrícola y minero); Un tercer uso de suelo fue el industrial el cual

surgió de manera importante en la segunda mitad del siglo XX (López y Ramos, 2007).

Problemática

El acuífero de San Luis Potosí es la fuente de abastecimiento de más del 40% de la población del estado, de él dependen los municipios de San Luis Potosí, Soledad de Graciano Sánchez, Cerro de San Pedro, Mexquitic de Carmona y Villa de Zaragoza. Este acuífero enfrenta serios problemas de extracción, concentración de aprovechamientos y abastecimiento de agua, se estima que sufre una sobreexplotación de 2 a 1, esto es, que en promedio se está extrayendo el doble de la recarga (CNA et al, 2005). Declarado desde 1961 zona de veda para el alumbramiento de aguas subterráneas, el acuífero opera bajo un régimen de extracción que ha acelerado el abatimiento de los niveles de agua y ha encarecido los costos de bombeo; situación que no solo prevalece sino presenta una tendencia creciente que pone en riesgo el abastecimiento y la calidad del agua potable para las poblaciones que de él dependen.

Aunado a lo anterior, en la ciudad de San Luis Potosí se genera el 79.4% del valor bruto de la producción del Estado, propiciando que la ciudad y sus municipios conurbados sean un polo de desarrollo y crecimiento urbano inevitable y bienvenido. El impacto socioeconómico del acuífero, la grave sobreexplotación a la que se encuentra sometido y el crecimiento de la población que de él depende, obliga a tomar medidas urgentes que nos encaminen a su recuperación y conservación (COTAS et al, 2005).

El Sistema Acuífero

El sistema está formado por un acuífero somero en medio granular en depósitos aluviales, un acuífero intermedio de material sedimentario compuesto por gravas, arenas y limos semiconsolidados y un acuífero profundo en un medio fracturado de origen volcánico, denominado Latita Portezuelo (Noyola et al, 2009).

Para la capa de arenisca fina compacta que separa los acuíferos somero y profundo, CNA (1996) reporta valores de conductividad hidráulica horizontal (a partir de 26 pruebas recuperación y abatimiento) realizadas en piezómetros e interpretadas con el método de Hvorslev (1956) de $\approx 1 \times 10^{-9}$ m/s (valores extremos de 1.3×10^{-6} m/s y

3.5x10⁻¹² m/s). Las pruebas fueron realizadas en piezómetros instalados en los primeros 20 metros de la capa de arenisca fina compacta; los gradientes hidráulicos (horizontal y vertical) medidos en el mismo sitio fueron de 0.007 y ≈1.0 respectivamente.

El acuífero profundo en medio granular, es actualmente explotado por pozos que alcanzan profundidades hasta 350 m de material sedimentario. El límite superior del acuífero profundo se encuentra aproximadamente de 100 a 150 m de profundidad. El acuífero profundo es confinado en el centro de la cuenca por una capa arenisca fina poco permeable. El espesor de acuífero granular cuyo espesor va de 100 a 200 m. El material granular de relleno de la fosa tectónica manifiestan rendimientos entre 0.003 y 0.035 m³/s (Carrillo, 1992). Tiene pozos con temperatura entre 23 y 27° C, valores de conductividad hidráulica en promedio presentado por Carrillo (1992) es de ≈1 x10⁻⁴ m/s y es de tipo libre fuera de esa región.

El acuífero profundo en medio fracturado corresponde a la Latita Portezuelo que aporta flujos importantes al medio granular. Los pozos que captan la roca volcánica fracturada (formaciones Riolita Panalillo, Ignimbrita Cantera o Latita Portezuelo) producen entre 0.005-0.055 m³/s. Los pozos más productores se localizan en las inmediaciones de las zonas de fallas normales que limitan la fosa tectónica, en donde la temperatura del agua subterránea es de más de 33° C.

Niveles estáticos del agua subterránea

Para el año de 1995 se desarrolla un gran cono de abatimiento en la ciudad de San Luis Potosí (Ramos, 1997, citado por COTAS, 2005).

La recarga principal al acuífero se efectúa en el flanco oriente del Valle de San Luis Potosí, así como al Norte de la Sierra de San Miguelito hacia el Valle de Escalerillas. Para el 2001, se conserva el mismo cono de abatimiento.

Basados en la red piezométrica del 2003, se observa que predomina el cono de abatimiento de la ciudad de San Luis Potosí. Los gradientes hidráulicos convergen hacia el cono de abatimiento regional. El cono se ha profundizado 60 m de 1971 a 1995 (CNA, 1996). Considerando la evolución del nivel estático para el periodo de

1995-2001, se observa que durante el lapso de 6 años la profundidad del nivel estático aumento hasta 25 m en el centro del cono de abatimiento y se desarrollo hacia la parte norte; sin embargo hubo zonas en las que no hubo abatimiento de los niveles (Ramos et al, 2005, citado por COTAS et al 2005).

Extracción de agua subterránea

Para conocer los datos sobre la extracción del agua subterránea en el Valle de San Luis Potosí, se cuenta con un censo de captaciones realizado en 1995-96 por la Comisión Nacional del Agua. Para el balance geohidrologico de 1995 se indica un volumen de extracción de 110.273 Mm³/año, una recarga estimada de 73.6Mm³/año, lo que da un déficit de 36.66 Mm³/año, Para el balance del 2002 (CNA), publicado en el Diario Oficial de la Federación de fecha 31 de enero de 2003, se da a conocer la disponibilidad de aguas subterráneas con un volumen de extracción de 120.6 Mm³/año, una recarga total de 78.1 Mm³/año (incluye recarga natural, inducida y flujo subterráneo) y con un déficit de 42.5 Mm³/año.

Vale la pena destacar que en 1960 el 59% del agua para uso doméstico era superficial y 41% provenía del acuífero; en el 2005 las cifras mostraban que el 92% del agua era obtenida del subsuelo y sólo el 8% era agua superficial (COTAS-CONAGUA, 2005). De manera que se ha presentado un incremento en el volumen de agua extraído –para todos los usos- del acuífero, el cual pasó de 0.97 m³/s en 1970 a 3.5 m³/s en 1999 y para el año 2007 se reportaba que ese volumen ascendía a 4.1 m³/s (Hergt et al. 2009).

Disponibilidad media anual

Balance de aguas subterráneas

Los dos balances más recientes son de 1995 y 2002, en el primero se calculó un déficit de:

$$R - B = \text{Déficit (V)}$$

$$73.611 - 110.273 = -36.66 \text{ (Mm}^3\text{/año)}$$

El balance de 2002 reporta un déficit de 42.5 Mm³/año

$$R - B = \text{Déficit (V)}$$

$$78.1 - 120.6 = -42.5 \text{ Mm}^3\text{/año}$$

En donde: R = Recarga Mm³/año y B = Extracción Mm³/ año.

Cabe mencionar que para la realización del balance del 2002 se utilizaron datos anteriores al 2002 y no se llevo a cabo un censo de aprovechamientos para poder establecer un valor de extracción más real al año en que se llevo a cabo el balance, para sopesar lo anterior, se consideró un desglosé de las posibles fuentes de recarga y se determinó mediante ecuaciones el coeficiente de almacenamiento (CNA;2002).

Disponibilidad

La disponibilidad se obtiene según la NOM-011-CNA-2000:

Disponibilidad

La disponibilidad es igual a:

(Recarga Total media anual)-(Descarga natural comprometida)-(Volumen de agua concesionado e inscrito en el REPDA)-71,246,618=78,100,000-0.0149,346,618

Según el estudio de CNA (2000) no existe volumen disponible para nuevas concesiones en el acuífero 2411 'San Luis Potosí'.

Minado del Acuífero del Valle de San Luis Potosí

Con el análisis de datos históricos y recientes de hidrogeología, geofísica, cambio de uso del suelo, clima y las prácticas de manejo del recurso hídrico apuntan a una continua disminución de los volúmenes de agua subterránea (Noyola et al, 2009). Esto revela que el acuífero del Valle de San Luis Potosí se comporta como un recurso minado. Los factores que afectan negativamente la recarga hacia el valle son: la baja permeabilidad de los materiales rocosos que bordean al valle y que inhiben la infiltración hacia el subsuelo, la baja precipitación y alta evaporación característica de regiones áridas, la erosión de suelos deforestados en las sierras aledañas que impiden la retención de agua, y la construcción de presas en materiales rocosos de baja permeabilidad que reducen drásticamente el flujo de agua a zonas de infiltración en el valle.

Adicionalmente, las edades del agua en el medio granular van de 1300 a 2300 años, mientras que en el medio fracturado van de 5300 a 6300 años, indicando ritmos muy lentos de recarga. Los últimos balances hidrogeológicos anuales correspondientes a los años 1995 y 2002 indican que el déficit se incrementó de 36.6×10^6 a $42.5 \times 10^6 \text{m}^3/\text{año}$. Estos balances coinciden en la existencia de un desequilibrio en la extracción que duplica a la recarga, y dadas las condiciones

climáticas del área, conlleva a una condición de minado del agua subterránea en el Valle de San Luis Potosí. (Noyola et al, 2009)

Crecimiento y demanda de agua de la mancha urbana

Las cabeceras municipales de San Luis Potosí y Soledad de Graciano Sánchez, se localizan en la cuenca cerrada del valle de San Luis Potosí.

La mancha urbana queda comprendida entre los 22° 04' y 22° 13' de latitud norte y entre los 100° 52' a 101° 03' de longitud oeste, con una altura promedio de 1,860 metros sobre el nivel medio del mar (Figura 4).

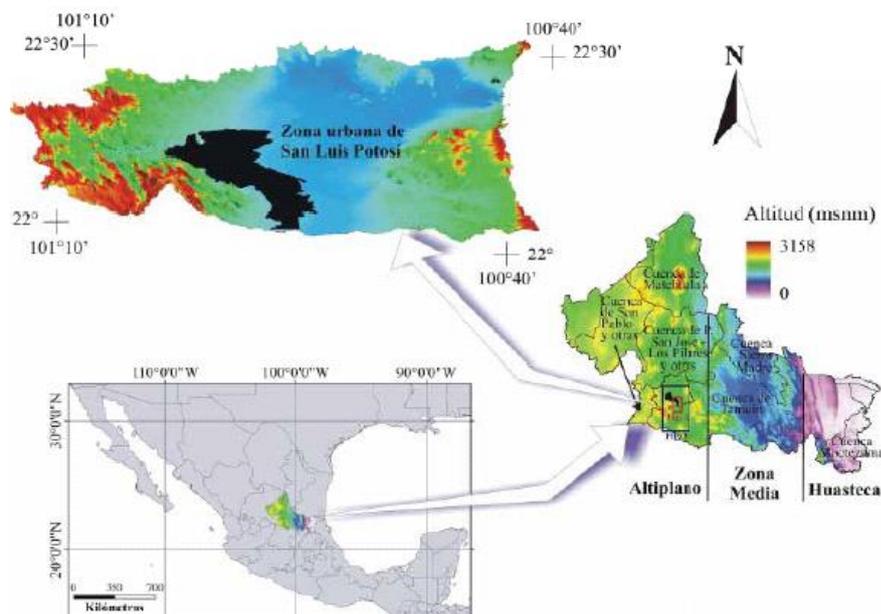


Figura 4. Localización de la zona urbana de San Luis Potosí. Fuente: Noyola et al, 2009

La ciudad de san Luis Potosí, y con ella la zona metropolitana, ha experimentado en las últimas cinco décadas un importante incremento poblacional. Se localiza al interior del municipio de San Luis Potosí, el cual representa el 2.4 % de la superficie estatal con 1,443 km².

El estado de San Luis Potosí se encuentra ubicado en el centro de la República Mexicana. En el año 2010 contaba con una población total de 2'585,000 de habitantes, estimándose una tasa de crecimiento de 0.20% anual en el periodo 2010-2030. Para ese mismo año, la zona metropolitana de San Luis Potosí, conformada por los municipios de San Luis Potosí, Soledad de Graciano Sánchez y Cerro de San Pedro, contaba con 1'044,464 habitantes, estimándose una tasa promedio de crecimiento del 1.13% anual proyectada para el periodo 2010- 2030 (Muñiz, 2012).

Cuadro 3. Crecimiento poblacional en el municipio de San Luis Potosí, S.L.P.
 Año Población Total Urbana (%) Rural (%). Fuente: Modificado de INEGI, 2000, Resultados Definitivos VII, VIII, IX, X, XI y XII Censos Generales de Población y Vivienda 1950, 1960, 1970, 1980, 1990, 1995, 2000, 2005 y 2010.

Año	Población	% Urbana	% Rural
1950	155238	83.1	16.9
1960	193670	84.9	15.1
1970	267951	85.9	14.1
1980	406630	91.1	8.9
1990	525733	94.3	5.7
1995	625466	95.2	4.8
2000	670532	96.1	3.9
2005	730950	95.7	4.3
2010	772604		

El crecimiento urbano se ha dado en la parte sur del municipio, el cual corresponde con el crecimiento de la ciudad. En 1950 el 83.1% de la población del municipio era considerada urbana y para el año 2000 la población bajo esta condición ascendió a 670,532 habitantes. De manera que en el año 2000 la densidad poblacional fue de 495.5 habitantes por kilómetro cuadrado y para el año 2005 fue de 506.5 habitantes por kilómetro cuadrado. La población total del municipio representa el 29.1 % de la población total del estado de San Luis Potosí.

En 1960 el 69.4 % de la población del municipio de San Luis Potosí disponía de agua entubada (no potable) modificándose este porcentaje para el año 1995 cuando se alcanzó una cobertura del 97.5 %. Las estadísticas actuales muestran que el 98.7 % de las viviendas asentadas en el área urbana cuentan con servicio de agua potable y que el 89.3 % cuentan con servicio de alcantarillado. La demanda media de agua potable para uso doméstico es de 35,779 m³/bim que se traducen en 1,209.255 lps (CNA, 2006, citado por Maza, 2010). Para satisfacer las necesidades de la población se extraían 2,400 lps (76 Mm³/año) del acuífero y 210 lps (7 Mm³/año) del sistema de presas. (Maza y Santa Cruz, 2010)

En el 2006 el volumen de agua subterránea extraída fue de 92.2 Mm³/año. Para satisfacer la demanda de agua potable en ese mismo año se operaron 125 fuentes de abastecimiento 4 localizadas dentro de la zona metropolitana de la ciudad de San Luis Potosí. Estas fuentes son pozos profundos cuya profundidad varían entre los 270 metros a 700 metros. La demanda media de agua potable para uso doméstico es de

35.779 m³/bim y para uso industrial es del orden de 355.066 m³/bim, esto se traduce en 1,209.255 lps para uso doméstico y 96.986 lps para uso industrial (CNA, 2002).

La demanda de agua potable con el esquema de uso actual, resulta alta respecto a dotación diaria y suministro constante y, en lo referente a cobertura, ésta es del orden del 95%, lo que en esta época ya debería ser del 100%.

Debido a la sobreexplotación del manto acuífero de la zona conurbada y la degradación de su calidad en ciertas zonas de la ciudad, aunado al incremento de la demanda de los servicios, es necesario llevar a cabo obras y acciones que contribuyan al aseguramiento del vital líquido para satisfacer la demanda actual y futura de la zona metropolitana de San Luis Potosí, por ello los tres niveles de gobierno conjuntamente con el organismo operador INTERAPAS establecieron como prioridad realizar en forma integral un programa de planeación y control para la sostenibilidad de los servicios de agua potable, alcantarillado y saneamiento para el mediano y largo plazo. Para lo cual se estudiaron diversas fuentes de abastecimiento lejanas, siendo la más adecuada el río Santa María (Muñiz, 2012).

El proyecto “El Realito”, que consiste en la construcción de una Presa de Almacenamiento para una capacidad útil de 57 m³, dicha presa se ubicará en el Estado de Guanajuato con una línea de conducción de 130 km. de longitud y de varios diámetros, una planta potabilizadora y tres estaciones de bombeo para un gasto medio en San Luis Potosí de 1 m³/seg. Actualmente la cortina de la presa se encuentra en proceso de construcción por parte de CONAGUA y la línea de conducción (Plan Estratégico SLP-SDGS, 2011)

Para satisfacer la demanda de agua del sector agrícola se extraen del acuífero 35 Mm³/año y 8 Mm³/año para el sector industrial, por lo que se considera que la explotación actual es de 119 Mm³/año y considerando que la recarga es del orden de los 84 Mm³/año, se tiene entonces una sobreexplotación. Esto ha ocurrido a pesar de que, mediante un decreto presidencial publicado en el Diario Oficial de la Federación el 30 de Junio de 1961, se declaró Zona de Veda para parte del valle de San Luis Potosí y posteriormente, el 18 de Octubre de 1962, se vedó la porción complementaria de los valles de San Luis Potosí y Villa de Reyes. Decreto con el cual se cubrió prácticamente toda el área de explotación de ambos valles.

El 3 de diciembre de 1985, se vedaron las porciones faltantes de los municipios de San Luis Potosí y Villa de Reyes, con lo que quedó cubierta, incluso, la zona de recarga de estos acuíferos (CNA, 2002). El objetivo de las vedas fue restringir el

alumbramiento de aguas del subsuelo para cualquier uso, excepto para fines doméstico y abrevadero; de manera que, de acuerdo con la CNA (2002), solo se han permitido reposiciones y relocalizaciones de pozos, así como la transmisión de derechos de volúmenes de aguas subterráneas tendientes a desconcentrar la extracción y no se han permitido extracciones adicionales, excepto para el uso público-urbano en zonas rurales, donde no se contaba con el servicio.

El Crecimiento industrial y su demanda de agua

En el estado de San Luis Potosí el 70.4% de la producción la generan el ramo de servicios, el sector manufacturero y el comercial, los que en conjunto ocupan el 79.3% del empleo formal. A pesar de ello, se afirma que en los últimos cuatro años (2005-2009) la economía local está dinamizada por el sector manufacturero, el cual en el año 2006 aportó el 24% del Producto Interno Bruto (PIB) estatal. Por otro lado, el 27% de la Población Económicamente Activa (PEA) del estado de San Luis Potosí -que ascendía a 1 millón 30 mil 198 habitantes- se localiza en el municipio del mismo nombre.

La ciudad de San Luis Potosí cuenta con dos zonas industriales, ubicadas al sur de la ciudad sobre la carretera San Luis Potosí-México; la Zona Industrial del Potosí (clasificada como la segunda zona industrial más extensa del país) cuenta con una superficie de 1,238 ha; la otra denominada Zona Industrial de San Luis que cuenta con una extensión territorial de 1,086. La segunda se creó el 23 de octubre de 1963 por decreto de la XLIV Legislatura del Estado y el 15 de septiembre de 1981, por decreto de la XLIX Legislatura del Estado, se creó la Zona Industrial del Potosí. Es importante destacar que los terrenos expropiados para estos fines pertenecían a los ejidos La Libertad, Joya de San Elías, El Aguaje y Villa de Pozos, así como predios de particulares. En la zona industrial, el abastecimiento de agua potable se realiza por medio de 37 pozos, que se distribuyen de la siguiente manera: 30 localizados en diferentes empresas, 5 controlados por el organismo operador y 2 administrados por el Gobierno del Estado. Son 396 las empresas que están instaladas en ambas zonas (incluyendo los parques industriales públicos y privados), de las cuales 295 son manufactureras industriales; en el REPDA, cuya última actualización fue del lunes 31 de agosto de 2009 y que presenta registros de uso industrial que tienen fecha de 1995 a 2008, aparecen registradas 82 giros industriales. Por otro lado, en conjunto esas 82 empresas cuentan con 94 aprovechamientos subterráneos; en estos destaca

que Industrial Minera México, S.A. de C.V. cuenta con un título de concesión que ampara cuatro aprovechamientos subterráneos, siendo la empresa que cuenta con el mayor número de ellos y el volumen total concesionado a esta empresa es de 1.97 Mm³/año; es importante señalar que esta compañía no está instalada en alguna de las dos zonas industriales, si no que se encuentra al interior de la zona urbana de San Luis Potosí y la que mayor volumen concesionado tiene (INTERAPAS, 2006, citado por Masa y Santacruz, 2010).

Existen 12 empresas cuyo volumen concesionado está entre 0.6 Mm³/año y 0.3 Mm³/año de agua y cuentan con 18 aprovechamientos subterráneos; además destaca, lo que probablemente es una inconsistencia del REPDA, que ninguna de estas empresas reporta volúmenes de descarga de agua residual. Del mismo modo, 23 empresas tienen un volumen concesionado que está entre 0.28 Mm³/año y 0.1 Mm³/año y en total poseen 27 aprovechamientos subterráneos, en estas no se manifiestan volúmenes de agua residual (INTERAPAS, 2006, citado por Masa y Santacruz, 2010).

Ahora bien, existen 23 empresas con un volumen concesionado que es menor de 0.1 Mm³/año pero mayor de 1,944 m³/año; con respecto a los volúmenes de agua residual, el REPDA muestra que estas empresas no reportan descargas de agua residual.

Es notable, lo cual nuevamente se puede asumir como inconsistencias del REPDA, que existen 20 empresas cuyo título de concesión aparece con cero volúmenes de agua concesionados; pero, lo que hace más inconsistente el REPDA a no ser que a partir de sus procesos industriales puedan estar produciendo agua residual, 19 de ellas reportan volúmenes de agua residual descargadas, los cuales están entre 300 m³/año y 0.14 m³/año (CNA, 2002).

En conclusión el volumen de extracción de aguas nacionales que amparan los títulos de uso industrial es de 11.83 Mm³/año. En el 2002 en un documento oficial se reporta que el número de aprovechamientos industriales era de 54 mediante los cuales se extraía un total de 9.7 Mm³/año y que el volumen total de agua- para diversos usos- extraídos del acuífero era de 125 Mm³/año, de los cuales 120 Mm³/año se extraen del acuífero profundo (CNA, 2002).

Calidad del Agua

La calidad del agua en el acuífero “San Luis Potosí”, presenta condiciones en las cuales se limita el volumen de agua disponible para consumo humano, como son los efectos antropogénicos y los efectos naturales de interacción agua-material geológico, incluyendo en estos efectos la recarga-extracción. Mucha de la atención se ha prestado en estudiar la interacción agua-material geológico-recarga-extracción para conocer la calidad del agua subterránea; menor atención, aunque algunas veces señalada como de mayor importancia, ha sido demandado por el conocimiento de los efectos antropogénicos y su relación con el acuífero, siendo centrado en la administración, adecuada o no, de las aguas residuales generadas en la ciudad de San Luis Potosí y su zona conurbada de Soledad de Graciano Sánchez, tanto por los usos domésticos como los de servicios, comerciales y de mayor importancia por los usos industriales, concentrados éstos en la zona conurbada de San Luis Potosí y Soledad de Graciano Sánchez(CNA, 2002).

A partir de 1962, el crecimiento industrial de la Zona Industrial de San Luis, ubicada al sureste de la ciudad de San Luis Potosí, ha sido cada vez mayor, siendo que en sus orígenes, la zona industrial no contaba con red de drenaje municipal para captar las aguas residuales industriales, aunado a que no se contaba con una regulación en materia de descargas industriales como se cuenta actualmente, lo que no permitía un seguimiento adecuado del manejo de las aguas residuales. En ese entonces, no se contaba con plantas de tratamiento de aguas residuales públicas ni privadas. Las aguas residuales industriales sin tratamiento eran dispuestas en fosas sépticas o directamente en suelo, lo que significa un inadecuado manejo de estas aguas residuales (CNA, 2002).

Por otro lado, las redes de drenaje y alcantarillado en la zona conurbada de San Luis Potosí y Soledad de Graciano Sánchez, ha crecido con una marcada falta de planeación, al grado de que aún al año 2005, existen canales en tierra a cielo abierto a través de los cuales se conduce el agua residual cruda a los puntos finales de descarga, algunos bien identificados, como en el conocido como “Tanque Tenorio”, al oriente de la ciudad de San Luis Potosí, y el tanque “El Morro”, ubicado en Soledad de Graciano Sánchez, muy cercano al cauce del Río Santiago, el primero receptor de las aguas residuales de la zona sur y sureste de la ciudad de San Luis Potosí, incluyendo las zonas industriales de San Luis Potosí y del Potosí, y el último

es receptor de las aguas residuales municipales del centro de la ciudad de San Luis Potosí y parte de la zona sureste de Soledad de Graciano Sánchez.

Las zonas de riego agrícola ubicadas al norte y oriente de la ciudad de San Luis Potosí, así como al noreste y oriente en Soledad de Graciano Sánchez, aún en zonas localizadas en forma dispersa en la mancha urbana, han sido alimentadas con aguas residuales sin tratamiento, provenientes de los canales principales de la zona conurbada y de los cuerpos receptores de “El Morro” y “Tanque Tenorio” o de los cauces o canales superficiales principales como son el “Río Santiago” y el “Río Española”, éstos últimos que en temporada de lluvias conducen en forma mezclada el agua pluvial con las aguas sanitarias generadas en los centros de población. El manejo inadecuado que han recibido las aguas residuales y su uso sin tratamiento en el riego agrícola, ha provocado contaminación del acuífero somero, principalmente en la zona de Soledad de Graciano Sánchez, que debido a la configuración topográfica del valle, recibe las aguas residuales generadas en la ciudad de San Luis Potosí y su zona conurbada de Soledad de Graciano Sánchez(CNA, 2002).

La inadecuada administración de las aguas residuales en la zona conurbada de San Luis Potosí y la problemática que ello significa, tiende a disminuirse en el corto plazo con la implementación del Plan Integral de Saneamiento Integral de la Zona Conurbada, a cargo del Gobierno del Estado a través de la Comisión Estatal del Agua. Sin embargo, la contaminación inducida al acuífero somero por aguas residuales es latente, requiriendo medidas de solución (COTAS y CNA, 2005)

Resultados de calidad del agua

La Gerencia Estatal de la Comisión Nacional del Agua tiene una red de 42 estaciones de monitoreo de calidad del agua, 27 estaciones para el monitoreo de subterráneas y 15 para monitorear las aguas superficiales, distribuidas estratégicamente en el estado de San Luis Potosí, con el propósito de conocer la calidad del agua e identificar las problemática de contaminación que se pudiese presentar en cada estación de monitoreo. En el valle de San Luis Potosí, se tienen estaciones de monitoreo para determinar la calidad del agua en pozos profundos, norias, así como para las presas San José, El Peaje y Cañada del Lobo (COTAS y CNA, 2005).

La Gerencia Estatal de la Comisión Nacional del Agua tiene una red de 42 estaciones de monitoreo de calidad del agua, 27 estaciones para el monitoreo de

subterráneas y 15 para monitorear las aguas superficiales, distribuidas estratégicamente en el estado de San Luis Potosí, con el propósito de conocer la calidad del agua e identificar la problemática de contaminación que se pudiese presentar en cada estación de monitoreo. En el valle de San Luis Potosí, se tienen estaciones de monitoreo para determinar la calidad del agua en pozos profundos, norias, así como para las presas San José, El Peaje y Cañada del Lobo.

Entre los parámetros monitoreados y que resultan de particular importancia para determinar la calidad del agua, se señalan los siguientes capítulos según COTAS y CNA, 2005.

Potencial de hidrógeno (pH)

Fluctúa entre 7 y 7.5 unidades de pH, es decir, dentro de un rango alcalino, lo cual es una tendencia natural de las aguas subterráneas que disuelven carbonatos, que al incorporarse al agua aumentan el pH.

Temperatura

Entre los valores de este parámetro, los que varían de 19 a 23° C corresponden al acuífero somero, mientras que los valores del acuífero profundo oscilan de 26 a 38°C. Lo anterior explica la hipótesis sugerida en varios trabajos, siendo el primero el referido al artículo “Aguas Subterráneas Termales Bajo la Cuenca de San Luis Potosí”, que estas proceden de la cuenca artesiana de Villa de Reyes, situada a unos 50 Km al sur de San Luis Potosí.

Conductividad eléctrica

Los valores de conductividad del acuífero somero son mayores que los del acuífero profundo. La conductividad esta en relación directa con las sales disueltas, a mayor conductividad la calidad del agua se ve afectada.

Cloruros

Las concentraciones de cloruros, al igual que la conductividad eléctrica, resultaron más elevadas en el acuífero somero con relación al acuífero profundo.

Dureza

Los valores de dureza varían de 40 a 100 mg/l para el acuífero profundo, lo que corresponde de acuerdo a la clasificación del agua por el contenido de dureza de “suave” a “moderadamente dura”.

Nitratos

De acuerdo a las determinaciones realizadas, las concentraciones de nitratos promedio varían de 0.40 a 1.25 mg/l, lo que no representa ningún problema de

contaminación en el acuífero profundo. Sin embargo en el acuífero somero las concentraciones promedio se encuentran en un rango de 11.50 a 27.80 mg/l, lo cual se estima se debe a la incorporación de fertilizantes, desechos de establos en las aguas residuales en la zona agrícola al oriente de la mancha urbana. Cabe mencionar que en la Zona Industrial de San Luis Potosí, cercano al acceso principal a la Delegación de Pozos, en el año de 1994 se detectó una fuente de contaminación por nitratos mayor a 1000 ppm, pero que en la actualidad los valores se han reportado del orden de 25 ppm, por lo que se infiere la desaparición de la fuente contaminante. Sin embargo, es un parámetro de control de la calidad del agua en el acuífero de San Luis Potosí.

Coliformes

Existe un alto contenido de organismos coliformes en el acuífero somero, lo que es una relación directa por el uso en riego agrícola con aguas residuales crudas, por la conducción de aguas residuales en canales en tierra a cielo abierto y a las fugas de las redes de drenaje, aunado al sentido del flujo del acuífero hacia el noreste, favoreciendo el flujo de este factor de contaminación en el acuífero somero.

Flúor

La calidad del agua depende mucho de las condiciones del acuífero, de su litología, de la velocidad, de la calidad del agua de infiltración, de las relaciones con otras aguas o acuíferos y de las leyes del movimiento de sustancias transportadas por el agua. Los factores hidrodinámicos juegan también un papel muy importante, al extraer el agua de profundidades cada vez mayores. El acuífero profundo es actualmente explotado por pozos que alcanzan profundidades de hasta 350 m de material sedimentario. Las concentraciones de fluoruros se encuentran en el rango de 0,35 – 4,16 mg/L con una media de 2,3 mg/L y límites de confianza (LC) de $\pm 0,02$ a 0,05. En la Ciudad de San Luis Potosí, el 71,43 % del agua subterránea de los pozos, excede de 1,5 mg F-/L que establece la NOM-127, con un intervalo de 0,35 - 4,16 mg/L, y el 84,62% son mayores a 0,7 mg/L, este último valor es el límite recomendado de acuerdo a la temperatura ambiente de la cual depende el consumo de agua de la población (Landín, 2006).

Arsénico

Debido a la gran inquietud entre la población de la ciudad de San Luis Potosí, referente a la posible presencia de metales pesados en el agua de pozos que abastecen

a la ciudad de agua potable, ocupando principal interés el arsénico, debido a la toxicidad de este metal y a la existencia de una planta productora de trióxido de arsénico, ubicada al poniente de la ciudad. En la década de los 90's se llevo a cabo un estudio de determinación de arsénico en aguas de varios pozos de la ciudad por medio de dos métodos de análisis, absorción atómica (generador de hidruros) y horno de grafito, obteniéndose valores con ambos métodos en el rango de 0.0047 mg/l a 0.014 mg/l, muy por abajo del limite máximo permisible para consumo humano de 0.025 mg/l35.

Concentración de flúor y arsénico en la zona metropolitana

En la Ciudad de San Luis Potosí, el agua subterránea ha tenido significantes problemas de calidad debido a las altas concentraciones de fluoruros, que al consumirla conlleva a efectos en salud como la fluorosis dental y esquelética, así como daño reproductivo y neurológico. La importancia de la calidad del agua subterránea estriba en que es la principal fuente de agua para uso y consumo humano que abastece a la población de la Ciudad, sin embargo la magnitud del problema no esta bien definida.

De acuerdo a estudios realizados por diferentes dependencias de gobierno y por la UASLP, se ha detectado que en la mayoría de los pozos de abastecimiento para la zona conurbada de San Luis Potosí y Soledad de Graciano Sánchez, el flúor rebasa el nivel de concentración máxima permisible para consumo humano, el cual es de 1.5 mg/l *normado en la NOM-127-SSAI-1994*

Otro elemento tóxico que se relaciona en ocasiones al fluoruro y puede estar presente en agua subterránea es el arsénico.

Smedley y Kinniburg, 2002 mencionan que la exposición crónica a concentraciones de As en agua significativamente mayores a 0.05 mg/L, resulta en serios problemas de salud epidérmicos, cardiovasculares, renales, hematológicos y respiratorios. Mientras que en el caso del fluoruro, el consumo en concentraciones significativamente mayores a 1.5 mg/L, causa problemas de fluorosis dental como se mencionó anteriormente y esquelética, desarrollando una mayor susceptibilidad a enfermedades renales y cáncer (WHO, 2004), así como afectación al desarrollo del cerebro humano, reduciendo, entre otros efectos, el coeficiente intelectual (IQ) de niños en edad escolar (Wang et al., 2007).

En un estudio realizado por Landín 2006, donde realizó un muestreo de la totalidad de los pozos (126) pertenecientes al acuífero profundo que son de uso público-urbano pertenecientes a la Ciudad capital, Soledad de Graciano Sánchez y zona conurbada, se evaluaron las concentraciones de arsénico y fluoruros, utilizando los métodos de Espectrometría de Fluorescencia Atómica (HG-AFS) y Potenciométrico respectivamente. Encontrando que en el agua de los pozos de la Ciudad de San Luis Potosí el As disuelto entre 1,7 – 14,8 µg/L y la concentración de fluoruros tiene un rango de 0,35 - 4,16 mg/L.

La zona de mayor contaminación se encuentra localizada en el suroeste, oeste, sureste y noroeste de la Ciudad. De los 91 pozos muestreados, 53 pozos (58,24 %), exceden 0,010 µg As/L (Valor de la guía de OMS) y ningún pozo excede 0,025 mg As/L, límite máximo permisible establecido en la modificación a la NOM-127-SSA1-1994 (NOM- 127). Referente al fluoruro, el 71,43% (65) de los pozos en la Ciudad de San Luis Potosí exceden de 1,5 mg/L (NOM-127), y el 84,62% son mayores a 0,7 mg/L, este último valor es el límite recomendado de acuerdo a la temperatura de la Ciudad de la cual depende el consumo de agua de la población.

Para el caso de Soledad de Graciano Sánchez de 28 pozos el 35,71% (10 pozos) exceden de 1,5 mg F-/L y el 53,57% excede de 0,7 mg F-/L. Arriba de 0,010 mg As/L se encuentran el 25% de los pozos (7). El As del agua subterránea correlaciona positivamente con fluoruros y con la temperatura del agua, medida a la descarga del pozo.

Con estos resultados se observa que la mayor parte del agua que se surte a la población de la Ciudad de San Luis Potosí, como agua de uso y consumo humano no está dentro de esta clasificación y por su baja calidad no es apta para su consumo. Por otro lado, se propone a la alúmina como un material con un potencial excelente para usarlo como un adsorbente, para la remoción de As y de fluoruros, cuando se encuentran solos o combinados en el agua, el cual es comparable con otros sistemas de remoción (Landín, 2006)

Los valores de calidad del agua se compararon con los límites máximos permisibles establecidos en la NOM-127-SSA1-1994 para uso doméstico.

Causas de la mala la calidad del agua en el acuífero San Luis Potosí

De acuerdo a estudios realizados (Villalobos, 1965), el acuífero somero ha sido contaminado por las infiltraciones domésticas de aguas residuales, así como por las

descargas de aguas residuales industriales que por años fueron conducidas por canales a cielo abierto hacia el Tanque Tenorio y utilizadas para riego en las zonas agrícolas de Soledad de Graciano Sánchez (Vargas, 1994) y San Luis Potosí.

De igual forma, los basureros a cielo abierto, han sido otra fuente de contaminación del acuífero, el cual presenta altas concentraciones de nitratos, producto de la degradación de la materia orgánica de las aguas negras (Villalobos y Díaz de León, 1965; Gallegos, 1988), así como algunos elementos químicos, originados por las descargas residuales industriales y lixiviación de tiraderos clandestinos (Vargas, 1994; Carrillo y Armenta, 1989).

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 permitido de 1.5 mg/l normado en la NOM-127-SSA1-1994 para consumo humano. (Gallegos, 2002).

El acuífero profundo no presenta contaminación de origen bacteriológico; sin embargo, se encuentra en peligro latente de contaminación por flujo vertical del acuífero somero, con presencia de contaminación bacteriológica.

Plan Integral de Saneamiento de las Aguas Residuales, en la Zona Metropolitana de la Ciudad de San Luis Potosí y Soledad de Graciano Sánchez

Tiene como objetivo principal:

- mejorar la salud de todos los habitantes del entorno.
- disminuir la contaminación del agua subterránea y del aire.
- sustituir aguas residuales tratadas por agua limpia que actualmente utiliza la industria y el riego.

Aguas Residuales

Las aguas residuales que se generan en San Luis Potosí y Soledad de Graciano Sánchez, anteriormente se descargaban a través de 18 canales, cuyo volumen se ha utilizado históricamente por agricultores particulares y ejidales, usuarios de las aguas residuales, para el riego de 2,652 ha, principalmente en cultivos forrajeros como alfalfa y maíz, en condiciones precarias de saneamiento y con sistemas poco eficientes de riego (CNA, 2010).

Ante esto, la Comisión Nacional del Agua y el Gobierno del Estado, han llevado a efecto el Plan Integral de Saneamiento cuyo objetivo principal es resolver la problemática por contaminación de aguas residuales en la zona conurbada de San Luis Potosí - Soledad de Graciano Sánchez a través del tratamiento de esta agua para su reúso.

Las plantas de tratamiento comprendidas en el Programa de Saneamiento de San Luis Potosí se muestran en el cuadro 4:

Cuadro 5. Plantas de tratamiento comprendidas en el Programa de Saneamiento de San Luis Potosí. Fuente (Plan Integral de Saneamiento 2010)

Planta	Fecha de Inicio de Operación	Capacidad Instalada L. P. S.	% Acumulado de Cobertura	Situación
Club de Golf	1998	40	1.57	En Operación
Agua Tratada del Potosí	1998	35	2.95	En Operación
Tangamanga I	1999	150	8.84	En Operación
Norte	2002	400	24.56	En Operación
Cima	2005	80	27.7	En Operación
Tenorio - Villa de Reyes	2006	1050	68.96	En Operación
IMMSA	2010	40	70.53	En Operación
El Morro		750	100	En Construcción
Total de Capacidad Instalada		2545		

De acuerdo a CNA 2010, las plantas de tratamiento que se encuentran en operación, el agua residual tratada es reusada en:

A) Riego agrícola y recreativo

En la planta de tratamiento de aguas residuales Norte, cuenta con una capacidad instalada para tratar un gasto promedio de 400 lps, con lo que se pretende regar una superficie agrícola de 430 hectáreas y 60 hectáreas de áreas verdes del Parque Tangamanga II.

Planta de tratamiento de aguas residuales Tanque Tenorio, este proyecto contempla el riego agrícola con aguas tratadas en una superficie de 500 hectáreas así como reúso industrial.

B) Riego de áreas verdes

La planta de tratamiento Tangamanga I, a través de un proceso biológico, trata las aguas residuales, para reutilizarlas en el riego del propio parque, camellones y Unidad Deportiva ALM.

La planta de tratamiento del Club de Golf, trata parte de las aguas residuales del colector norte del río Santiago, para reutilizarla en el riego del campo de golf.

Aguas negras, agricultura periurbana y organización de regantes

En décadas pasadas el agua residual cruda era reutilizada en la agricultura sin tratamiento alguno con altos riesgos de salud.

Hoy día se riegan 860 Ha. con agua residual tratada suministrada por las plantas denominadas Norte (370 lps) y Tenorio (600 lps) en beneficio de varias Asociaciones Agrícolas (Rojas, 2011).

Segundo reúso: las torres de enfriamiento de la Central Termoeléctrica que usan agua tratada, descargan sus efluentes bajo normas para ser reutilizada en el riego agrícola de 200 hectáreas de cultivos forrajeros.

Con la construcción y puesta en operación de la planta denominada “El Morro” se regaran 1,000 hectáreas más (Rojas, 2011).

El área que se riega a partir del empleo de las aguas residuales de la conurbación ciudad de San Luis Potosí- Soledad de Graciano Sánchez abarca una superficie de aproximadamente 2,500 hectáreas, cultivadas por 20 asociaciones que suman unos 1,200 usuarios. El área de riego ocupa la porción de la zona periférica urbana que se extiende entre el norte y el sureste. La zona cultivada no se presenta totalmente compacta a la mirada del observador, sino fragmentada en oasis de vegetación que disputan espacio a la urbanización y a la aridez del entorno, formando un cinturón verde y contrarrestando en parte los procesos de erosión que amenazan esta área del altiplano. Por lo anterior, la superficie de riego se fracciona en varias zonas: Zona de riego con aguas negras, dos en el norte, una de gran tamaño y forma irregular que se extiende desde el poblado Enrique Estrada hasta el poblado de San Francisco en sentido norte-sur y entre los poblados de Santa Ana y El Morro en sentido este-oeste -una ramificación de ésta se encuentra más al este alrededor del poblado Planta del Ocho; y, otra, más pequeña en extensión, al noreste y al oeste del poblado Rancho Nuevo; pertenecen al municipio de Soledad de Graciano Sánchez (Palerm y Martínez 2000),.

Otras dos zonas se encuentran en el municipio de San Luis Potosí a ambos lados de la carretera a Río Verde, a la altura del poblado Los Gómez y del fraccionamiento residencial La Florida, al este de la mancha urbana; y corresponde al punto más bajo de la cuenca; hacia aquí escurre naturalmente el agua y se encuentra uno de los tres lugares de recarga del acuífero que abastece al valle.

Las fuentes de los sistemas de riego

La fuente de este peculiar sistema de riego son las aguas de desecho municipal e industrial de la ciudad. El sistema de drenaje es de tipo combinado, por lo cual las aguas de desecho son producto de la mezcla de aguas municipales e industriales, es decir negras y residuales, a las que, en temporadas de lluvia, se agregan las aguas pluviales. Del volumen neto de estas aguas, 86% es de aportación doméstica y comercial, es decir municipal, y 14% proviene de descargas industriales. Únicamente se tratan 40 lps que son reutilizadas en riego de áreas verdes (Palerm y Martínez 2000), sin embargo, de acuerdo con Comisión Estatal de Agua en el Plan Integral de Saneamiento 2010 menciona que existe una capacidad instalada para tratar 1795 lps de 2545 al poner en marcha la planta de tratamiento de aguas residuales el “El Morro”. Alrededor de 1000 lps son utilizados para reúso agrícola, el resto para reúso industrial y recreativo. Para el uso agrícola el agua para riego proviene principalmente de la Planta tratadora de aguas residuales Norte y de la planta tratadora Tenorio, Las aguas de desecho de la ciudad de San Luis Potosí se desalojan fuera de los límites urbanos por medio de tres sistemas de colectores, norte, sur y central, los cuales suman en total unos 500 kilómetros de ductos entre atarjeas, subcolectores y colectores. Por lo que se refiere a la zona conurbada de Soledad de Graciano Sánchez, ésta tiene su propio sistema de drenaje, de aproximadamente 15 kilómetros, cuyos volúmenes sin embargo se integran a las aguas de desecho de la ciudad utilizados en el riego de los campos de cultivo. Existen 17 canales para desalojar las aguas residuales en la zona metropolitana, llamados canales emisores, los cuales son la fuente directa de acceso al agua para las asociaciones de regantes. De estos canales emisores se derivan una red compleja de canales secundarios que conducen el agua a las parcelas (Palerm y Martínez 2000).

El desagüe de mayor caudal es el Canal General que conduce más de 40% de las aguas negras, básicamente de origen municipal, que proceden del centro de la ciudad, sumando aproximadamente unos 800 lps promedio anual.

Manejo Integrado y Sostenible del Agua

Con el propósito de asegurar los recursos hídricos en el Valle de San Luis Potosí para el desarrollo socioeconómico sustentable, a corto, medio y largo plazo, a fin de poder enfrentar los efectos del cambio climático, el gobierno del Estado, INTERAPAS, CONAGUA, la Organización meteorológica mundial (OMM), entre otras instituciones, elaboraron en 2004 el proyecto de manejo integrado y sostenible del agua en la región centro de San Luis Potosí, y en 2012 INTERAPAS conjuntamente con los tres niveles de gobierno elaboró el Programa Integral Hidráulico de la Zona Metropolitana De San Luis Potosí (Muñiz, 2012). Teniendo como estrategias:

- 1.- La mejora del aprovechamiento y la gestión de las fuentes de agua interna existentes.
- 2.- El desarrollo de nuevas fuentes de agua externa.
- 3.- El uso eficiente del agua en la agricultura. Esto mediante la construcción de la presa “El Realito”. El proyecto fue concebido para abastecer de agua potable a la Zona Metropolitana de San Luis Potosí (1ª etapa), y la Ciudad de Celaya en Guanajuato (2ª etapa). Dicha presa tiene las siguientes características presentadas en el cuadro 5:

Cuadro 5. Características de la presa el realito. Fuente CONAGUA et al, 2004.

Estructura	Características
Presa	Capacidad: 57.4 Mm ³ Longitud: 134 km Diámetro: 36, 42, 48 y 56”
Acueducto	Capacidad: 2.0 m ³ /s Desnivel: 1,050 m 3 Plantas de bombeo Tanque de cambio de régimen
Planta potabilizadora	Capacidad: 2,000 l/s Líneas de interconexión, línea de
Otras obras	electrificación y caminos de acceso

- 4.- Intercambio de agua residual tratada con por agua blanca con el acuífero de Villa de Reyes. Se reusarán 450 l.p.s., Industrial para enfriamiento de las torres de la

Termoeléctrica de la Comisión Federal de Electricidad, ubicada en Villa de Reyes, S.L.P. y 600 l.p.s. riego agrícola provenientes de la planta tratadora tanque Tenorio.

5.- Control y manejo de las aguas pluviales. Para este caso se llevaran a cabo obras que van de la mano con la recarga artificial del acuífero como son colectores y canales. (Muñíz , 2012)

6.- Recarga artificial. Como alternativa adicional para la recuperación del acuífero se plantea la recarga artificial con el agua de lluvia dentro de la cuenca del Valle de San Luis Potosí.(Muñíz , 2012)

Este plan que incluye la construcción y ejecución de 62 obras de infraestructura pluvial, que permitirán manejar, controlar y aprovechar el agua de lluvia en el Valle de San Luis Potosí, con la construcción de colectores pluviales, pozos de absorción, cárcamos de bombeo, adecuación a canales y ríos, rehabilitación de presas y construcción de nuevas fuentes de almacenamiento. A través de este plan, se pretende minimizar el impacto de las inundaciones con el fin de asegurar el desarrollo socioeconómico de la zona metropolitana de San Luis Potosí y, principalmente, asegurar el bienestar y la protección a la salud pública de la población (Muñíz, 2012). Dichas obras tienen las siguientes características:

Colectores pluviales (construidos):

- a). Colector pluvial 18 de Marzo, que incluyó los subcolectores pluviales lateral sur Salvador Nava Martínez, Himno Nacional y Prolongación Santos Degollado.
- b) Colector pluvial La Libertad, que incluyó la construcción de 7 subcolectores pluviales.
- c) Colector pluvial Hernán Cortés.
- d) Colector pluvial Salk.
- e) Colector pluvial Francisco Martínez de la Vega.
- f) Colector pluvial Mariano Jiménez-Reforma-20 de Noviembre, que incluyó la construcción de los subcolectores pluviales Zenón Fernández y lateral Salvador Nava Martínez (modernización).
- g) Colector pluvial Revolución en Villa de Pozos.
- h) Colector pluvial Cactus-Los Gómez.
- i) Colector pluvial Manuel Nava-Francisco González Bocanegra.
- j). Colector pluvial Aguaje-Río Española.
- k) Colector pluvial Carretera 70-Río Santiago.
- l) Colector pluvial Carretera 57.

- m) Colector pluvial Mexinox.
- n) Colector pluvial Boulevard San Luis.
- ñ) Colector pluvial Av. México.
- o) Colector pluvial Eje 136.
- p) Colector pluvial Bellavista.
- q). Colector pluvial 1er. de Mayo.
- r) Colector pluvial Silos-Los Molinos.
- s) Colector pluvial La Ladrillera.
- t) Colector pluvial Las Mercedes.
- u) Colector pluvial Sierra Leona.
- v) Canal pluvial poniente (a cielo abierto).

Colectores pluviales (proyecto):

- w) Colector pluvial Norte.
- x) Colector pluvial Halcones.
- y) Colector pluvial central río de Santiago.
- z) Colector pluvial El Saucito.
- aa) Colector pluvial Madrigal.
- ab) Colector pluvial Valle de las Recuas-Calle 24.
- ac) Colector pluvial Satélite-Aguaje.
- ad) Colector pluvial Rivas Guillén.
- ae) Colector pluvial Damasio (La Pila).
- af)Colector pluvial Los Alpes.
- ag). Colector pluvial Muñoz.
- ah).Colector pluvial San Pedro.
- ai). Colector pluvial Sevilla y Olmedo.
- aj)Colector pluvial Periférico Oriente.
- ak)Colector pluvial Perú.
- al)Colector pluvial Norte (CONAGUA).
- am). Colector pluvial Sur (CONAGUA).
- an). Colector pluvial 130.
- añ). Colector pluvial Tatanacho.
- ao) Colector Mariano Jiménez.
- ap) Colector Coronel Romero.

aq). Ampliación del dren Española-Río Santiago.

Cárcamos de bombeo (construidos):

ar)Cárcamo de bombeo Río Española-Santiago.

as). Cárcamo de bombeo Los Silos-Los Molinos.

at). Cárcamo de bombeo Las Mercedes (modernización).

au). Cárcamo de bombeo La Libertad.

Construcción de las presas:

av). Las Escobas.

aw). Palmarito.

ax). La Cantera.

ay). Suspiro Picacho.

Rehabilitación de presas:

az). Presa El Potosino (sobreelevación de cortina concluida).

ba). Presa San Carlos (sobreelevación de cortina).

bb). Presa San Antonio (sobreelevación de cortina).

bc). Presa La Tenería (sobreelevación de cortina).

Canales:

1. Canal de defensa Zona Industrial.

2. 3 canales y 2 tanques en la zona norte.

Recarga artificial del acuífero:

3. Sistema Salk (vasos de captación).

4. Carretera 57 (vasos de captación).

Para llevar a cabo el Plan para el Manejo, Control y Aprovechamiento de Agua de Lluvia en el Valle de San Luis Potosí, se requiere una inversión aproximada de 1,200 millones de pesos, de los cuales durante el periodo 2008- 20012 se ejercieron 630 millones de pesos. Y durante el periodo 2013-2015 se tiene presupuestado ejercer más 500 millones de pesos más.A través de la gestión de recursos con el Gobierno Federal, se tiene contemplado los siguientes periodos de ejecución de obra: programas de acciones a corto plazo 2008-2012 y programa de acciones a mediano plazo 2013-2015, lo que permitirá concretar al 100 por ciento estas obras de infraestructura pluvial (Muñiz, 2012).

El saneamiento del agua también se contempla está contemplado en el Plan Integral de Saneamiento de la Comisión Estatal de Aguas (CEA), para lo cual existen las plantas tratadoras antes mencionadas e indicadas en la figura 5.

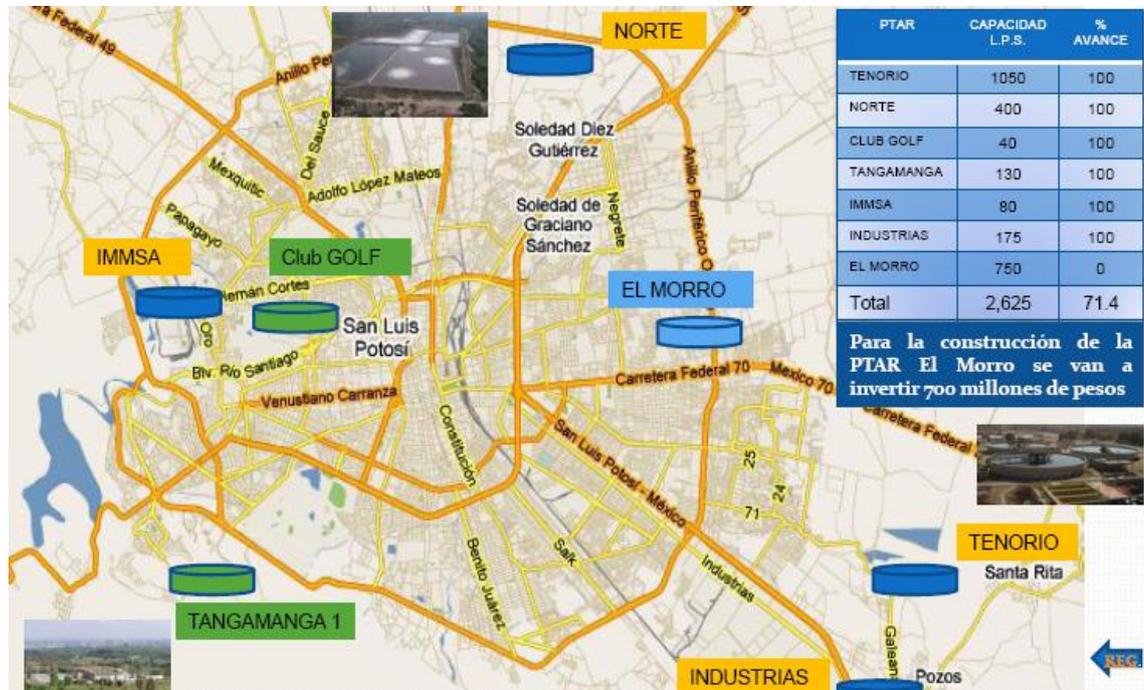


Figura 5. Localización de las Plantas tratadoras en la zona metropolitana- .(Fuente CONAGUA et al, 2004).

A la fecha con la construcción de las plantas de tratamiento de aguas residuales municipales como particulares, se tiene una cobertura del 74% del tratamiento del agua generada en la zona conurbada de San Luis Potosí y Soledad de Graciano Sánchez (Muñiz, 2012).

Por tal motivo como se ha citado anteriormente INTERAPAS y el gobierno del Estado diseñaron el Plan Integral de Saneamiento y Reúso de las Aguas Residuales Tratadas, que tiene como objetivo principal:

- Mejorar la salud de todos los habitantes del entorno.
- Disminuir la contaminación del agua subterránea y del medio ambiente.
- Dar cumplimiento con la normatividad en materia de agua residual, que indica que el 100% de las aguas negras deben ser tratadas.
- Sustituir aguas residuales tratadas por agua limpia que actualmente utiliza la industria y el riego.
- Mejorar la producción de la zona agrícola.

- Evitar el pago por derechos de descarga fuera de norma y la condonación de los derechos anteriores.

A la fecha con la construcción de las plantas de tratamiento de aguas residuales municipales como particulares, se tiene una cobertura del 74% del tratamiento del agua generada en la zona conurbada de San Luis Potosí y Soledad de Graciano Sánchez.

El Sistema de Saneamiento El Morro mejorará la salud de los habitantes del entorno, disminuirá la contaminación del medio ambiente, contribuirá a tratar el 100% de las aguas residuales que se generan en la zona metropolitana y sustituirá las aguas. Para la ejecución de esta obra de saneamiento se tienen destinados recursos federales a fondo perdido del FONADIN (40%) y del prestador de servicios el porcentaje restante para sumar 100%. La obra tiene un costo de 395 millones de pesos. Este sistema de saneamiento se pagará en un periodo de hasta 20 años, siendo los primeros 2 para la aplicación de la inversión de las obras y los restantes 18 años, para que el prestador de servicios opere y dé mantenimiento del sistema, en cumplimiento con la legislación vigente en materia de saneamiento. La obra dará inicio durante el 2012 y tendrá una duración en su ejecución de 24 meses. (Muñiz, 2012).

DISCUSION

Atribuirle un valor económico más alto al agua, podría considerarse como una buena alternativa para asegurar su disponibilidad y por consiguiente el abastecimiento para la población, World Bank, (2010). El cumplimiento a lo estipulado en la Ley de Aguas Nacionales, LAN, (CNA) trae como resultado el aseguramiento de la disponibilidad del recurso, tanto en calidad como en cantidad. En mi opinión, las practicas ya mencionadas son parte de una serie de medidas a las que se les pueden agregar otras, tales como: concientizar a la sociedad en general sin importar edad o actividad, que las instituciones encargadas de administrar el recurso, hagan ajustes en cuanto a los criterios o lineamientos bajo los cuales se rige el manejo de este, además de aplicar técnicas como la de realizar cosecha de agua, esto a nivel familiar, de igual manera ejecutar trabajos de desazolve, en las obras de captación de agua, así como construcción de pozos que sirvan de medio de recarga al acuífero. Además el estado de San Luis Potosí, y en especial la región hidrológica que sustenta esta revisión recepcional, presenta tres diferentes escenarios que deben atenderse. El primero de estos es a nivel institución, respecto a la administración del recurso agua. El segundo se refiere a la infraestructura y tecnología para atender la problemática ambiental, asociado con un programa de participación ciudadana para un mejor manejo de este recurso. Tercero se puede referir al marco normativo que requiere del diseño de instrumentos que apoyen la ejecución del mismo, para prevenir problemas relacionados con los usos, y su posterior saneamiento.

CONCLUSIONES

Se concluye que en el estado de San Luis Potosí la situación del recurso agua presenta dos problemáticas principales que se refieren a su disponibilidad y contaminación. En el caso de la disponibilidad es las cuencas hidrológicas presentan un escenario de presión del recurso en las regiones administrativas que se distribuyen por el Estado. Asociado a esto se presentan problemas en cuanto a los niveles estáticos, de extracción, balance de agua y minados de los acuíferos. Destaca la presión del crecimiento y demanda de agua de la mancha urbana, así como el crecimiento industrial. En cuanto a la calidad del agua es importante definir que existen parámetros que permiten evaluarla tales como potencial de hidrógeno (pH), temperatura, conductividad eléctrica, cloruros, dureza, nitratos, coliformes, flúor, arsénico entre otros. Por otra parte existe una política ambiental de saneamiento de los cuerpos de agua, traducida principalmente en las plantas de tratamiento de aguas residuales y que inciden sobre la calidad para en su uso agrícola, recreativo, riego de áreas verdes. Finalmente, se concluye que el tema es muy complejo y que gradualmente las políticas ambientales, programas institucionales y la participación de la sociedad deben ser analizados a través del tiempo para definir los avances.

LITERATURA CITADA

- Carrillo, J.J. 1992. The hydrogeology of the San Luis Potosí Area, Mexico. Ph.D. thesis University of London, U.K., p. 203.
- Comisión Nacional del Agua (CNA). 2002. Determinación de la disponibilidad de agua en el acuífero de San Luis Potosí. México. Comisión Nacional del Agua, Gerencia de Aguas Subterráneas, Subgerencia de Evaluación y Modelación Hidrogeológica, reporte, p. 27.
- Comisión Nacional del Agua, Banco Mundial y Gobierno del Estado. 2004. Proyecto de Manejo Integrado y Sostenible del Agua en la Región Centro de San Luis Potosí.
- Comisión Nacional del Agua, COTAS y Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. 2005. Estudio Técnico Respecto a las Condiciones Geohidrológicas y Sociales del Acuífero 2411 "San Luis Potosí" En el Estado de San Luis Potosí.
- Comisión Nacional Del Agua. (1996b). Estudio Hidrogeológico de la Contaminación del Agua Subterránea en la Zona Industrial de San Luis Potosí, S. L. P. Geo Ingeniería Internacional, S.A. de C. V.
- Hergt, T., Castro, J.; Cardona, A. y Carrillo, J. 2009. Análisis multivariado en la definición de sistemas de flujo de aguas subterránea en San Luis Potosí, México. Ingeniería Hidráulica en México, Vol. XXV, núm. 4, II Época, octubre-diciembre.
- Landín L. E. 2006. Parámetros Fisicoquímicos y Concentración de Flúor y Arsénico en el Agua de los Pozos de la Ciudad de San Luis Potosí y Zona Conurbada. Alternativa de Tratamiento: Adsorción de Flúor y Arsénico en la Interface Al₂O₃ Activada/ Solución Acuosa. Tesis de Maestría. Facultad de Ciencias Químicas, Ingeniería y Medicina. Universidad Autónoma de San Luis Potosí. Pp 7-15.
- López B, J. A. Ramos. 2007. Modelo de Flujo del Acuífero del Valle de San Luis Potosí.
- Maza C. y G. Santacruz. 2010. Diagnóstico Preliminar del uso Industrial del Agua y su Impacto Ambiental en la Ciudad de San Luis Potosí. Primer Congreso Red de Investigadores Sociales Sobre Agua 18 y 19 de marzo de 2010.
- Muñiz F.J.. 2012. Programa Integral Hidráulico de la Zona Metropolitana de San Luis

- Noyola M. C., J. A. Ramos, E. Domínguez, L.F. Pineda, H. López y N. Carvajal. 2009. Factores que dan origen al minado de acuíferos en ambientes áridos: caso Valle de San Luis Potosí. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, v. 26, núm. 2, p. 395-410.
- Ordenamiento Ecológico de San Luis Potosí. Secretaría de Ecología y Gestión Ambiental. 2010.
- Palerm J. y T. Martínez. 2000. Antología Sobre Pequeño Riego. Colegio de Postgraduados y plaza Valdéz. Vol II. Pp 212-218.
- Potosí. INTERAPAS. Xxii Congreso Nacional De Hidráulica Acapulco, Guerrero, México, Noviembre 2012.
- Rojas, A. 2011. Experiencia del reúso del agua tratada en la Zona Metropolitana de San Luis Potosí. Comisión Estatal de Aguas. San Luis Potosí.
- Smedley, P.L., Kinniburgh, D.G., 2002, A review of the source, behaviour and distribution of arsenic in natural waters: *Applied Geochemistry*, 17, 517–568.
- Wang, S.X., Wang, Z.H., Cheng, X.T., Li, J., Sang, Z.P., Zhang, X.D., Han, L.L., Qiao, S.Y., Wu, Z.M., Wang, Z.Q., 2007, Arsenic and fluoride exposure in drinking water: children's IQ and growth in Shanyin County, Shanxi province, China: *Environmental Health Perspectives* 115(4):643–7. World Health Organization (WHO), 2004, Fluoride in drinking-water. Background document for development of WHO Guidelines for drinking-water quality: World Health Organization, p 9.